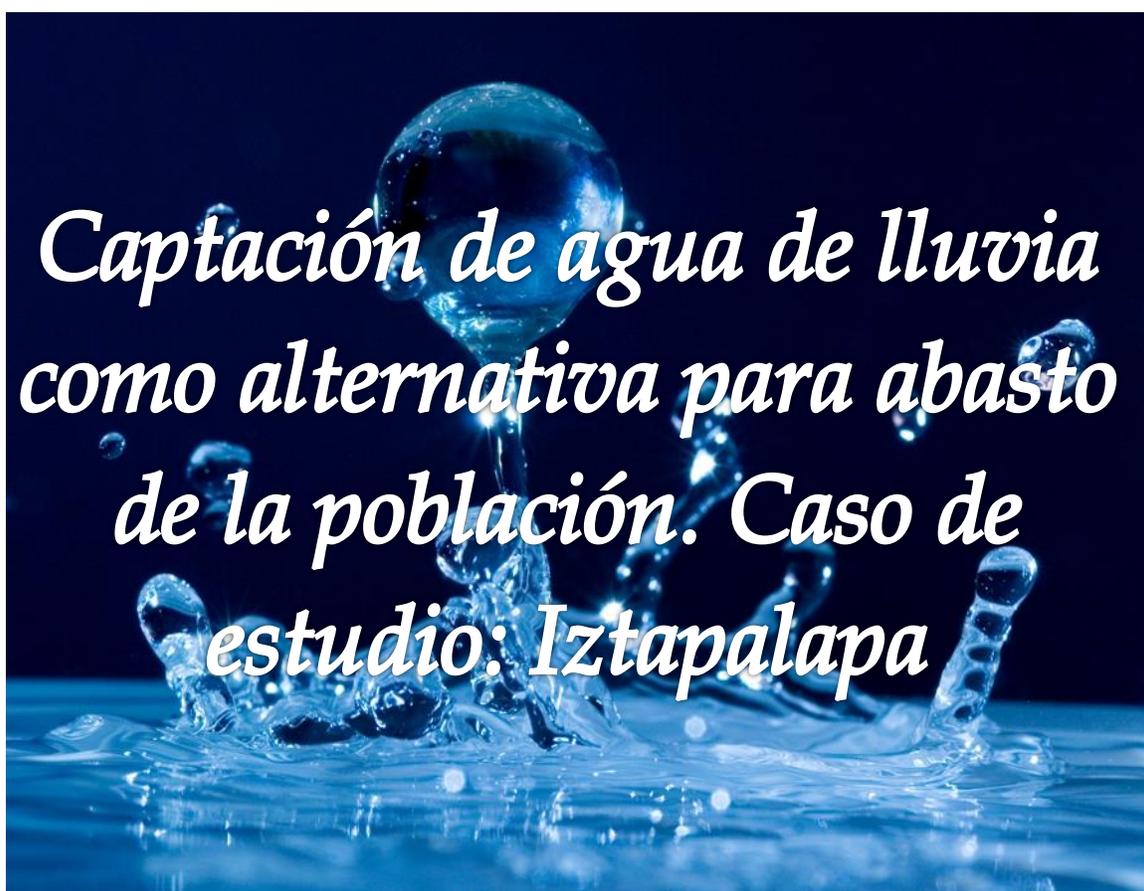


Universidad Nacional Autónoma de
México
Facultad de Arquitectura



TESIS

Que para obtener el grado de licenciatura en urbanismo
presenta:

ADRIANA MIRANDA RINCÓN

Director de tesis: Ing. Vicente Quezada Beltrán

CIUDAD UNIVERSITARIA, D.F.

NOVIEMBRE 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos.

Durante los 6 años que estuve en la Facultad, hubo muchos acontecimientos en mi vida que hicieron que pensara en abandonar la licenciatura varias veces. Sin embargo, las personas que estuvieron conmigo durante esos años, me hicieron ver que no hay motivos para rendirse y renunciar a todo. Proporcionándome una parte de su tiempo, me motivaron para seguir y llegar hasta donde estoy. Considero este momento como una buena oportunidad para agradecerles todo lo que hicieron por mí.

Quiero empezar agradeciendo a mi familia: a mis padres por otorgarme los recursos, por apoyar mis decisiones y por hacerme ver mis errores, y a mis hermanos Óscar y Miriam Miranda por acompañarme en mis desvelos.

A mis amigas Silvia Ivette Díaz Alfonso, Ixchel Ruiz Méndez y Pamela Michelle Nieto Rodríguez, por su amistad, por estar en los momentos pesados de mi carrera y por los ratos de ocio, en especial a Pamela por ayudarme con la redacción de este documento.

Al gran amor de mi vida Hugo Ezequiel Hernández Yáñez por estar a mi lado durante esta trayectoria escolar, por su apoyo y amor incondicional.

A los profesores de las licenciaturas de Ingeniería Civil, Urbanismo y Geografía de las Facultades de Ingeniería, Arquitectura y Filosofía y Letras, respectivamente, por transmitirme sus conocimientos y despertar mi interés en el tema del cuidado y preservación del ambiente natural, en particular al ingeniero Vicente Quezada por aceptar ser tutor de esta tesis.

Y finalmente al Creador que me puso en este tiempo, en este espacio, con toda esta gente maravillosa.

Introducción.

Desde hace siglos los seres humanos han hecho uso de los recursos naturales sin retribuir lo que han tomado de la naturaleza, explotándolos para cubrir la demanda de la creciente población, poniendo en peligro su renovación habitual y por lo tanto su calidad. Con la finalidad de que generaciones venideras no se vean privados de los bienes naturales, han sido indispensables proyectos que garanticen la existencia y calidad de éstos.

El agua, elemento de gran importancia para la vida de los seres vivos que habitan este planeta, está cada vez más deteriorada y escasa debido a las actividades antropogénicas, como explotar los acuíferos, descargar agua residual sin tratamiento a los cuerpos de agua, secar ríos para poner vías de transporte vehicular, entre otras.

Pese a que el panorama se ve difícil, estamos a tiempo de revertir el daño que hemos hecho, y podemos empezar haciendo un uso consciente del agua, así como llevar a cabo proyectos que impliquen plantas de tratamiento de agua residual, proyectos para la recarga natural de los acuíferos y proyectos que permitan utilizar el agua de lluvia.

Pero, ¿por qué captar agua de lluvia? ¿Por qué en la delegación Iztapalapa? Recordemos que entre más población exista en un lugar mayor demanda de recursos habrá, e Iztapalapa es una de las delegaciones del Distrito Federal con más habitantes y que carecen del vital líquido. Captar agua de lluvia directamente en las azoteas es una forma de aprovecharla en vez de desalojarla de la urbe, con lo que a largo plazo podrá ser un complemento al agua que distribuye la delegación.

El objetivo principal es que el agua de lluvia recolectada se utilice en las actividades que no requieran necesariamente de agua potable como en las descargas del inodoro, limpieza general de la vivienda, etc.

Índice

Capítulo 1. Alternativas de suministro de agua en otras ciudades ante la escasez del recurso 5

1. Megaciudades en países desarrollados 7
 - Tokio, Japón
 - Nueva York, Estados Unidos de América
 - Shanghái, China
2. Megaciudades en países en vías de desarrollo 11
 - Delhi, India
 - Sao Paulo, Brasil
 - Bombay, India
 - Dhaka, Bangladesh
 - Calcuta, India
 - Karachi, Pakistán
 - Ciudad de México, México

Capítulo 2. Uso de agua de lluvia en México 21

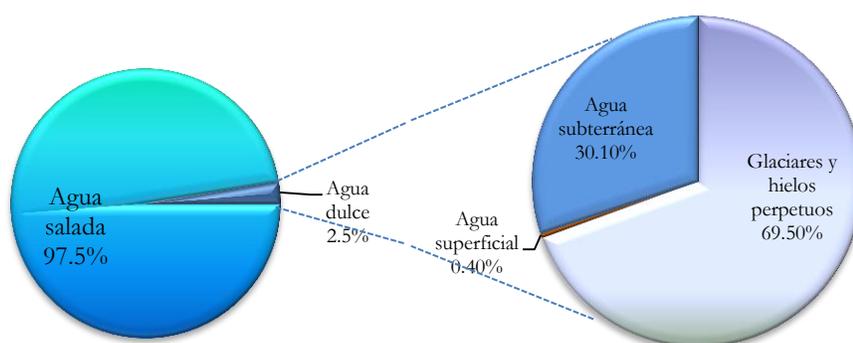
1. Precipitación en México 22
2. Captación de agua de lluvia en el país 27
 - Estado de México
 - Distrito Federal
 - Yucatán
 - Michoacán
 - Morelos
 - Nayarit
 - Colima
 - Quintana Roo
 - Veracruz
 - Tabasco
3. Referencias 35

Capítulo 3. Métodos de captación de agua de lluvia y su almacenamiento	36
1. Antecedentes	36
2. Sistemas de captación de agua de lluvia	38
- Aljibes	
- Captación de agua de lluvia en los techos	
3. Recolección de agua de lluvia a largo plazo	43
Capítulo 4. Caso de estudio: Iztapalapa	45
1. Antecedentes	46
2. Ubicación territorial	47
3. Inconvenientes en la dotación de agua	49
4. Objetivo, alcances y justificación del uso del agua de lluvia	51
- Estudio de campo	
- Resultados	
5. Referencias	59
Conclusiones	60
Bibliografía	62

Capítulo 1.

Alternativas de suministro de agua en otras ciudades ante la escasez del recurso.

El planeta que habitamos posee un enorme volumen de agua y se divide de la siguiente manera: el 97.5% pertenece al agua salada y el 2.5% restante es agua dulce. De este porcentaje de agua dulce disponible, el 69.50% la encontramos en glaciares, nieve y hielos perpetuos, el 30.10% se compone de aguas subterráneas, y el 0.4% pertenece a los ríos, lagos, humedad en el suelo y aire, y en seres vivos¹.



Gráfica 1.1 Distribución de agua en el planeta.

Aproximadamente 816 000 kilómetros cúbicos² de agua se utilizan para consumo humano, no obstante, mucha gente en diversas partes del mundo tiene un acceso limitado al vital líquido por varias razones; dos de las más sobresalientes son³:

- Los recursos hídricos tienen dificultad para regenerarse debido a las acciones antropogénicas.
- Las zonas densamente pobladas no coinciden, en muchas ocasiones, con la disponibilidad del agua.

¹ CONAGUA, distribución global de agua en el mundo

² Guerrero, Manuel, *El agua*

³ García Ávila, Patricia, *Agua, medio ambiente y desarrollo en el siglo XXI*, 2003.

Los primeros asentamientos urbanos se situaron cerca de un río o un lago con los cuales la población se abastecía sin dificultades. Pero esta situación no duraría debido a un acontecimiento histórico que marcaría la calidad del agua: la Revolución Industrial en el siglo XIX. El crecimiento descontrolado de la población en las ciudades debido a las oportunidades de desarrollo económico que ofrecía la ciudad, y la descarga de agua residual sin tratamiento a los ríos y lagos, fueron poco a poco contaminando las fuentes de abastecimiento de agua. Desde entonces y hasta ahora, el proceso de urbanización a escala mundial ha limitado la renovación natural de los cuerpos de agua. Algunos de los problemas más frecuentes en las ciudades son la sobreexplotación de fuentes subterráneas y superficiales locales, y el escaso tratamiento de aguas residuales. (Soto Montes de Oca, 2007)

El crecimiento exponencial actual de la población en varios lugares del mundo ha requerido una demanda mayor de agua. Las ciudades tienen una aglomeración importante de residentes porque concentran un mayor número de actividades económicas y sociales.

Cuando nos referimos a una zona que concentra a más de 10 millones de habitantes, estamos hablando de una megaciudad, no por las dimensiones físicas de esta sino por la gran densidad de población que concentra⁴.

Teniendo más de 20 megaciudades en el mundo, surgen problemas de dotación del servicio y disponibilidad de agua, debido a que la demanda supera a la oferta por el exceso de habitantes. Es en las megaciudades de los países en vías de desarrollo donde se hace más innegable la falta, escasez y mala calidad del agua, puesto que tiene que realizarse una inversión de gran importancia para atenuar el problema.

Un país desarrollado es aquel en donde sus habitantes gozan de un nivel de vida alto, teniendo buena calidad en los servicios de salud, vivienda y equipamiento; por el contrario un país subdesarrollado o en vías de desarrollo es aquel en donde los habitantes tienen un bajo nivel de vida y carecen de servicios de salud, vivienda y equipamiento.

Los países desarrollados sin embargo tienen problemas en cuanto al abastecimiento del vital líquido; la ventaja que poseen es que tienen el capital necesario y la tecnología para llevar a cabo proyectos que mitigan el problema de la demanda requerida, consiguiendo además una distribución más equitativa y con buena calidad.

Por ejemplo, en Tokio se ha invertido en programas de saneamiento de cuerpos de agua y diseño de presas; en la ciudad de Nueva York se está invirtiendo en desinfección ultravioleta;

⁴ http://www.geociencias.unam.mx/geociencias/iype_cgeo/documentos/megaciudades.pdf

en Shanghái hay proyectos de inyección de agua limpia a los acuíferos e intenciones de desinfección de sus fuentes de agua.

Los países en vías de desarrollo, por su parte, han elaborado planes que implican la renovación de tuberías que distribuyen el agua en la urbe, por ejemplo en localidades indias y en la ciudad de México; en Sao Paulo han propuesto plantas de tratamiento de agua residual y saneamiento de las cuencas que abastecen a la ciudad. Muchos de estos planes se ven retrasados o se interrumpen cuando carecen de capital.

En muchos territorios se necesita de los acuíferos, por lo que es indispensable que se permita la recarga natural de éstos para garantizar una distribución sustentable, hecho que se torna difícil en las megaciudades.

La tabla 1.1 presenta a la población aglomerada en diez de las urbes más habitadas del mundo con censos del 2010 y estimaciones para el año 2015; de estas ciudades, siete se ubican en países en vías de desarrollo: Delhi, México, Sao Paulo, Bombay, Dhaka, Calcuta y Karachi; y tres pertenecen a países desarrollados: Tokio, Nueva York y Shanghái.

Tabla 1.1 Megaciudades mayormente pobladas

CIUDAD	PAÍS	Población	
		2010	2015 (estimación)
Tokio	Japón	36,933,000	38,197,000
Delhi	India	21,935,000	25,629,000
México	México	20,142,000	21,706,000
Nueva York	EUA	20,104,000	21,326,000
Sao Paulo	Brasil	19,649,000	21,028,000
Shanghái	China	19,554,000	25,629,000
Bombay	India	19,422,000	22,963,000
Dhaka	Bangladesh	14,930,000	21,214,000
Calcuta	India	14,930,000	15,076,000
Karachi	Pakistán	13,500,000	15,500,000

Fuente: *World Urbanization Prospects: The 2011 Revision*⁵.

Megaciudades en países desarrollados.

⁵ United Nations, DESA, http://esa.un.org/unpd/wup/unup/index_panel2.html

Tokio, Japón.

La ciudad de Tokio se ubica en la zona este de las orillas de Japón; consta de 5 cuencas hidrológicas que cubren una superficie de casi 23 mil kilómetros cuadrados: Tonegawa, Arakawa, Tamagawa, Sagamiyawa y Tsurumiyawa⁶. Tokio concentra una población de más de 36 millones de habitantes; sus condiciones meteorológicas y su ubicación territorial la hacen propensa a inundaciones, además de presentar hundimientos por la sobreexplotación de aguas subterráneas.

La precipitación media anual es de 1551 milímetros (mm) y en la época de sequías se reduce un 20%. Si bien el cambio climático y otros factores han perturbado la incidencia, la intensidad ha incrementado, ya que se han registrado precipitaciones de 100 mm en un día. (MLIT, 2002)

La concentración de habitantes ha deteriorado los cuerpos de agua y ha reducido su calidad. Al respecto se están tomando medidas para revertir la situación, como controlar las descargas de industrias, mantenimiento a la red de drenaje, y saneamiento a los ríos contaminados. Conjuntamente existen leyes que regulan la extracción de aguas subterráneas porque el uso principal es destinado a industrias.

El agua es suministrada por las dependencias municipales y el sector privado, siempre y cuando se le permita; esta participación ha logrado un mejoramiento en la calidad y distribución del recurso líquido en la ciudad.



Fig. 1.1 Ubicación de Tokio

⁶ Programa piloto *La Gran Tokio, Japón*, coordinado por el Instituto Nacional de Gestión de Suelo e Infraestructuras (NILIM) y el Ministerio del Suelo, Infraestructuras y Transporte de Japón (MLIT)

Nueva York, EE UU.

La ciudad de Nueva York cubre una superficie de 830 kilómetros cuadrados; se ubica al noreste de los Estados Unidos y está conformada por cinco distritos: Bronx, Brooklyn, Manhattan, Queens y Staten Island. Es sede de organizaciones mundiales importantes como la Organización de Naciones Unidas (ONU), Vigilancia de los Derechos Humanos, entre otros.

El clima de la ciudad es poco estable, ya que se pueden esperar tiempos fríos en épocas primaverales e incluso nevadas fuera de tiempo; en el verano el clima llega a ser templado y húmedo, debido a los vientos que llegan desde el oeste; lo que ayuda a uniformar un poco el clima es la bahía en la que se encuentra, ya que el agua funciona como regulador del clima. La precipitación anual es de 1268 mm y las nevadas son de 68 centímetros (cm) anuales.

El crecimiento de la ciudad se debe en parte a su ubicación en la desembocadura del río Hudson, ya que se encuentra un amplio puerto marítimo que ha permitido el comercio con otras partes del mundo. Parte de los asentamientos de Nueva York, se encuentran distribuidos en las islas de Long Island, Staten Island y Manhattan, por lo que mantienen una importante infraestructura de puentes que conectan a estas localidades. La demanda de vivienda ha generado que los desarrolladores se vean en la necesidad de diseñar conjuntos habitacionales en vertical para alojar más población; de ahí viene el sobrenombre de la “ciudad de los rascacielos”.

El agua es distribuida por medio de túneles que la conducen a la ciudad, los cuales toman el agua de las cuencas de Castkill y Delaware. Los túneles están en operación desde 1915, y su permanencia empieza a tener problemas de fugas que, si bien no representan una amenaza en cuanto al continuo abastecimiento, es importante tomarlas en cuenta; en este caso se tiene planeado para el 2015 la construcción de un túnel ‘bypass’. Por la longevidad de los túneles, debe de proporcionarse un mantenimiento muy riguroso y mantener a las actividades industriales lo más alejado posible de las cuencas, de otro modo se verían forzados en hacer una fuerte inversión para construir y dar mantenimiento a una planta de filtración (*Plan Water Supply*, 2011). Para mejorar la calidad del agua tienen un proyecto en puerta que consiste en la construcción de una planta de filtración para el sistema Croton, y desinfección ultravioleta para los sistemas Catskill y Delaware, además tienen planeado mejorar la eficiencia de la red de distribución mejorando su habilidad para detectar y reparar las fugas.



Fig. 1.2 Ubicación de Nueva York.

Shanghái, China.

Shanghái es una ciudad costera que limita al este con el mar de China. Cubre una superficie de 6340.5 kilómetros cuadrados. Se compone de 17 distritos (Huangpu, Jing'an, Luwan, Xuhui, Hongkou, Zhabei, Yangpu, Changning, Putuo, Baoshan, Minhang, Jiading Songjiang, Qingpu, Fengxian y Chongming) y un condado (Nueva área de Pudong).

Situada en la zona subtropical y al este del cinturón de monzón asiático, posee un clima templado y húmedo, con una precipitación de 1164.5 mm al año. Está entrelazada con vías navegables, siendo el río Huangpu la vía de navegación principal con una longitud de 82.5 kilómetros que serpentea a la ciudad uniéndose al río Wusong, desembocando en el mar del mismo nombre. El río Huangpu es el más largo de la zona, el cual tiene tres derivaciones principales: Xietang, Yuanxiejing y Damaogang.

La ciudad comenzó su expansión territorial con la apertura del puerto comercial en la zona este del pacífico; incrementó la industria y finanzas, y la población de la ciudad aumentó rápidamente. Consecuentemente, las aguas residuales industriales y residenciales sin tratamiento fueron descargadas directamente en los ríos. Inevitablemente la calidad del agua de los ríos declinó. En los años 20 del siglo pasado, se construyeron plantas de tratamiento al norte, este y oeste del distrito, las cuales procesaban 35 500 metros cúbicos por día. Para 1950 el gobierno municipal de Shanghái construyó nueve plantas de tratamiento de agua residual y también sistemas de alcantarillado. Debido a las continuas descargas en los años 60, el río Huangpu comenzó a tener mal olor. Posteriormente en los 80, las empresas incrementaron su tratamiento de aguas residuales, siguiendo el lema “el que contamina lo trata”, y alternaron la tecnología para el desarrollo de un tratamiento más eficaz, por ejemplo, el método de la

coagulación química⁷, electrólisis, intercambio de iones y el método a contracorriente *rinse-evaporation*⁸, los cuales fueron utilizados principalmente para industrias que manejaban metales pesados.

Actualmente, se han invertido millones de dólares para la rehabilitación de 201 ríos negros pestilentes que se encuentran en las zonas centrales urbanas. Más del 90% de estos ríos ya han sido descontaminados y un tercio de los ríos principales han alcanzado los estándares requeridos en la calidad del agua. Aunque en Shanghái no se ha puesto en marcha un plan para la utilización de agua de lluvia, existe una ciudad al sur de China llamada Sansha que tiene un proyecto de desalinización de agua de mar e incluye un proyecto de purificación de agua de lluvia⁹.



Fig. 1.3 Ciudad de Shanghái.

Megaciudades en países en vías de desarrollo.

Delhi, India.

Delhi se ubica en la zona norte de India; tiene un clima subtropical semiárido, con grandes variaciones de temperatura entre el verano y el invierno. El verano largo y muy duro se extiende desde principios de abril hasta octubre. Durante este periodo se produce la estación

⁷ Procedimiento químico que consiste en alterar las partículas sólidas para facilitar su sedimentación

⁸ Proceso por el cual se hierve el agua y los metales se evaporan

⁹ Boletín informativo del año 2012

<http://www.shanghai.gov.cn/shanghai/node27118/node27818/u22ai69704.html>

de las lluvias. Las temperaturas extremas registradas en la ciudad pueden llegar a los -2° C en invierno y en verano casi siempre superan los 40° C.

Delhi surge hace dos mil años a orillas del río Yamuna. La mitología hindú considera a este río como caído del cielo el cual, a su paso por la capital, hoy en día está muerto biológicamente. Se le extraen unos 850 millones de litros diarios, siendo la principal fuente de abastecimiento de la capital, pero cuando deja la capital se convierte en un sumidero de residuos, donde se vierten unos 3600 millones de litros de aguas residuales al día.

El agua subterránea, el único recurso disponible para llenar la brecha entre las necesidades de agua potable del Territorio de la Capital Nacional y la que se toma directamente de los ríos disponible, se encuentra en una condición muy crítica, ya que el ritmo de recarga de las aguas subterráneas está muy por detrás del ritmo de recarga natural. Este escenario preocupa a las autoridades de la ciudad por lo que se han llevado a cabo proyectos de construcción de plantas de tratamiento y plantas recicladoras de agua residual, las cuales permitirán la distribución eficaz a largo plazo. Para evitar el desperdicio por fugas, se ha invertido también en la reparación y sustitución de las tuberías existentes.

Para las escuelas y nuevos edificios se emplea el uso del agua de lluvia la cual es proporcionada por un sistema de recolección de lluvia por el Departamento de Obras Públicas (PWD) y otras agencias gubernamentales.



Fig. 1.4 Ciudad de Delhi.

Sao Paulo, Brasil.

La ciudad de Sao Paulo se sitúa al sureste de Brasil. Su ubicación cerca de la costa permite la regulación del clima, evitando temperaturas extremas tanto en invierno como en verano. Presenta una precipitación de 1450 mm al año. Como el país se encuentra en el hemisferio sur, las estaciones del año difieren a las del hemisferio norte; mientras que en la mayor parte del hemisferio norte la temporada de lluvias comienza entre primavera-verano, en el hemisferio sur comienza en periodo otoñal-invernal.

Debido a la gran mancha urbana, las inundaciones son el principal problema de la ciudad. Al respecto, las autoridades correspondientes han hecho trabajos en el río Tieté y Pinheiros, con la finalidad de que los embalses reciban el caudal de las aguas de lluvia. Sin embargo el río Tieté presenta grave contaminación, ya que está persistente desde principios del siglo XX, por lo que proyectos de saneamiento también ocupan un lugar importante. Actualmente se trata el 55% de aguas residuales, y se tiene planeado para el 2018 que aumente a 85%.

Además de la limpieza y conservación, el Gobierno está preocupado en recuperar y devolver a la población el río Tieté limpio y sin contaminación. Mientras tanto, uno de los mayores proyectos de paisaje urbano está en marcha: la construcción del mayor parque lineal del mundo, Tieté humedales, cuya extensión albergará un complejo de ocio y turismo que beneficiará directamente a 3 millones de personas. El parque tiene como objetivo drenar el agua de lluvia.



Fig. 1.5 Ciudad de Sao Paulo.

Bombay, India.

Es la ciudad más poblada de la India con más de 19 millones de habitantes; la Región Metropolitana de Bombay (que agrupa a Kalyan, Bhiwandi, Virar, Vasai y Panvel) junto con las zonas urbanas vecinas de Navi Mumbai y Thane es la cuarta más grande del mundo. Bombay se encuentra en la costa oeste de la India, situada en una estrecha franja de terreno que surge de la costa pantanosa de Maharashtra y se adentra en el mar Arábigo. La ciudad es el principal centro económico de la India y alberga a la mayor industria cinematográfica del mundo, siendo también un importante centro cultural que cuenta con numerosas universidades, teatros, museos y galerías.

La ciudad de Bombay se encuentra en zona climática tropical. Las temperaturas son moderadas por la proximidad del mar y no sufren grandes variaciones a lo largo del año. La época de monzones (chatur-masia, o ‘cuatro meses’) se extiende normalmente entre el comienzo de junio y el final de septiembre. Las precipitaciones alcanzan los 2146.6 mm al año.

La ciudad presenta asentamientos irregulares invadiendo zonas restringidas para el desarrollo habitacional, lo que hace difícil la eficiente dotación de servicios. Más de 2 millones de residentes de Bombay no tienen instalaciones sanitarias, y gran parte de las aguas residuales de Bombay son desechadas sin tratar o parcialmente tratadas en riachuelos y aguas de la costa¹⁰. No existen ríos que crucen la ciudad, por lo que se abastecen de presas. Existen tres presas en la ciudad que abastecen a la población con agua potable: Tulsī, Vihar y Powai, las cuales almacenan 6.7, 18.90 y 6.68 kilómetros cúbicos de agua, respectivamente. Las acciones a realizar para garantizar el abasto de agua a la ciudad son proyectos de saneamiento, alcantarillado y drenaje de aguas pluviales.

¹⁰ Perfil de las ciudades, <http://www.un.org/Pubs/CyberSchoolBus/spanish/cities/ebombay.htm>



Fig. 1.6 Ciudad de Bombay.

Dhaka, Bangladesh.

Está situada en el centro de Bangladesh a orillas del río Buriganga. Dhaka y su área metropolitana tienen una población de más de 14 millones de habitantes, representando a la ciudad más grande de Bangladesh y una de las más pobladas del mundo. La ciudad está ubicada cerca del delta del Ganges y cubre un área total de 815.85 kilómetros cuadrados. Tiene ocho *thanas* (distritos) principales (Dhanmondi, Kotwali, Motijheel, Paltan, Ramna, Mohammadpur, Sutrapur y Tejgaon) y 14 *thanas* menores (Gulshan, Lalbagh, Mirpur, Pallabi, Sabujbagh, Acantonamiento de Dhaka, Demra, Hazaribagh, Shyampur, Badda, Kafrul, Kamrangir char, Khilgaon y Uttara).

Se caracteriza por tener una vegetación tropical y un suelo húmedo. El hecho de que Dhaka sea susceptible a inundaciones durante las épocas de monzones, fuertes lluvias y ciclones, se debe a que se encuentra prácticamente a nivel del mar. Dhaka experimenta un clima caluroso, lluvioso y húmedo, con una precipitación anual de 1854 mm. La ciudad se encuentra dentro de la zona climática de los monzones.

La contaminación del aire y el agua va en aumento a causa de las frecuentes congestiones vehiculares y de los desechos industriales, afectando a la salud pública y a la calidad de vida en la ciudad. Los acuíferos y los humedales de los alrededores se enfrentan a una extinción debida a diversas causas.

La escasa planeación urbana de Dhaka crea problemas de suministro de agua potable y alcantarillado; para esto, la WASA (sus siglas en inglés: *Water Supply and Sewerage Authority* Comisión de Agua Potable y Alcantarillado) ha realizado esfuerzos para lograr un incremento en la calidad del agua a un bajo costo. Una de las preocupaciones de la WASA es que las fuentes subterráneas están llegando al límite de extracción, por lo que se han visto en la necesidad de regresar al uso de fuentes superficiales; además la sobreexplotación de los acuíferos se está convirtiendo en un peligro para el medio ambiente; de este modo los acuíferos necesitan urgente e irremediablemente recargas a través del agua de lluvia.

El tratamiento de las aguas superficiales resulta técnicamente más complejo y costoso porque los ríos presentan un alto grado de contaminación debido a la descarga indiscriminada de las aguas residuales domésticas e industriales. Si no se toman medidas ante esta situación, la contaminación será irreversible. El plan de la WASA tiene la intención de tratar las aguas superficiales y desviar el agua menos contaminada de los ríos para el suministro a la población.



Fig. 1.7 Ciudad de Dhaka.

Calcuta, India.

Calcuta se encuentra ubicada en el este de la India, en el delta del Ganges, a una altura de entre 1.5 y 9 metros sobre el nivel del mar. Se extiende a orillas del río Hugli en dirección norte-sur, a 154 km del golfo de Bengala hacia el interior del continente. La mayor parte del terreno sobre el que se asienta la ciudad fue originalmente un vasto humedal; la zona húmeda restante, conocida como Humedales Occidentales de Calcuta o *East Calcutta Wetlands* han sido designados como “zona húmeda de importancia internacional” por el Convenio de Ramsar el 19 de agosto de 2002.

Los veranos son cálidos y húmedos. Durante la temporada seca (mayo y junio) las temperaturas máximas suelen superar los 40 °C. El invierno térmico suele durar sólo unos dos meses, entre diciembre y enero, con temperaturas mínimas estacionales de 12 °C. A menudo, al comienzo del verano, períodos de fuertes lluvias y tormentas azotan la ciudad, con lo que se alivia el calor. Las lluvias del monzón sudoccidental atizan al Golfo de Bengala y a la ciudad entre junio y septiembre, suministrando a la ciudad la mayor parte de su precipitación anual de 1582 milímetros. La más alta precipitación ocurre durante las lluvias del monzón en agosto (306 milímetros).

Debido al exceso de explotación de los acuíferos y a la descarga indiscriminada de aguas residuales industriales, ya presentan graves problemas de contaminación con arsénico. Para revertir el daño se han implementado la construcción de plantas de tratamiento, además se esperan realizar políticas que permitan las recargas naturales con agua de lluvia e incluso almacenarla para su utilización.



Fig. 1.8 Ciudad de Calcuta.

Karachi, Pakistán¹¹.

La ciudad se ubica al sureste de Pakistán, la cual goza de una posición privilegiada por su situación geográfica en la costa del mar Árabe, al noroeste de la desembocadura del río Indo. Es una de las ciudades de mayor crecimiento del mundo con más de 13 millones de habitantes. Se extiende a lo largo de 3527 kilómetros cuadrados de área. Es conocida localmente como “la ciudad de las luces” por su vivacidad. Es atravesada por dos ríos principales: el Malir y el Liari.

¹¹ Debido a la falta de documentos recientes, todo lo relacionado a esta ciudad (salvo datos geográficos) fue tomado del libro escrito por Gabriela Soto Montes de Oca, *Agua: tarifas, escases y sustentabilidad en las megacidades*.

El puerto de la ciudad está en una bahía protegida de las tormentas por las islas Kiamari y Manora. Karachi disfruta de inviernos suaves y muy calurosos veranos, sin embargo, al situarse en la costa, la ciudad experimenta una elevada humedad. La ciudad recibe un promedio de precipitación de 250 mm al año, que es contribuida principalmente por las lluvias monzónicas.

Existen pérdidas del 60% en las tuberías que distribuyen el agua a la ciudad, debido al escaso mantenimiento de estas. Se abastecen de los lagos Haleji y Kalri que son alimentados por el río Indo, y con pozos que se alimentan por el río Malir. El servicio es intermitente debido a problemas de energía para bombear el agua. Un indicador de contaminación es la demanda bioquímica de oxígeno que es de 300 miligramos por litro (mg/l), cuando el nivel aceptable es de 9 mg/l. Los recursos de agua disponibles se encuentran bajo amenaza debido a las descargas municipales y desechos industriales.

La contaminación de los cuerpos de agua impone una amenaza grave al ecosistema marino, pesquero y recursos de manglar que afectan sobre todo a la población pobre que vive en la zona costera de la ciudad. El agua de los mantos acuíferos tiene un alto grado de salinidad, de manera que el agua usada en el campo incrementa la salinidad en el suelo.

La ciudad permanece sin agua por días, lo que ocasiona condiciones de vida e higiene precarias. La ciudad genera más de un millón de litros por día de agua residual, el 80% de ésta llega al mar sin tratamiento. Se considera que el río Lyari es un canal tóxico debido a las descargas. Existen tres plantas que tratan el 15% de las aguas residuales.

Para atenuar la situación se han tomado medidas para mejorar la calidad del agua para el consumo directo, tales como procesos de purificación de agua o compra de agua embotellada. Los habitantes se han visto en la necesidad de comprar pequeños purificadores de agua, debido a la mala calidad que se suministra.



Fig. 1.9 Ciudad de Karachi.

Ciudad de México, México.

La ciudad de México se localiza en la zona central del país homónimo. Los más de 20 millones de habitantes se encuentran distribuidos en 16 delegaciones y más de 60 municipios que comprenden la zona conurbada de la ciudad de México. Posee un clima templado con lluvias en verano con una precipitación de 754.5 mm al año.

El área urbanizada está asentada en lo que antiguamente era un sistema de lagos los cuales, por la expansión de la ciudad fueron secándose; actualmente sólo queda el lago de Xochimilco.

Antiguamente la Ciudad de México dotaba a la población del líquido mediante los ríos que se encontraban en la urbe, mismos que con el paso de los años y el aumento de la población comenzaron a secarse, y otros fueron entubados para evitar focos de infección que propiciaban las descargas de agua residual al río. Esto provocó que el abastecimiento hidráulico fuera insuficiente.

Por ello, las autoridades capitalinas se vieron en la necesidad de perforar el subsuelo y utilizar el agua subterránea, aparte de recurrir a una fuente complementaria externa a la ciudad. Desde entonces, dichas alternativas de suministro de agua no son equitativas, ya que se pierden varios litros en fugas de las tuberías que distribuyen el agua a la ciudad.

Al respecto, el Sistema de Aguas de la Ciudad de México definió un plan denominado Programa de Manejo Sustentable de Agua para la Ciudad de México, el cual tiene como objetivos principales:

- Recarga de los acuíferos y protección al suelo de conservación
- Detección y supresión de fugas
- Drenaje, tratamiento y reúso de agua residual tratada
- Protección de parques lacustres y áreas de alto valor ambiental

Para la urbe resulta imprescindible realizar acciones que inhiban la sobreexplotación y contaminación de sus fuentes locales de abastecimiento. También existe la urgente necesidad de explorar alternativas que contribuyan a que esta entidad sea capaz de autoabastecerse sin la necesidad de recurrir a fuentes externas, como el tratamiento y reúso del recurso, así como la captación de agua de lluvia, y estar así en la posibilidad de atender la demanda futura. (Delgado Peralta, 2012).



Fig. 1.10 Ciudad de México.

Los métodos para revertir el daño a las fuentes de abastecimiento de agua, descritos en este capítulo, pueden complementarse con sistemas que permitan el uso del agua de lluvia, técnica poco explotada, desde mi punto de vista, en las megaciudades del mundo. Utilizando la tecnología disponible en cada país, el uso del agua de lluvia evita, a largo plazo, que se siga explotando el agua superficial y subterránea.

Capítulo 2.

Uso de agua de lluvia en México.

Como vimos en el primer capítulo de este trabajo, la escasez de agua en el mundo es una realidad a la que nos es difícil adaptarnos. Sin embargo, estamos a tiempo de atenuarla. En varios países desarrollados y subdesarrollados se han tomado medidas de mitigación ante la insuficiencia del líquido, por lo que se han realizado proyectos, como el saneamiento de cuerpos de agua superficial y subterránea, reúso de aguas residuales tratadas y la recolección de agua de lluvia. Éste, es el tema a tratar en el presente documento.

Para llevar a cabo la recolección de agua pluvial, se han realizado acciones en distintos lugares del mundo para potencializarlo. Por ejemplo, en Japón en el distrito de Mokojim, se utiliza el sistema “Ronjinson”^a que consiste en captar el agua de lluvia con canaletas que se colocan en el techo de las casas; el agua es almacenada en un pozo subterráneo y se extrae con una bomba manual. Posteriormente, el agua de lluvia recolectada es destinada para uso sanitario o en emergencias contra incendios. En China, han realizado proyectos de recolección de agua de lluvia a través de parques^b, como en el parque Daguanyuan que tiene 300 metros cuadrados de lagos y canales, los cuales han recogido hasta el momento cerca de 60 mil metros cúbicos de agua. La mayoría de los riegos del jardín en el hogar y de los sistemas de riego de áreas verdes comunes están equipados con tecnología de ahorro de agua y el reciclaje de agua de lluvia. En la India y Pakistán la colectan en aljibes y la utilizan para el riego de las zonas agrícolas y consumo animal. En Brasil se diseñaron áreas verdes de importante dimensión con la finalidad de filtrarla para que exista una mayor recarga de los acuíferos. Por último, en México están desarrollándose proyectos en distintos estados, así como en el Distrito Federal, los cuales serán descritos más adelante.



Parque Tieté, Sao Paulo, Brasil



Parque Daguanyan, China.



Ejemplo de aljibe

Fig. 2.1 Ejemplos de sistemas de recolección de agua de lluvia

Precipitación en México.

Para que la recolección de agua de lluvia sea posible, es importante conocer las características físicas de la zona, como la temperatura, humedad, presión atmosférica, cercanía a la costa, temporada de lluvias y la precipitación media anual.

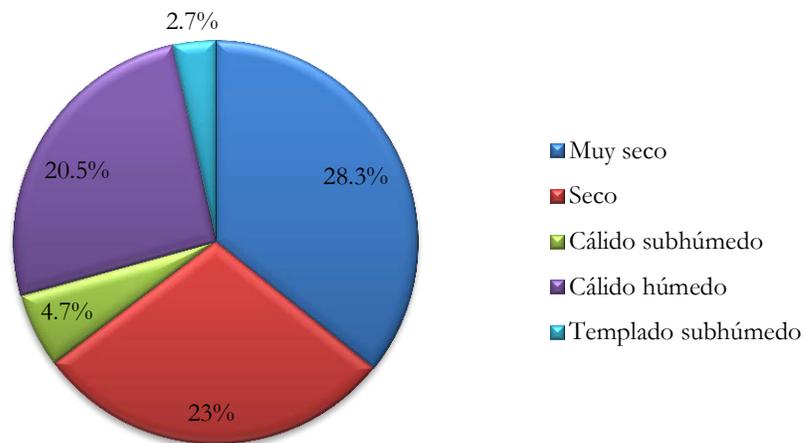
En México, tenemos un clima muy heterogéneo debido a su ubicación geográfica: 32°43'-14°32' latitud norte, y 86°42' – 118°22' longitud oeste (INEGI, 2013), lo que propicia que

habitamos en una zona de fenómenos meteorológicos importantes. La figura 2.2 representa los climas que encontramos en nuestro país.



Fig. 2.2 Climas de México

De manera muy general, los climas en México se clasifican según su temperatura (cálido y templado), y de acuerdo a la humedad (húmedo, subhúmedo y seco).



Gráfica 2.1 Cobertura de climas existentes en México

La gráfica anterior muestra que el 28.3% del territorio del país posee un clima muy seco; un 23% reporta clima seco; en tanto, el clima cálido húmedo ocupa un 20.5%; y en menor

proporción tenemos el clima cálido subhúmedo y templado subhúmedo con un 4.7% y 2.7% respectivamente. De esta manera se tienen las siguientes precipitaciones y temperaturas:

Tabla 2.1 Climas y temperaturas en México

Clima	Temperatura	Precipitación media anual
Seco	18°C - 26°C	300-600 mm
Muy seco	18°C - 22°C	100-300 mm
Templado subhúmedo	10°C - 22°C	600-1000 mm
Templado húmedo	18°C - 22°C	2000-4000 mm
Cálido húmedo	22°C - 26°C	2000-4000 mm
Cálido subhúmedo	22°C - 27°C	1000-2000 mm

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional (SMN)

De acuerdo a la tabla 2.1, en los climas templado húmedo, cálido húmedo y cálido subhúmedo, existe una mayor precipitación, lo que representa que en estos climas se cuente con una recolecta de agua de lluvia en cantidades importantes. Los estados que comprenden el clima templado húmedo son: Oaxaca, Guerrero, Morelos, Estado de México y el Distrito Federal; los estados que comprenden el clima cálido húmedo son: Chiapas, Veracruz, Tabasco y una pequeña porción de Oaxaca; finalmente los estados que comprenden el clima cálido subhúmedo son Yucatán, Campeche y Quintana Roo.

La precipitación es un elemento del clima muy importante ya que forma parte del ciclo hidrológico, responsable del depósito de agua dulce en el planeta. En la figura 2.3 tenemos el ciclo del agua, fundamental para la vida en el planeta.

De acuerdo con este proceso, la lluvia es generada desde las nubes creadas por la condensación del líquido en la atmósfera; cuando alcanzan un punto de saturación, las gotas que lo conforman aumentan su tamaño hasta que, por su peso, se precipitan atraídas por la fuerza de gravedad. Ésta puede ser en forma sólida (nieve, granizo), gaseosa (neblina) y en forma líquida (lluvia).

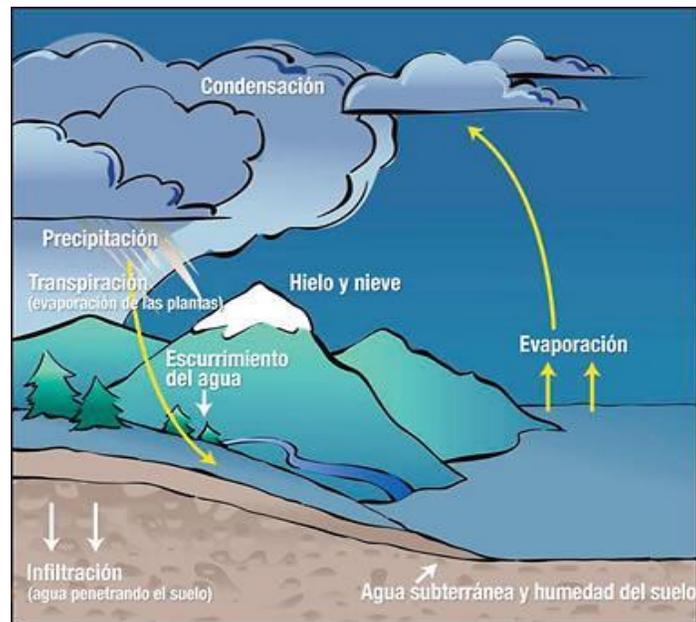


Fig. 2.3 Ciclo hidrológico

El agua de los océanos se evapora por el calentamiento solar, y es desplazada por el viento hacia zonas altas en donde se condensa y se precipita. Una parte de ésta, escurre y la otra se filtra. El agua filtrada es absorbida por la vegetación existente de la cual, una parte transpira y es evaporada a la atmósfera y la otra parte se distribuye en el subsuelo y forma cuerpos de agua subterráneos. Los escurrimientos de las zonas altas regularmente desembocan en el océano en donde nuevamente empieza el ciclo.

Existen instrumentos que miden la cantidad de agua precipitada denominados pluviómetros y pluviógrafos. Los pluviómetros miden el agua de lluvia precipitada en milímetros (mm) que equivale al espesor de lámina que se forma en una superficie plana e impermeable. Los pluviómetros deben colocarse en una zona donde no existan interferencias, como árboles, edificaciones o elevaciones orográficas. El pluviógrafo tiene la finalidad de medir la cantidad de lluvia precipitada en un determinado tiempo y su intensidad, así por ejemplo registra el agua precipitada durante una hora.

La precipitación media anual en el país es de 1 489 kilómetros cúbicos⁶, de los cuales el 73% se evapotranspira (cantidad de agua transpirada por plantas que se evaporan a la atmósfera), el 21% escurre por ríos y lagos, y el resto se incorpora a los acuíferos¹².

La distribución pluvial en nuestro país es muy irregular debido a la variabilidad del territorio. En general, la precipitación va en aumento en dirección norte-sur donde el relieve del territorio

¹² Comisión Nacional del Agua, *Atlas del agua en México*, 2012.

mexicano produce un efecto importante en el resultado de esta distribución (Maderey Rascón, 1977). La figura 2.4 muestra la distribución de precipitación pluvial en México.

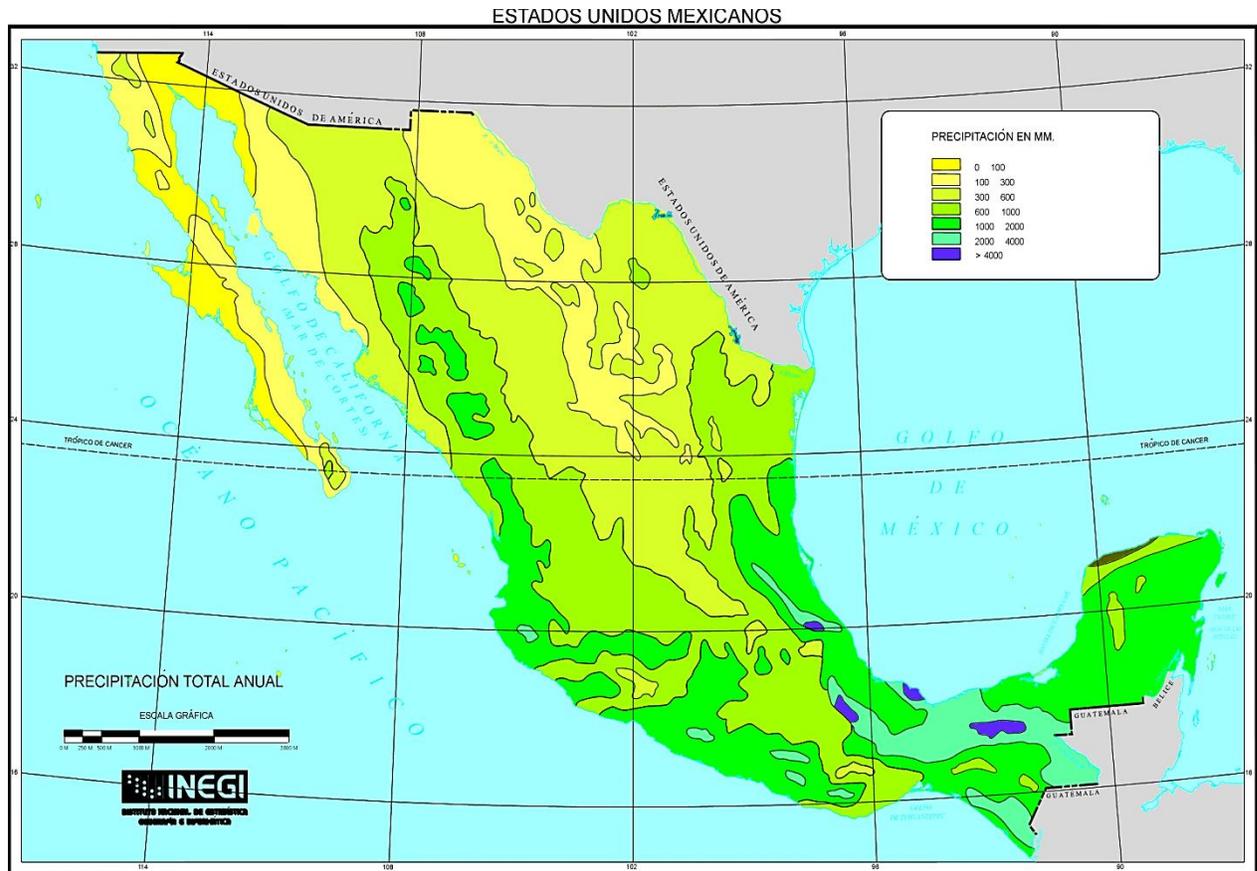


Fig. 2.4 Precipitación anual en México.

Existen fenómenos meteorológicos específicos que determinan la cantidad de agua pluvial, dos de los más importantes son:

- Ciclones tropicales
- Frentes fríos

Los ciclones tropicales son fenómenos naturales que giran en forma de espiral y se forman en la franja de los trópicos de la Tierra. Al desplazarse, cargan consigo una gran cantidad de humedad, la cual se precipita en forma de lluvia al llegar a una barrera natural elevada, como una montaña o cordillera. La temporada de ciclones en el océano Atlántico comienza a finales de mayo y en el océano Pacífico el 15 de mayo, ambas temporadas concluyen a finales de noviembre. Dependiendo de las condiciones atmosféricas y la velocidad del viento, los ciclones pueden convertirse en huracanes. De acuerdo al Servicio Meteorológico Nacional, los beneficios de los ciclones tropicales son las precipitaciones pluviales, ya que estas llenan las

presas que generan energía eléctrica, dan abasto de agua para riego y suministran de agua a la población

Los frentes fríos son masas de aire frío que, al chocar con una masa de aire caliente, originan tormentas, nevadas y bajas temperaturas en la región por la que pasa; se desplazan desde el norte del continente Americano y cruzan la república Mexicana

Captación de agua de lluvia en el país.

La recolección de agua pluvial en nuestro país es un sistema que se ha utilizado desde la época prehispánica; en este periodo, el líquido recolectado era utilizado con fines de consumo humano y para riego. Para almacenarla se utilizaron *aguadas* (depósitos naturales o artificiales de poca profundidad) y contenedores elaborados con roca, así como con la captación directa por medio de pozos, arroyos y ríos. Actualmente, en las comunidades rurales son utilizados sistemas de captación de agua de lluvia como los aljibes, presas de tierra, ollas de agua, entre otros.

Para obtener un mejor aprovechamiento del agua de pluvial, el Colegio de Postgraduados del Estado de México estableció un Centro Internacional de Demostración y Captación en Aprovechamiento de Agua de Lluvia (CIDECALLI) que promueve la captación, purificación y envasado de agua de lluvia, otorgando principal atención en las zonas rurales. (Anaya Graduño, 2011)

Como ya se mencionó, las precipitaciones en el país no se distribuyen de manera equitativa; existen algunas zonas en las que la precipitación media anual no alcanza los 600 mm anuales, mientras que en otras rebasa los mil milímetros al año. Para poder usar este recurso, varios estados de la República que tienen la posibilidad de hacerlo, propusieron la utilización del agua de lluvia para distintos usos. Estos estados son: Estado de México, Distrito Federal, Yucatán, Michoacán, Morelos, Nayarit Colima, Quintana Roo, Veracruz y Tabasco.

Estado de México.

Se ubica en el centro del país, colindando al este con Michoacán, al norte con Querétaro e Hidalgo, al este con Tlaxcala, y al sur con Guerrero, Morelos y el Distrito Federal; comprende

una superficie de 22 mil 500 kilómetros cuadrados en donde se ubican 15 millones 175 mil habitantes¹³. Dispone de una precipitación media mayor a los 700 mm al año.

El agua de lluvia es captada en una cisterna que abastece a los hogares. El objetivo es utilizarla para uso doméstico, ganado y usos agrícolas durante el periodo de sequías. Para que pueda ser consumible se recomienda a los habitantes que agreguen cloro con el fin de eliminar elementos patógenos que puedan causar enfermedades^f.



Fig. 2.5 Ubicación del Estado de México

Distrito Federal.

Localizado en la zona centro del país, colinda al norte, este y oeste con el Estado de México, y al sur con Morelos. La ciudad cubre una superficie de mil 485 kilómetros cuadrados que albergan alrededor de 9 millones de habitantes. La precipitación registrada es de 755 mm anuales.

El uso de agua de lluvia ha empezado a utilizarse en equipamientos de servicio urbano, como mercados, centros departamentales, entre otros. Para ejemplificar, tenemos el “Mercado Verde”^e, ubicado en la delegación Coyoacán, (remodelado en noviembre del 2011) que cuenta con una cisterna que recolecta el agua precipitada, utilizándola para los sanitarios y el abasto de los locatarios. Así, la captación de agua de lluvia en el DF se realiza directamente en los techos y se almacena en cisternas que posteriormente distribuyen el agua para uso sanitario.

¹³ Nota: los datos de población de cada estado fueron tomados de los Censos de Población y Vivienda del 2010 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)



Fig. 2.6 Ubicación del Distrito Federal

Yucatán.

Yucatán se sitúa al este de la costa del Caribe del país en la península del mismo nombre. Colinda con Campeche y Quintana Roo. Incluye una extensión de 39 mil 612 kilómetros cuadrados en los que se encuentran un millón 955 mil habitantes. La precipitación llega hasta los 800 mm al año.

El gobierno de Yucatán implementó la recolección del agua de lluvia en los hogares por medio de canaletas que capten el agua de lluvia directamente de los techos, el líquido recolectado será con fines de riego de jardines y de uso doméstico¹.



Fig. 2.7 Ubicación territorial de Yucatán

Michoacán.

Localizado al oeste del territorio mexicano, el estado colinda al oeste con Colima y Jalisco, al norte con Guanajuato y Querétaro, al este con Estado de México y Guerrero, y al sur con el Océano Pacífico. Cubre una superficie de 58 mil 643 kilómetros cuadrados que albergan a una población de 4 millones 352 mil habitantes. Tiene una precipitación media anual de 806 mm.

De acuerdo con el Instituto Mexicano en Tecnología del Agua (IMTA) las localidades de Arócutin, San Francisco Uricho y Napízaro, en el municipio de Erongarícuaro, cuentan con un modelo de colectores comunitarios de agua de lluvia que además almacenan y distribuyen agua para consumo humano, destinada para los habitantes de dichas comunidades.



Fig. 2.8 Ubicación de Michoacán

Morelos.

Se ubica en la zona centro del país. Colinda al este con Puebla, al sur con Guerrero, al oeste con el Estado de México y al norte con el DF. Comprende una superficie de 4958 kilómetros cuadrados con una población de un millón 777 mil habitantes. Posee una precipitación media mayor a los 900 mm al año.

En algunos municipios se han llevado a cabo propuestas de construcción de ollas de agua, que son depresiones en el terreno cubiertas con una capa impermeable, la cual se elabora con arcilla o con algún otro material que impida la filtración del agua de lluvia almacenada. El uso de las ollas de agua sirve fundamentalmente para dar de beber al ganado y en algunos casos abastece a los hogares, y también al equipamiento de servicio público, como en el caso del municipio de

Cuautla^g donde el agua de lluvia recolectada es destinada para uso de servicios sanitarios en la central de abastos.



Fig. 2.9 Ubicación del estado de Morelos.

Nayarit.

Se localiza al noroeste del país colindando al oeste con el Océano Pacífico, al norte con Sinaloa y Durango, y al sureste con Jalisco. Abarca una superficie de 27 mil 335 kilómetros cuadrados albergando a una población de más de un millón de habitantes. Tiene una precipitación media mayor a los 900 mm al año.

En el estado de Nayarit se encuentra una planta de tratamiento donde además tienen un colector de aguas pluviales llamada “Rey Nayar”^h, cuya finalidad es disminuir las inundaciones que afectan a la población en temporada de lluvias. En Tepic existe el “Proyecto Jagüeyes”ⁱ que sirve para recolectar agua de lluvia para fines agropecuarios. En el municipio de Xalisco se estimó un monto para el diseño de ollas que capten 3 mil metros cúbicos de agua.



Fig. 2.10 Ubicación de Nayarit

Colima.

Se ubica al oeste de la República en la costa del Océano Pacífico. Colinda al norte con el estado de Jalisco, al este con el estado de Michoacán, y al suroeste con el Océano Pacífico; comprende una superficie de 5455 kilómetros cuadrados que albergan a más de 600 mil habitantes. Presenta una precipitación media de 983 mm al año.

El Programa de Ordenamiento Ecológico de Colima^d promueve la instalación de infraestructura pública y sistemas domésticos para la captación de agua de lluvia en pisos, terrazas, techos y pavimento. Los sistemas domésticos consisten en colocar canaletas en los techos de los hogares con la finalidad de que el agua de lluvia escurra y sea depositada en tambos o piletas. El uso básico del agua recolectada es doméstico. Para la agricultura se han elaborado zanjas que permiten la captación directa del agua de lluvia.



Fig. 2.11 Ubicación de Colima

Quintana Roo.

Se localiza al este del país en lo que comprende la península de Yucatán. Se encuentra en la costa del Caribe, colindando con Yucatán y Campeche al oeste, así como con los países Belice y Guatemala al sur. Posee una extensión territorial de 43 mil 360 kilómetros cuadrados, con una población de más de un millón de habitantes. La precipitación anual del territorio es de 1100 a 1500 mm como promedio.

El gobernador de dicho Estado invirtió aproximadamente 2 millones de pesos en dos poblaciones del municipio de Othón P. Blanco para la construcción de colectores comunitarios de agua pluvial, el cual tendrá un uso doméstico (riego de plantas, consumo para animales).



Fig. 2.12 Ubicación del estado de Quintana Roo.

Veracruz.

Está situado en el este del país en la costa del Golfo de México, colinda al este con Tabasco, al sur con Chiapas, al oeste con Oaxaca, Puebla, Hidalgo, San Luis Potosí, y al norte con Tamaulipas. Ocupa un espacio de 71 mil 820 kilómetros cuadrados que contiene a 7 millones 643 mil habitantes. La precipitación es de 2000 a 2500 mm anuales.

Para tener un mejor cuidado en los recursos disponibles, el gobierno veracruzano propone que los mismos ciudadanos sean los que capten agua de lluvia^k; para que sea consumible, recomiendan agregar unas gotas de cloro. De manera general se trata de captar y coleccionar el agua proveniente de la lluvia en un tanque o depósito para su posterior aprovechamiento o uso en sustitución del agua potable de la red municipal. Para su óptimo aprovechamiento, se debe filtrar el agua por medio de cualquier mineral, como arena, grava, carbón activado, zeolitas o arenas sílicas. Una vez filtrada, se debe aplicar un desinfectante siendo el más adecuado por su bajo costo y fácil manejo hipoclorito de sodio, mejor conocido como cloro.



Fig. 2.13 Ubicación de Veracruz

Tabasco.

Localizado en la costa del Golfo de México al este del país, colinda con al oeste con Veracruz, al sur con Chiapas y al este con Campeche, y una pequeña porción toca a Guatemala. Abarca una extensión territorial de 24 mil 737 kilómetros cuadrados, dando albergue a una población de 2 millones 238 mil habitantes. La precipitación de la zona es de 2750 mm anuales.

Para esta entidad se propuso una política pública en el manejo de energía y sustentabilidad, en la cual se busca impulsar el uso de las llamadas ecotecnologías que resuelven necesidades cotidianas, tales como captadores de agua pluvial. La idea es que se le dé un uso doméstico.



Fig.2.14 Ubicación territorial de Tabasco.

Referencias.

- a. Tomado de: http://www.agua.unam.mx/assets/pdfs/eventos/aguadelluvia11/1_albertofrost.pdf
- b. Para China: http://www.china.org.cn/archive/2005-05/23/content_1129695.htm
- c. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, *Estadísticas del agua en México*, edición 2012
- d. Programa de ordenamiento ecológico del estado de Colima http://www.colima-estado.gob.mx/transparencia/archivos/progrma_ordenamiento_ecologico_territorio.pdf
- e. Del periódico El Universal <http://www.eluniversaldf.mx/coyoacan/nota37742.html>
- f. Gobierno del Estado de México, coordinación de regulación sanitaria <http://salud.edomex.gob.mx/html/trs/aguadelluvia.pdf>
- g. Gobierno del estado de Morelos <http://www2.morelos.gob.mx/?q=versi%C3%B3n-estenogr%C3%A1fica-de-la-intervenci%C3%B3n-del-gobernador-del-estado-de-morelos-graco-ram%C3%ADrez-garrid-5>
- h. Comisión Estatal del Agua en Nayarit (CEA) <http://www.cea.nayarit.gob.mx/index.php/boletin-notas/39-planta-de-tratamiento-la-cantera-y-pluvial-rey-nayar>
- i. Ayuntamiento de Tepic <http://www.tepic.gob.mx/transparencia/3er-informe-38ayto.pdf>
- j. Instituto Mexicano en Tecnología del Agua, http://www.imta.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=760&Itemid=87
- k. Veracruz <http://www.salvemoselagua.org/articulos/captacion.html>
- l. Diario oficial del estado de Yucatán, diciembre 2009 http://www.yucatan.gob.mx/gobierno/orden_juridico/Yucatan/Programas/nr2065rf1.pdf

Capítulo 3

Métodos de captación de agua de lluvia y su almacenamiento.

Antecedentes.

La captación de agua de lluvia es un sistema ya utilizado en varias regiones del planeta, principalmente en zonas rurales como complemento o alternativa ante la escasez de agua potable, pero también en zonas urbanas es utilizada con los mismos propósitos.

Las condiciones económicas en nuestro país, hacen poco accesible el sistema de captación de agua de lluvia en las ciudades, ya que es necesaria una inversión en el material destinado a la recolección, desinfección, purificación, distribución y almacenamiento del agua de lluvia, así como un costo extra por su instalación.

Debido a las condiciones ambientales en zonas rurales, el agua de lluvia recolectada puede ser directamente consumida por los humanos, sin embargo es más utilizada para las actividades ganaderas, pecuarias y de agricultura. Por su parte, en las zonas urbanas el uso de agua de lluvia es destinado a las actividades domésticas como limpieza de la vivienda (exterior e interior) y para el sanitario. No es apta para consumo humano debido a las emisiones en el ambiente: de vehículos, de centrales eléctricas e industrias, por lo cual el agua de lluvia tiene contaminantes perjudiciales para la salud.

El Distrito Federal (DF) cubre una superficie de mil 485 kilómetros cuadrados, de los cuales el 40% pertenece a la zona urbanizada, el 30% pertenece a vegetación (matorrales y bosque) y el resto pertenece a agricultura¹⁴.

¹⁴ INEGI 2013

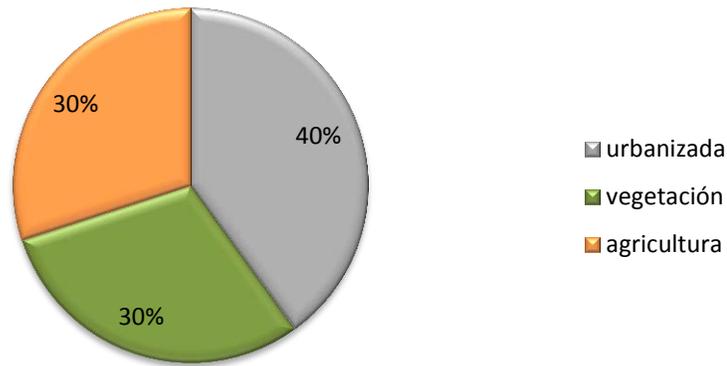


Fig. 3.1 Porcentajes de uso de suelo en el Distrito Federal.
Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2013

En esta ciudad encontramos tres tipos de clima: templado subhúmedo, templado húmedo, y seco y semiseco. La figura 3.2 muestra el porcentaje que cubre cada clima en el DF. De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), las precipitaciones de verano dejan 600 milímetros (mm) anuales en la región seca, y en las zonas húmeda templada y subhúmeda llueven mil 200 mm al año

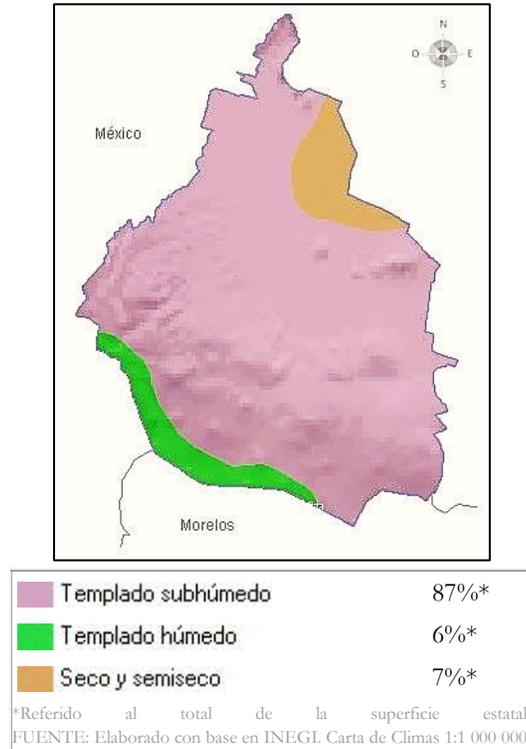


Fig. 3.2 Climas del Distrito Federal

El cambio constante de uso de suelo que ha sufrido la demarcación, ha alterado el ciclo hidrológico, debido a que de un sistema de lagos que componían a la ciudad, se convirtió gradualmente en una mancha gris de concreto y asfalto, impidiendo la filtración de agua al subsuelo. Esto provoca que los acuíferos disminuyan su carga, y anulen su capacidad de explotación. Además, el fenómeno de evaporación y la evapotranspiración se han modificado al grado de perturbar las precipitaciones, tanto en su frecuencia como en su intensidad.

Sistemas de captación de agua de lluvia.

Para la captación, distribución y almacenamiento del agua de lluvia existen sistemas que permiten llevarlo a cabo. Los más conocidos son: aljibes (u ollas de agua) y por medio de los techos.

Aljibes

En México, durante la época prehispánica, los aljibes (u ollas de agua como se le conoce en algunas comunidades del país) eran conocidos como chultuns¹⁵ y consistían en depósitos subterráneos en forma de botella que recolectaban el agua de lluvia. Los depósitos estaban cubiertos con roca que permitía el almacenamiento del agua pluvial. Ésta se utilizaba con fines domésticos y agrícolas, y podía disponerse del agua directamente del chultun. La figura 3.3 muestra un corte transversal de este sistema.

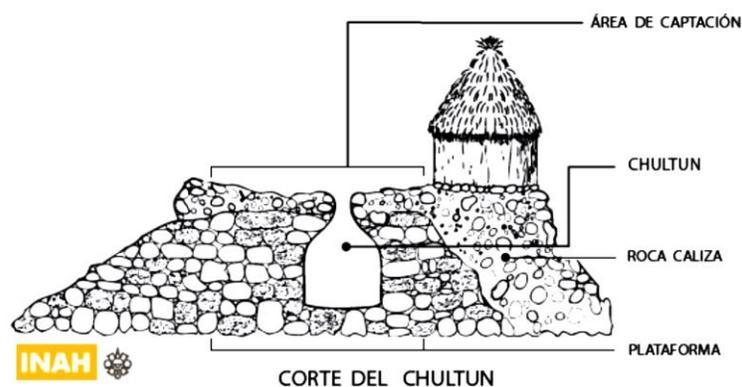


Fig. 3.3 Receptor de agua de lluvia prehispánico

¹⁵ *Ollas de agua, Jagüeyes, Cajas de agua o aljibes*, SAGARPA, 2010

De acuerdo a la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales¹⁶ “...la recolección y el almacenamiento de agua pluvial fueron prácticas comunes en Mesoamérica desde tiempos muy antiguos, fuera en recipientes en depósitos subterráneos, o a cielo abierto. El agua se captaba mediante canales y zanjías, aprovechando el agua rodada (en patios y casas, o en el campo, en jagüeyes, mediante bordos, entre otros), o bien, conduciéndola desde los techos de las viviendas y edificios por medio de canoas o canjilones de madera o pencas o canalitos a los depósitos. En las viviendas el agua se almacenó en recipientes de barro, enterrados o no, así como en pilas o piletas de barro, cal y canto, piedra, excavados del suelo, recubiertos o no con piedra o argamasa y estuco”.

En la actualidad, la olla de agua consiste en una depresión artificial sobre el terreno que es cubierto con geomembranas para impedir la filtración del agua de lluvia recolectada. Las ollas de agua suelen ser menos profundos que un lago, pero pueden abarcar una superficie de varios metros cuadrados. El sistema es utilizado principalmente para fines agrícolas, ganaderos y pecuarios, pero también se usa en actividades domésticas.



Fig. 3.4 Olla de agua o aljibe.

Para poder recolectar la cantidad de agua de lluvia necesaria, el terreno debe cumplir con las siguientes características:

- Tener una pendiente en el terreno para que el agua escurra de manera natural hacia el aljibe.
- Que el terreno en donde se localizará el aljibe tenga una superficie arcillosa
- Contar con un espacio suficiente para cubrir la demanda (pesquera, ganadera, agrícola o doméstica)

¹⁶ Semblanza histórica del agua en México, CONAGUA, 2009, pág. 10

Una vez teniendo en cuenta estas características, se procede con la construcción del aljibe: debe realizarse una excavación en el terreno (con maquinaria necesaria) y de acuerdo a los litros que se necesitan, dependerá la profundidad y tamaño de la olla de agua; los lados del terreno excavado deben contar con cierta inclinación para captar el agua de lluvia de manera natural, y para evitar filtraciones del agua de lluvia recolectada, debe compactarse el terreno excavado y colocar la geomembrana.

En las actividades ganaderas, la olla de agua tiene la función de abrevadero por lo cual no necesita de un sistema de conducción. Las actividades pecuarias, tampoco necesitan de una línea de conducción, ya que en este caso el aljibe se desempeña como estanque. Por su parte, cuando el agua de lluvia recolectada en la olla de agua va a ser utilizada para actividades agrícolas, el depósito necesita de un sistema que distribuya el líquido hacia los terrenos de cultivo, elaborando canales de conducción y distribución.

En el caso de que el agua de lluvia sea destinada para actividades domésticas, el aljibe debe contar con las siguientes características:

- ✧ En zonas urbanas: el aljibe debe estar alejado de la población, ubicado en una zona alta (para que el sistema de conducción sea de preferencia por gravedad) y que cuente con dimensiones suficientes para cubrir las demandas de agua requeridas para las actividades domésticas de la población a servir. El sistema de conducción deberá ser diseñado con tuberías de concreto, PVC o fibro-cemento, las cuales a su vez, se colocarán bajo tierra para evitar que el agua que conduce la tubería se contamine. El sistema de conducción llegará a un tanque de cloración con el propósito de desinfectar el agua. Una vez clorada, debe diseñarse un sistema de distribución para que los habitantes tengan acceso al agua de lluvia. La figura 3.5 representa un ejemplo de una olla de agua con su línea de conducción.

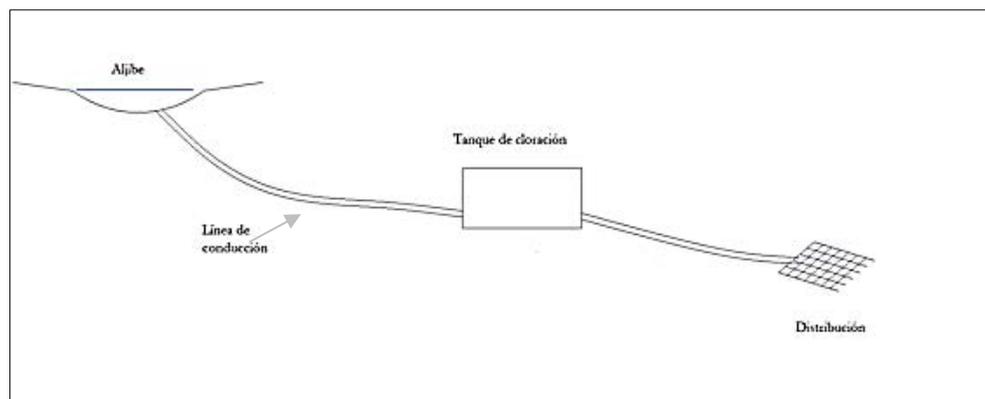


Fig. 3.5 Línea de conducción en zonas urbanas.

- ✧ En zonas rurales: si los habitantes cuentan con un espacio de terreno suficiente en su vivienda, la olla de agua puede ser creada in situ, con las dimensiones suficientes para cubrir las necesidades de los habitantes de la vivienda. Cuando no se cuenta con este espacio, es recomendable que el aljibe sea posicionado en una zona alta, para que el sistema de conducción (como en el caso de las zonas urbanas) sea por gravedad. El conjunto de conductos puede ser diseñado por canales a cielo abierto o con tuberías de PVC; finalmente se distribuirá a los domicilios de los habitantes.

Las ventajas de la construcción de un aljibe son:

- No necesita bombearse el agua.
- Puede evitarse el uso de agua potable que distribuye el municipio en épocas de lluvia.

Las desventajas de la construcción del aljibe son:

- Requiere de maquinaria para realizar la excavación, lo cual puede ser un impedimento para las personas con bajos recursos económicos.
- No puede almacenarse agua por mucho tiempo debido a la evaporación.
- La sedimentación en el aljibe reduce la capacidad de almacenamiento.

Captación de agua de lluvia en los techos

Es el método más utilizado en cuanto a captación de agua de lluvia, el cual consiste en recolectarla por medio de los techos impermeables o poco permeables en los hogares. La finalidad de captar el agua de lluvia es para uso doméstico en los interiores (limpieza de pisos, vitrinas, lavado y descargas del sanitario, etc.) y exteriores (patio, jardín, etc.). Es además necesario contar con la información de la precipitación pluvial anual de la zona para saber si es viable recolectar el agua de lluvia de este modo.

De acuerdo con el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), el sistema de recolección de agua pluvial debe contar con los siguientes elementos (CEPIS, 2001):

- ❖ Captación
- ❖ Recolección y conducción
- ❖ Almacenamiento

La captación del agua de lluvia se hace directamente en el techo de la vivienda. Para que sea posible la obtención de agua de lluvia, los techos deben contar con las siguientes características:

- Tener una pendiente mínima de 5%
- Estar libre de suciedad y de plantas
- La superficie debe ser de concreto o metal (lámina galvanizada)
- Contar con área suficiente para abastecer a los habitantes del hogar

Para que el agua pluvial captada esté lo más limpia posible, cuando esté próxima la temporada de lluvia, se recomienda lavar el techo cada semana.

La recolección y conducción consiste en un conjunto de canaletas que se encuentran en los bordes del techo de la casa. Las tuberías de conducción suelen ser de PVC con al menos 5 centímetros de ancho (equivalente a 1 pulgada), ya que es un material resistente y barato aunque pueden ser de otro material. Las canaletas conducen el agua a un depósito para almacenarla. Deben tener rejillas en la parte donde se recolectará el líquido para evitar la entrada de residuos sólidos al depósito.

Es importante tener en cuenta que las primeras lluvias no son utilizables debido a que están contaminadas, ya que la lluvia ha limpiado el ambiente.

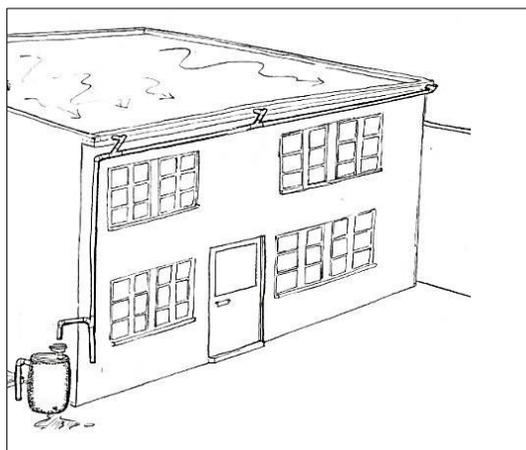


Fig. 3.6 Recolección y conducción¹⁷

El almacenamiento es un contenedor (cisterna o tambo) que puede estar conectado por medio de tuberías para distribuir el agua en el hogar, o ser diseñado a modo que el agua que se

¹⁷ Captación de agua de lluvia. Manual de uso y mantenimiento para un sistema residencial, Instituto Internacional de Recursos Renovables A.C. (IRRI), pág. 5

utilizará se retire directamente. El contenedor suele ser de concreto o de plástico, y debe tener un mantenimiento constante para evitar que el agua almacenada se contamine. Puede agregarse cloro para mantenerla limpia.



Fig. 3.7 Sugerencia del contenedor para almacenamiento

Las ventajas de la recolección de agua de lluvia en los techos son:

- ✧ Disminuye el consumo del agua distribuida por el municipio o delegación durante la época de lluvias y de esta manera se ahorra agua.
- ✧ A largo plazo, se evitan los cortes de agua en época de estiaje porque con el sistema de captación de agua de lluvia, se ha ahorrado la que distribuye el municipio.

Las desventajas de la recolección de agua pluvial son:

- ✧ El techo debe estar en constante mantenimiento para evitar que el agua de lluvia recolectada se ensucie.
- ✧ Debe realizarse una importante inversión en el material para recolectar, distribuir y almacenar el agua de lluvia.

Recolección de agua de lluvia a largo plazo.

Los sistemas mencionados en este capítulo pretenden que el agua recolectada tenga un uso preferentemente en las temporadas de lluvia. Lo ideal en la ciudad es que se ocupe en las

actividades que no requieran agua potable como en el baño, y las actividades de limpieza doméstica.

Para que el agua de lluvia recolectada conserve su calidad, es indispensable mantener las cisternas, tanques o depósitos donde se almacenará el agua, en las mejores condiciones.

El mejor sistema de recolección de agua de lluvia para la ciudad, es el de colectarla en los techos, ya que resulta un método más fácil comparado con la elaboración de una olla de agua. La cantidad de agua que se pretenda captar, dependerá de la precipitación de la zona y de la superficie impermeable de las viviendas.

Capítulo 4

Caso de estudio: Iztapalapa

El Distrito Federal concentra a más de 8 millones de habitantes; sin duda, la necesidad de abastecer agua potable es una de las mayores prioridades. A continuación se presentan la población para las 16 delegaciones que conforman el Distrito Federal.

Tabla 4.1 Población de las 16 delegaciones.

Distrito Federal	8,851,080
Álvaro Obregón	727,034
Azcapotzalco	414,711
Benito Juárez	385,439
Coyoacán	620,416
Cuajimalpa	186,391
Cuauhtémoc	531,831
Gustavo A. Madero	1,185,772
Iztacalco	384,326
Iztapalapa	1,815,786
Magdalena Contreras	239,086
Miguel Hidalgo	372,889
Milpa Alta	130,582
Tláhuac	360,265
Tlalpan	650,567
Venustiano Carranza	430,978
Xochimilco	415,007

Fuente: INEGI 2010

Debido a la elevada concentración de población, las fuentes de abastecimiento de agua potable han dejado de ser suficientes, por lo que hay localidades del Distrito Federal donde el agua es escasa, de mala calidad o nula.

La zona oriente del Distrito Federal es la más afectada en cuanto a la distribución de agua potable porque, además de la lejanía de las fuentes de abastecimiento, en esta zona se ubica una de las delegaciones más habitadas: Iztapalapa.

Antecedentes.

La delegación Iztapalapa se fundó alrededor del siglo VII de nuestra era por la comunidad prehispánica denominada *culhuas*, teniendo como su capital a Culhuacán. Ubicaron el asentamiento en las orillas de lo que hoy es el Cerro de la Estrella; una parte del territorio se encontraba en tierra firme y otra parte del asentamiento se encontraba en chinampas, en el lago de Texcoco.



Fig. 4.1 Iztapalapa en época prehispánica.

Su economía se basaba en la agricultura de las chinampas y exportación de artefactos de tule hacia Tenochtitlan. Para poder comunicarse con este islote, contaban con una avenida muy importante llamada Ixtapalapa, construida de terraplén¹⁸ cimentado en el fondo del lago con una altura de metro y medio, 8 kilómetros de largo y alrededor de 8 metros de ancho. Usaban también como medio de transporte hacia otros territorios los canales, los cuales se llamaban la Viga, Xochimilco y Chalco que formaban el Canal Nacional; éste fue utilizado como transporte hasta principios del siglo XX.

Durante la conquista española, Iztapalapa fue tomada como una comunidad tributaria; poco a poco fueron desapareciendo las chinampas y su actividad económica comenzó a ser de ganadería y cacería.

En la época de independencia, Iztapalapa seguía siendo un pueblo dedicado a la agricultura, y también se dedicaban a la extracción de sal.

¹⁸ Método por el cual se rellena un terreno con tierra para levantar un nivel y formar un plano.

Durante el siglo XX, Iztapalapa sufre varios eventos que marcarían su desarrollo económico y social hasta la actualidad. Tradicionalmente agrícolas, los pueblos de Iztapalapa (junto con Iztacalco, Tlahuac y Xochimilco) se fueron transformando en poblaciones urbanas a medida que se les fue expropiando sus terrenos agrarios con la excusa de una utilidad pública. Debido al desarrollo y crecimiento industrial desaparecen los canales acuáticos. Así, en 1950 se decide entubar el canal de La Viga, de vital importancia para la agricultura chinampera, que al verse privada de un insumo básico (agua) entró en crisis. En este mismo año, comienza la ocupación de las chinampas por colonias populares.

En 1970 Iztapalapa ya había transformado su patrón de vida agrícola por una enteramente urbana. Las pocas áreas agrícolas cedieron ante la presión de las inmobiliarias y el creciente flujo de migrantes que se dirigían a esta delegación en busca de terrenos baratos. Se crean 18 colonias y se inicia la construcción de unidades habitacionales para trabajadores. El aumento de población en Iztapalapa se agudizó tras el terremoto del 19 de septiembre de 1985, cuando el Departamento del Distrito Federal decidió reubicar a los damnificados en unidades habitacionales. A partir de entonces, Iztapalapa ha sufrido desabasto de agua y mala calidad de ésta, así como un bajo nivel en los servicios educativos, de salud y de desarrollo económico.

Ubicación territorial.

Como ya se mencionó, Iztapalapa se encuentra en la zona oriente del Distrito Federal; colinda al norte con la delegación Iztacalco y el Estado de México; al oeste con las delegaciones Benito Juárez, Coyoacán y Xochimilco; al sur con Tláhuac y Xochimilco; y al este con el Estado de México.



Fig. 4.2 Ubicación de Iztapalapa.

Tiene una extensión de 116.67 kilómetros cuadrados, con una altura promedio de 2100 metros sobre el nivel del mar. Cuenta con las siguientes elevaciones principales: Cerro de la Estrella, Peñón Viejo y la Sierra de Santa Catarina.

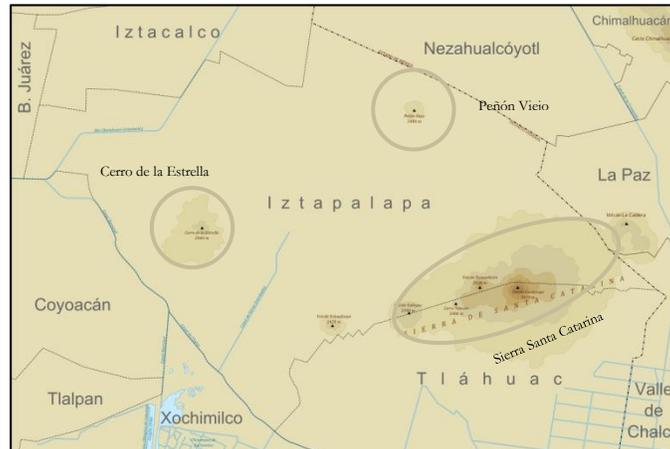


Fig. 4.3 Elevaciones principales

En la época prehispánica, cruzaban los ríos Churubusco y el de la Piedad, actualmente entubados, así como el Canal Nacional, el cual tiene una parte descubierta. Hoy en día no existen cuerpos de agua superficiales debido a la desecación lacustre y por la pavimentación urbana.

Posee un clima templado húmedo con temperaturas bajas entre 3°C y 18°C, y las más cálidas entre 22°C y 31°C. La precipitación media anual va desde los 600 milímetros (mm) hasta los 700mm.

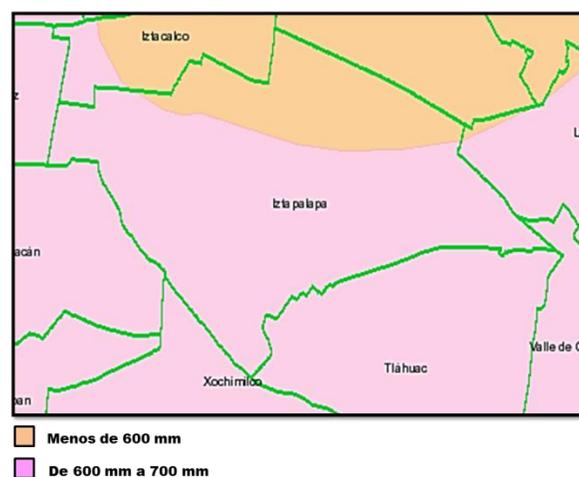


Fig. 4.4 Precipitación media anual. Fuente: INEGI 2010¹⁹

¹⁹ cuentame.inegi.org.mx

De acuerdo con la Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México, la delegación Iztapalapa tiene 14 pueblos originarios y 8 barrios, en los cuales actualmente habita sólo el 9% de la población total de la demarcación, dichos pueblos son:

- Aculco
- Culhuacán
- Magdalena Atlazolpa
- San Andrés Tetepilco
- San Andrés Tomatlán
- San Juanico Nextipac
- San Lorenzo Tezonco
- San Marcos Mexicaltzingo
- San Sebastián Tecoloxtitla
- Santiago Acahualtepec
- Santa Cruz Meyehualco
- Santa María Aztahuacán
- Santa María Tomatlán
- Santa Martha Acatitla

Los ocho barrios son:

- ✧ San Lucas
- ✧ San Ignacio
- ✧ Santa Bárbara
- ✧ San José
- ✧ San Pablo
- ✧ La Asunción
- ✧ San Miguel
- ✧ San Pedro

Inconvenientes en la dotación de agua.

La delegación Iztapalapa se ubica en lo que fue un lago, sobre una zona chinampera; en su afán de ganar terreno fueron eliminando las chinampas, y los canales que cruzaban la delegación tuvieron que secarse con la finalidad de asfaltar avenidas y calles. Actualmente, debido a la sobreexplotación de los mantos acuíferos y lluvias intensas de temporada, Iztapalapa sufre de

graves inundaciones. También se ha registrado mala calidad en el agua potable y existen recortes en el suministro de ésta.

Para contrarrestar los efectos de sobreexplotación de los acuíferos, se han llevado a cabo convocatorias con el apoyo del Instituto de Investigaciones Sociales de la UNAM²⁰, y la delegación para el diseño de plazas-cisterna y humedales con la finalidad de que el agua de lluvia captada con estos sistemas, se filtre a los acuíferos y se recarguen.



Fig. 4.5 Ejemplo de humedal

Los humedales y plazas-cisterna deben ubicarse en lugares estratégicos donde la recarga con agua de lluvia sea lo suficiente para que gradualmente sean compensados los efectos de la explotación de los acuíferos. El proceso de filtración de agua de lluvia lleva un periodo de tiempo prolongado, por lo que la utilización inmediata del agua pluvial no es posible; de este modo, el recolectar agua de lluvia en las azoteas es un método que permite utilizar el agua de lluvia de manera directa.

La contaminación ambiental que sufre el Distrito Federal, impide que el agua de lluvia sea directamente consumible, por lo que al recolectarla necesita de tratamientos específicos para potabilizarla. La potabilización del agua de lluvia para consumo humano no es la finalidad del presente trabajo, el propósito es que el agua recolectada sea destinada a las actividades de limpieza en la vivienda, riego de jardines, para las descargas en el sanitario y otras actividades que no requieran específicamente de agua potable.

²⁰ Gaceta UNAM

Objetivo, alcances y justificación del uso del agua de lluvia.

La ubicación territorial de la delegación Iztapalapa dificulta la llegada del líquido a toda la comunidad debido a la lejanía de las fuentes de abastecimiento, añadiendo que hay pérdidas por fugas en las tuberías que distribuyen el agua potable. Además, el bajo poder adquisitivo que tiene la población de Iztapalapa disminuye las alternativas para tener acceso al agua potable. Estos factores propician una alarmante escasez de agua en Iztapalapa. Por todo lo anterior, el presente trabajo propone el sistema de recolección de agua de lluvia en azoteas, el cual consiste en que el agua captada sea almacenada en un tinaco, cisterna u otro tipo de depósito. En el capítulo anterior de este documento tenemos las características del sistema de recolección.

El objetivo principal de la recolección de agua pluvial es que sea un complemento al actual sistema de distribución hidráulica, y que a largo plazo los habitantes de Iztapalapa no se vean privados del vital líquido. Una vez que se ha logrado la recolección de agua de lluvia, el siguiente objetivo es que se utilice en actividades que no requieran estrictamente de agua potable; para ello, se llevó a cabo una selección de colonias, selección de viviendas y la obtención de las dimensiones de las azoteas, con la finalidad de adquirir un volumen aproximado de agua pluvial. A continuación se describe el trabajo de campo y los resultados.

Estudio de campo.

Para iniciar con la recolección de agua pluvial, es necesario conocer la dimensión de la zona impermeable, así como la precipitación anual de la delegación. Por ello, se procedió de la siguiente manera:

- **Selección de colonias.** Ya que el territorio de la delegación es extenso, se eligieron colonias con las que se dispusiera de conocimiento previo (ubicación de éstas, familiarización con el territorio, etc.), y que contaran con características necesarias para que fuera viable la recolección de agua de lluvia; las características son: escasez de agua, mala calidad en la misma y recortes en el suministro.
- **Selección de viviendas.** Una vez seleccionadas las colonias, se eligieron viviendas que tuvieran una superficie impermeable libre de objetos como fierro, artículos en desuso, lavadoras, lavaderos, etcétera.
- **Obtención de la superficie.** Los datos de las superficies fueron proporcionados por los habitantes de las viviendas. Hubo casos en los que los habitantes no cooperaron o los inmuebles estaban deshabitados, por lo que se descartaron viviendas.

Por último, quedaron nueve colonias como muestra, de las cuales se obtuvieron datos de superficies impermeables de cinco viviendas por colonia, teniendo un total de cuarenta y cinco casas. La tabla 4.2 presenta los datos obtenidos en campo.

Tabla 4.2 Superficies por colonia

Paraje San Juan	Granjas Estrella	Ampliación Barrio San Miguel	Santa María Tomatlán	Leyes de Reforma	El Rodeo	Casa Blanca	El Manto	Fuego Nuevo
Superficie (m²)								
270.9315	19.175	33.6168	145.77	216	49.64	84	67.23	85
212.928	20.323	41.7169	90	80	168.13	53	85.75	202.72
150.8451	18.098	51.85	84	75.427	184	90	88	66.97
126.6107	17.635	35.924	51.45	133.967	88.24	58	80	42.4
117.4109	19.033	50.412	95.387	118.865	123	157.3	80	98

En la tabla 4.3 tenemos el promedio de las áreas de las azoteas por colonia.

Tabla 4.3 Promedio de la superficie de las azoteas

Colonia	Superficie (m ²)
Paraje San Juan Xalpa	176
Granjas Estrella	19
Ampliación Barrio San Miguel	42
Santa María Tomatlán	93
Leyes de Reforma	125
El Rodeo	123
Casa Blanca	88
El Manto	80
Fuego Nuevo	99

La figura 4.6 muestra la distribución de las nueve colonias en las que se realizó el trabajo de campo.

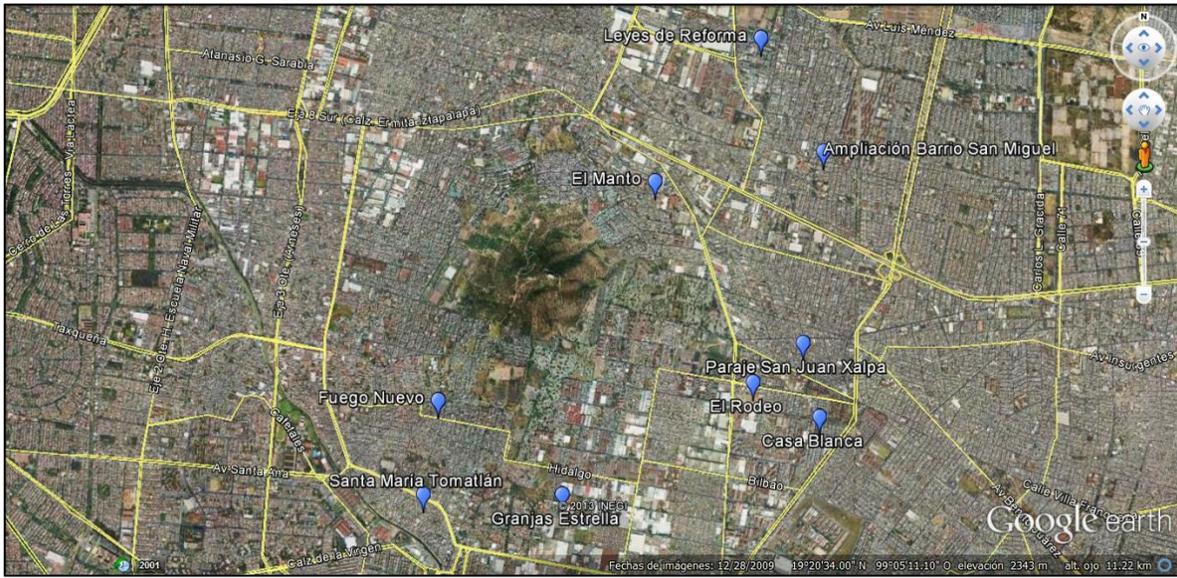


Fig. 4.6 Ubicación de las colonias

Las figuras 4.7 a 4.12 presentan la ubicación de las cuadras en las que se localizan las viviendas de donde se tomaron las dimensiones de las azoteas.



Fig. 4.7 Localización de las viviendas de las colonias Santa María Tomatlán y Granjas Estrella



Fig. 4.8 Localización de las viviendas de las colonias Casa Blanca, El Rodeo y Paraje San Juan Xalpa



Fig. 4.9 Localización de las viviendas de la colonia Ampliación Barrio San Miguel



Fig. 4.10 Localización de las viviendas de la colonia El Manto



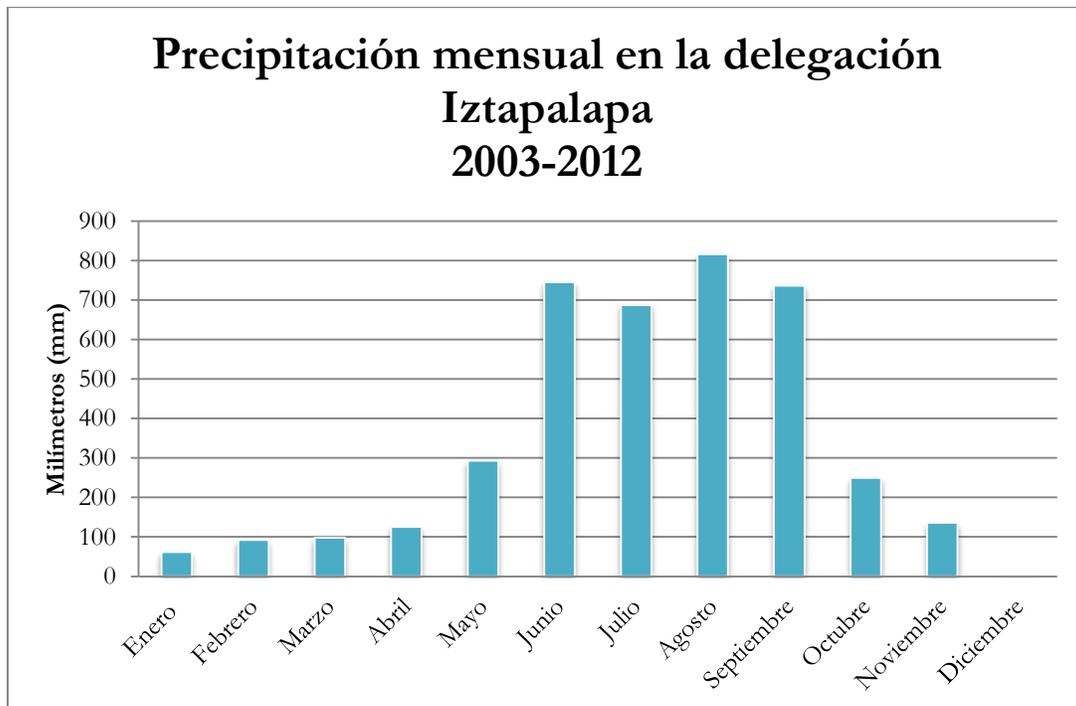
Fig. 4.11 Localización de las viviendas de la colonia Fuego Nuevo



Fig. 4.12 Localización de las viviendas de la colonia Leyes de Reforma

Resultados.

Puesto que todo el año no llueve la misma cantidad, debe estimarse la lluvia mensual así como la afectación de las épocas de estiaje, por lo que se obtuvieron los datos de precipitación mensual entre los años 2003 al 2012. La gráfica 4.1 muestra los promedios de precipitación.



Gráfica 4.1 Precipitación mensual. Fuente: registros del Programa de Estaciones Meteorológicas del Bachillerato Universitario (PEMBU).

Así tenemos que en Iztapalapa, la época de estiaje es de noviembre a abril mientras que la temporada de lluvias ocurre entre mayo y octubre. Durante estos meses deberá captarse la mayor cantidad de agua pluvial posible.

Tabla 4.4 Precipitación de mayo a octubre en Iztapalapa

Precipitación (mm)	
Mayo	293
Junio	745
Julio	687
Agosto	816
Septiembre	736
Octubre	250
TOTAL	588

El volumen de agua de lluvia aprovechable se obtiene de la siguiente fórmula:

$$V_t = (h_p)(Sup)(C_e)$$

Donde:

V_t = volumen teórico

h_p = precipitación

Sup = superficie impermeable

C_e = coeficiente de escurrimiento

Como el volumen teórico tiene unidades en metros cúbicos, la precipitación dada en milímetros debe convertirse a metros, por lo cual se dividen los milímetros precipitados entre 1000. En el caso de Iztapalapa, se tiene una precipitación promedio de 588mm, entonces quedan:

$$h_p = \frac{588}{1000} = 0.588 \text{ m}$$

El agua de lluvia captada en la superficie techada se multiplica por el coeficiente de escurrimiento^a (C_e) para poder obtener la cantidad de agua pluvial neta, que es el volumen total teórico que podrá recolectarse en el contenedor. El C_e equivale a 0.88 para el material del techo. De esta manera se tiene:

Tabla 4.5 Volumen teórico

Colonia	Superficie (m ²)	h _p (m)	C _e	V _t (m ³)
Paraje San Juan Xalpa	176	0.588	0.88	91.1
Granjas Estrella	19	0.588	0.88	9.8
Ampliación Barrio San Miguel	42	0.588	0.88	21.7
Santa María Tomatlán	93	0.588	0.88	48.1
Leyes de Reforma	125	0.588	0.88	64.7
El Rodeo	123	0.588	0.88	63.6
Casa Blanca	88	0.588	0.88	45.5
El Manto	80	0.588	0.88	41.4
Fuego Nuevo	99	0.588	0.88	51.2

Suponiendo que precipitará todos los días durante el periodo de lluvias comprendido, en este caso, de mayo a octubre, y descartando la cantidad de agua de lluvia que se filtra, la humedad en el ambiente y la que se evapotranspira, la tabla 4.5 muestra el volumen aproximado que se tendrá durante los seis meses.

De acuerdo con los datos obtenidos, el contenedor de almacenamiento debe tener la capacidad mínima de 500 litros, es decir 0.5 metros cúbicos, ya que el agua se utilizará diariamente en las actividades que no requieran estrictamente de agua potable. La forma del recipiente dependerá del espacio disponible en el hogar, ya que puede ser cilíndrico o cuadrado. Las siguientes imágenes muestran ejemplos de diferentes contenedores.



Fig. 4.13 Muestra de depósitos de agua: cilindro horizontal (izq), cilindro vertical (centro) y contenedor cuadrado (der.)

Referencias.

- a. *Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe*, p.65

Conclusiones

Ante la escasez de agua en el mundo se han tomado medidas que compensan la situación, entre las que implican la recolección del agua de lluvia. El uso principal que se le da a ésta es en la ganadería y agricultura.

Nuestro país ha hecho lo propio, y en zonas rurales, además de utilizar el agua de lluvia recolectada para actividades de ganadería y agricultura, también la usan para consumo humano, ya que requiere de menos tratamiento que la que precipita en el Distrito Federal, debido a que tiene menos contaminantes que arrastra del ambiente.

Si bien existen proyectos de vivienda que incluyen un sistema de captación, recolección, reúso y tratamiento de las aguas pluviales²¹, la población con bajo poder adquisitivo no podría solventar este tipo de proyectos, además de que requieren de espacio para toda la instalación del sistema.

En la delegación Iztapalapa, caso de estudio de este documento, se propone el sistema de captación de agua de lluvia en las viviendas, misma que servirá como complemento al agua que llega a suministrarse a los habitantes. El agua pluvial recolectada será utilizada para descargas del sanitario, riego de jardín, lavado de patio y limpieza del hogar.

Para que la recolección de agua de lluvia se lleve a cabo con éxito, es indispensable seguir las siguientes recomendaciones:

- ✧ Previo a la temporada de lluvias lavar el techo, y durante la temporada mantenerlo lo más limpio que sea posible, se recomienda hacer limpieza al menos una vez por semana.
- ✧ Tener despejada la zona impermeable de objetos en desuso.
- ✧ Mantener libre de residuos sólidos las canaletas que conducirán el agua de lluvia.
- ✧ Descartar las primeras lluvias de la temporada, ya que limpian el ambiente y por lo tanto están muy contaminadas.
- ✧ El tanque de almacenamiento debe tener una capacidad de 0.5 metros cúbicos a 1 metro cúbico (equivalente a 500 y 1000 litros respectivamente), dependiendo de la superficie impermeable que tenga la vivienda. Así mismo, mantenerlo en buen estado para que el agua de lluvia captada tenga mayor durabilidad.

²¹ http://www.youtube.com/watch?v=yazQ_8KyA8s

- ✧ El agua de lluvia se recolectará por un periodo de seis meses, por lo que debe hacerse un uso diario de ésta para evitar mantener agua estancada.

Una vez que se cuenta con el espacio para llevar a cabo el sistema de captación de agua de lluvia, es muy importante tener en cuenta que todo proyecto necesita seguimiento y mantenimiento, por lo que representa una inversión importante de tiempo y de dinero.

El sistema de recolección de agua de lluvia, puede parecer poco accesible para todos los habitantes de la delegación Iztapalapa, y para que el sistema de captación de agua de lluvia sea viable para todos los habitantes, se sugiere a las autoridades del agua así como a las autoridades de la delegación, que otorguen préstamos que permitan llevar a cabo el proyecto, ya sea en tanques de almacenamiento, buenos impermeabilizantes e incluso en proyectos por colonias.

Captar y disponer del agua de lluvia es posible, es una “solución caída del cielo” dice el autor Manuel Anaya. Este documento presenta las bases para desarrollar el sistema y hacer aprovechable un recurso que es desechado por el drenaje.

Bibliografía.

- Definición de megaciudad, http://www.geociencias.unam.mx/geociencias/iype_cgeo/documentos/megaciudad.pdf
- Ciudad de Nueva York: <http://www.nyc.gov/html/planyc2030/html/theplan/watersupply.shtml>
- Comisión de Suministro de Agua potable y Alcantarillado en Dhaka <http://www.dwasa.org.bd/admin/news/Dhaka%20WASA%20Articlefor%20BOOKpdf>
- Naciones Unidas, *Population Division of the Department of Economic and Social Affairs, World population prospects: The 2010 revision and World urbanization prospects: The 2011 revision*, consultado el 11 de abril, 2013.
- Características de las ciudades, <http://www.un.org/Pubs/CyberSchoolBus/spanish/cities/epindex.asp>
- *El agua, una responsabilidad compartida*. Segundo informe de UN sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo, <http://www.territorioscentroamericanos.org/ecoagricultura/Documents/Aguaresponsabilidad.pdf>
- Ciudad de Shanghái, *The Encyclopedia of Shanghai*, p. 401 <http://www.shanghai.gov.cn/shanghai/node27118/>
- Ciudad de Bombay, <http://mdmu.maharashtra.gov.in/pages/Mumbai/mumbaiplanShow.php#getdmp>
- Ciudad de Sao Paulo <http://saopaulo.sp.gov.br/es/conhecasp/>
- *La gran Tokio*, plan piloto coordinado por el Instituto Nacional de Gestión del Suelo e Infraestructuras y el Ministerio del Suelo, Infraestructuras y Transporte de Japón, UN, 2007.
- Ciudades de Calcuta, Bombay y Delhi <http://www.india.gov.in/india-glance/states-india>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, *Sistema para la consulta del anuario estadístico de Distrito Federal*.
- Guerrero Legarreta, Manuel, *El Agua*, Fondo de Cultura Económica, México, 1991.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), *El Medio Ambiente en México*, México, 2005
- Vázquez Yanes, Carlos, *Deterioro ambiental*, Compañía Editorial Continental, México, 1982

- Anaya Garduño, Manuel, *Captación de agua de lluvia. Una solución caída del cielo*. Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México, 2011
- Estado de Colima http://www.e-local.gob.mx/wb2/ELOCAL/EMM_Colima
- Estado de México http://www.e-local.gob.mx/wb2/ELOCAL/EMM_mexico
- Estado de Morelos http://www.e-local.gob.mx/wb2/ELOCAL/EMM_morelos
- Portal del gobierno del estado de Morelos
- Estado de Nayarit http://www.e-local.gob.mx/wb2/ELOCAL/EMM_nayarit
- Portal del gobierno del estado de Quintana Roo
- Quintana Roo http://www.e-local.gob.mx/wb2/ELOCAL/EMM_qroo
- Tabasco http://www.e-local.gob.mx/wb2/ELOCAL/EMM_tabasco
- Portal del gobierno de Tabasco
- Veracruz http://www.e-local.gob.mx/wb2/ELOCAL/EMM_veracruz
- Portal del gobierno del estado de Veracruz
- Yucatán http://www.e-local.gob.mx/wb2/ELOCAL/EMM_yucatan
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) www.cenapred.unam.mx
- <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Ollas%20de%20agua.pdf>
- http://codex.colmex.mx:8991/exlibris/aleph/a18_1/apache_media/TCGPPV234NUTGRVHXGY52UL5KTJTHR.pdf
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), *Guía de diseño para captación de agua de lluvia*, Lima, Perú, enero 2001.
- Instituto Internacional de Recursos Renovables A.C. (IRRI), *Captación de agua de lluvia. Manual de uso y mantenimiento para un sistema residencial*, México 2010.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, *Semblanza histórica del agua en México*, Comisión Nacional del Agua, México 2009
- Valdez César, Enrique, *Abastecimiento de agua potable*, Facultad de Ingeniería, UNAM, cuarta edición, México, 1994.
- Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (SAHOP), *Normas de proyectos para obras de aprovisionamiento de agua potable en localidades urbanas de la República Mexicana*, Facultad de Ingeniería, México, 1979.
- Food and Agriculture Organization (FAO), Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, *Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe*, Santiago de Chile, Chile, abril 2013, p. 88
- <http://www.iztapalapa.df.gob.mx/htm/historia.html>
- <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM09DF/delegaciones/09007a.html>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Censo de población y vivienda 2010
- <http://www.elclima.com.mx/iztapalapa.htm>

- Olvera, Leticia, “Proyecto hidrourbano en apoyo a Iztapalapa”, en *Gaceta UNAM*, 22 de abril de 2013, p. 19.
- *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*, Comisión Nacional del Agua (CNA), Ciudad de México, México, 2007.
- Osornio, Luis, *Captación y tratamiento de agua de lluvia*, Instituto Politécnico Nacional, México, 2012.
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Iztapalapa>