



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA**

**CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE AGUA PLUVIAL EN
VIVIENDA URBANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN ARQUITECTURA**

**PRESENTA
ING. ARQ. JOSÉ OSCAR ARROYO ARROYO**

**TUTOR:
DRA. BLANCA ELENA JIMÉNEZ CISNEROS
INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA UNAM**

MÉXICO D.F. NOVIEMBRE 2013



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.



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

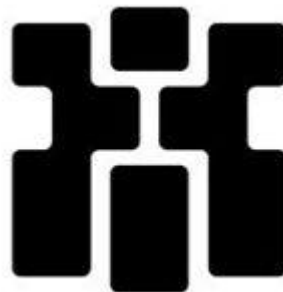
Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA**

**CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE AGUA PLUVIAL EN
VIVIENDA URBANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO**

ING. ARQ. JOSÉ OSCAR ARROYO ARROYO



Director de tesis:

Dra. Blanca Elena Jiménez Cisneros.

Sinodales:

Mtro. Francisco Reyna Gómez.

Dr. Horacio Olmedo Canchola.

Mtro. Jorge Rangel Dávalos.

Dr. José Antonio Barrios Pérez.

Agradecimientos:

A la Universidad Nacional Autónoma de México por darme la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado y por estar interesado de forma continua en la aportación de nuevos conocimientos.

A la Dra. Blanca Jiménez Cisneros por su interés en mi tema de investigación , fortaleciéndola en todo momento.

A todas las personas que en alguna parte de la investigación me apoyaron, permitiendo realizar los experimentos necesarios y aportando comentarios y sugerencias pertinentes, tal es el caso de profesores, compañeros, amigos, familiares y expertos en el tema.

A mi familia, que siempre me brindó su apoyo incondicional y compartió momentos difíciles durante esta aventura.

CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE AGUA PLUVIAL EN VIVIENDA URBANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

Contenido

RESUMEN	I
INTRODUCCIÓN	IV
JUSTIFICACIÓN	V
OBJETIVOS	VII
HIPÓTESIS	VIII
1. PROBLEMÁTICA	1
1.1 GENERALIDADES	2
1.2 ANTECEDENTES GENERALES DE LA PROBLEMÁTICA DE SUMINISTRO DE AGUA EN MÉXICO	3
1.3 PROBLEMAS PARA APROVECHAR AGUA PLUVIAL EN MÉXICO	10
2. PLANTEAMIENTO	14
2.1 SITUACIÓN PLUVIOMÉTRICA EN LA CIUDAD DE MÉXICO	15
2.2 NORMATIVIDAD	18
2.3 ESTADO ACTUAL DE LA CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA EN EL DISTRITO FEDERAL	22
2.4 COSTOS ACTUALES	25
2.5 INCONVENIENTES Y BENEFICIOS DEL APROVECHAMIENTO DE AGUA PLUVIAL EN VIVIENDA	27
3. METODOLOGÍA	30
3.1 PRECIPITACIÓN PLUVIAL	31
3.2 SUPERFICIE Y TIPO DE CAPTACIÓN PLUVIAL	32
3.3 CONSUMO DE AGUA POR PERSONA	40
3.4 CONSUMO DE AGUA POR MUEBLE	41
3.5 PROPUESTA DE DISEÑO DE CÁLCULO	45
3.6 ESTUDIO DE CASO 1	51
3.7 ESTUDIO DE CASO 2	57

4. RESULTADOS **65**

4.1 COSTOS	66
4.2 TIEMPO DE RETORNO DE INVERSIÓN	67
4.3 FACTIBILIDAD ECONÓMICA POR ZONA EN EL D.F.	79
4.4 COMPARACIÓN CON OTROS SISTEMAS UTILIZADOS ACTUALMENTE	83

5. DISEÑO FINAL **90**

5.1 ESQUEMA GENERAL	91
5.2 DISEÑO FINAL CASO 1	101
5.3 DISEÑO FINAL CASO 2	106

CONCLUSIONES **110**

BIBLIOGRAFÍA **113**

GLOSARIO **116**

ANEXOS

RESUMEN

La captación y el aprovechamiento de agua pluvial es un recurso al que se ha recurrido desde hace miles de años, desde la gran Mesopotamia hasta los mayas y aztecas. Esta actividad se realizaba por la dificultad de llevar agua hasta las aldeas y ciudades, por lo que se realizaba la canalización del agua hacia grandes tanques para luego ser aprovechada.

A través de los años se han mejorado los métodos y tecnologías para tener una mejor eficiencia de captación y aprovechamiento; teniendo una gran variedad de materiales y equipos para la mejor calidad del agua de lluvia para consumo humano.

Desgraciadamente se ha puesto poco interés en el diseño de estos sistemas. No se ha seguido un modelo que regule o estandarice el proceso para calcular una instalación de esta índole. Se requiere de variables fijas que siempre se deben de tomar en cuenta para que se tengan desperdicios y sobrantes mínimos.

Dichas variables siempre serán, el volumen de captación, teniendo en cuenta su comportamiento mes por mes, no solamente el volumen total; la superficie de captación dividida en dos aspectos, el área y el tipo de material, el número de habitantes o beneficiarios del agua captada; el tipo de mueble hidráulico, tomando en cuenta los gastos que tienen en cada uno; un estudio previo de las rutinas, hábitos o costumbres de la familia para saber que volumen de agua gastan por día y mes.

Todos estos factores se integran en un cálculo y se tiene un prototipo de diseño que se analiza y se estudia a fondo en cinco capítulos, que se describen a continuación.

En el capítulo 1 se hace referencia de manera general a la problemática que se tiene con el agua potable, su abastecimiento, consumo y escasez. Así como las consecuencias que se tienen por no aprovechar el agua de lluvia pero también la dificultad al tratar de captarla por el comportamiento de las lluvias en el país y los espacios que se requieren para almacenarla. Con esto se pretende tomar un punto de partida para el planteamiento y metodología que se seguirá para resolver dicha problemática. Se analizan datos locales ya que datos a nivel mundial no se consideraron importantes por la diferencia de características de cada región.

El capítulo 2 hace hincapié en los factores que afectan directamente al lugar donde se detectó el problema que en este caso es la ciudad de México y se analiza su situación pluviométrica, la normatividad existente respecto a la captación de agua de lluvia que está estrechamente vinculado a la situación actual de estos sistemas en construcciones de tipo residencial; así como sus ventajas y desventajas y los costos que se manejan para dichas instalaciones.

Todo esto da un panorama de lo que se tiene en el D.F. para poder hacer una propuesta con el apoyo del análisis que se realizó en este capítulo.

El capítulo 3 envuelve toda la metodología que se utiliza para la creación de un prototipo de diseño, analizando cada punto a detalle, desde las variables de entrada de fluido (precipitación y superficie de captación) hasta las variables de salida del fluido (consumos por persona y mueble), tomando todo esto se crea la propuesta y se aplica en dos casos diferentes; el primero el vivienda vertical (departamento) y el segundo en vivienda sola. Estos casos fueron escogidos por las estadísticas de vivienda en el D.F.

Las cifras que arrojaron los dos casos en cuanto a volúmenes de agua necesaria y por supuesto los volúmenes de almacenamiento y porcentajes de

fluido reemplazado del consumo total de una vivienda se concentran en el capítulo 4, donde se analizan los costos finales del sistema y el tiempo de retorno de inversión. En este punto se propone una posible alternativa cuando la inversión económica no es factible para la o las familias de cada caso.

Tomando en cuenta esos mismos costos se analiza cada zona del D.F. de acuerdo al volumen de precipitación en cada una para tener una idea del costo de un sistema de captación de agua de lluvia además del volumen que se puede captar y el porcentaje de agua potable que reemplazara; esto en tres tipos de vivienda, popular, media y residencial.

Por último se hace una comparativa de la propuesta de diseño con dos diferentes utilizadas actualmente en la zona; esto para saber si realmente esta propuesta es factible y puede competir con las existentes y aceptadas por las autoridades.

Por último en el capítulo 5 se realiza el diseño de la instalación del sistema en los dos casos, basándose en un esquema general el cual abarca 7 aspectos; la superficie captadora, la canalización, filtración, almacenamiento, llenado alterno, potabilización y distribución final.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el problema de agua en la Ciudad de México ha alcanzado niveles preocupantes, ya que las fuentes que la abastecen están siendo sobreexplotadas en forma no sostenible causando problemas no sólo en su distribución, sino también en el suministro, siendo la población de escasos recursos económicos la más afectada

Paradójicamente el agua pluvial, teniendo volúmenes considerables anualmente, lejos de disminuir aumenta el problema, desaprovechada prácticamente en su totalidad, y la falta de agua potable se agudiza al igual que las inundaciones urbanas; no sólo por la ineficacia creciente en el sistema de drenaje de la Ciudad de México, sino también por la falta de área permeable en la misma, provocando así que gran parte de dicho líquido se pierda antes de ser absorbido por los mantos acuíferos o aprovechado por la sociedad.

En este marco, el análisis que se expone en el presente trabajo tiene como objetivo proponer un sistema para captar agua de lluvia en las viviendas de manera eficiente mediante un cálculo que comprenda diversas variables, como el nivel de precipitación en la zona geográfica del usuario, la superficie de la vivienda y el número de habitantes de la misma. Con esto se pretende darle un panorama positivo al problema de la distribución y suministro de agua potable en la Ciudad de México, ya que además de aminorar el volumen de agua pluvial en el sistema de drenaje, se reducirían las inundaciones de la ciudad en la temporada de lluvias y aumentaría el aprovechamiento de tal líquido en la vivienda

Asimismo y para efecto de comprobar la eficiencia del sistema que se propone, la investigación contempla un análisis de costos para determinar el retorno de la inversión inicial y el costo beneficio a largo plazo, así como un estudio del comportamiento de la lluvia en las diferentes zonas del Distrito Federal, con las variables de cálculo para determinar dónde es más factible su instalación y dónde se tienen desventajas. Además se realiza una comparativa de los volúmenes de la cisterna que arroja la presente propuesta con dos alternas que se usan en la actualidad en la ciudad, para determinar si realmente puede competir con estas en cuanto a ahorro de volúmenes y por supuesto ahorro económico.

JUSTIFICACIÓN

La sostenibilidad de la sociedad actual depende de un uso razonable de los recursos naturales, y como parte de ello, dentro de las ciudades el propio diseño de las edificaciones. Tal es el caso del manejo del agua y del suministro de agua municipal. Las ciudades actuales se caracterizan por realizar una distribución inequitativa del recurso, un desperdicio de la misma así como su despilfarro. El agua es un recurso natural que día con día se ve más afectado tanto en calidad como en cantidad, situación que continuará en tanto no se explote en forma racional. Por esta razón, es evidente que algo que se puede cambiar es su aprovechamiento y los arquitectos como diseñadores de la construcción urbana tienen un importante papel en ello.

Por otra parte, en las ciudades es común no utilizar el agua pluvial, ya que la facilidad y el costo tan bajo que una familia tiene para disponer del agua potable son desventajas contra el agua de lluvia. Aunque en realidad cuesta mucho trabajo llevar el líquido a cada hogar, gastando grandes cantidades de dinero al canalizarlo muchos kilómetros y distribuirlo en toda la ciudad.

Para paliar en parte el problema del suministro de agua potable al que se hace referencia, se puede hacer uso del diseño de las viviendas, ello se logra mediante la captación del agua de lluvia. Para la Ciudad de México, se considera posible contemplar para una vivienda o conjunto de ellas el aprovechamiento del agua de lluvia; en particular en las que reciben el servicio en forma de tandeos.

Para ello, se buscará disminuir la demanda de agua de una vivienda mediante el suministro de agua pluvial, contemplando la posibilidad de contribuir en la disminución de inundaciones urbanas en el Distrito Federal a largo plazo.

Es importante mencionar que actualmente existen diversos sistemas de captación de agua pluvial a nivel vivienda, sin embargo, éstos resultan ineficientes ya que no se toman en cuenta variables importantes como es la diferencia del volumen de precipitación pluvial en las diferentes zonas geográficas de la ciudad, o bien, la superficie de captación de las diferentes viviendas y que está frecuentemente asociada al nivel socio económico de la población. Asimismo, también es relevante la cantidad de consumo del líquido de las familias, lo que varía en función de su tamaño y clase social. Así los sistemas de aprovechamiento de agua pluvial se diseñan con criterios arbitrarios o generales, y se comercializan sin un sustento técnico para su funcionamiento. Esta situación se agrava por la inadecuada instalación y el desinterés de los usuarios para comprobar sus beneficios mediante su correcta utilización.

Así, en esta tesis se propone un método completo para el uso eficiente del agua de lluvia apoyado con el diseño de una cisterna cuyo tamaño corresponda a las necesidades y características del terreno y a los requerimientos de los usuarios, teniendo el menor déficit o superávit de agua a lo largo del año.

OBJETIVOS

El objetivo general es diseñar un sistema para el aprovechamiento del agua pluvial en la ciudad de México que atienda a la disponibilidad de lluvia por zonas geográficas así como a la demanda de la misma en función de un área de captación para una familia. Para ello se desarrollará un **método de cálculo para la captación de agua de lluvia** a nivel vivienda que permita satisfacer las necesidades básicas de una familia, donde el aprovechamiento sea constante durante todo el año para **utilizar el 100% del agua captada**, de acuerdo a los requerimientos que se tengan.

OBJETIVOS PARTICULARES:

- Desarrollo de un método que permita el diseño de un sistema de captación de agua pluvial que satisfaga las necesidades requeridas para una familia a partir de la precipitación pluvial local, la superficie de captación, el número de habitantes y el gasto de agua.
- Cálculo del tiempo de retorno de inversión y el costo beneficio del sistema, con el fin de definir el nivel de factibilidad para su implementación en las diferentes zonas de la ciudad.
- Proporcionar datos más precisos de consumo en los muebles de una vivienda de acuerdo a muestreos realizados en diferentes casos.
- Realización de una comparativa del prototipo de diseño contra otros utilizados en la zona, para saber si es un método eficiente.

HIPÓTESIS

Si se aprovecha la cantidad total de agua de lluvia que se pueda captar en una vivienda se reducirá el consumo de agua potable y se garantizará el uso del agua pluvial en actividades cotidianas de una vivienda durante todo el año, ya que se contará con una cisterna con capacidad de almacenamiento del 100% de lo captado, disminuyendo de esta manera la demanda de agua del usuario y promoviendo un uso más eficiente del agua en la Ciudad de México. Además, de esta manera se logrará reducir el volumen de agua causante de inundaciones urbanas

CAPÍTULO 1. PROBLEMÁTICA

En este capítulo se hace referencia de manera general a los problemas existentes relacionados con el agua, sobre todo los que ocurren actualmente en nuestro país y con más detalle en la Ciudad de México.

La situación actual del agua potable, su consumo y abastecimiento, así como aspectos del desaprovechamiento del agua pluvial y las consecuencias que genera el no captarla para su uso en los diferentes tipos de construcciones, se explican de forma breve.

Con esto se pretende tomar un punto de partida para el planteamiento y metodología que se seguirá para resolver dicha problemática. Se puede afirmar que es la base de la estructura del documento y es de gran ayuda para respaldar el marco teórico.

Los datos que se emplean principalmente son para el Valle de México, ya que es el área geográfica donde se realizará la investigación. No se utilizan datos a nivel mundial, ya que se consideran poco relevantes para el presente análisis debido a las diferentes características de cada región, como son el clima, la precipitación, los hábitos de uso y los factores sociales.

1.1 GENERALIDADES

De acuerdo con las estadísticas, el 97.5% del agua total disponible en el planeta se encuentra en los mares y océanos, esto quiere decir que no se puede utilizar en las actividades humanas cotidianas, y del 2.5% restante el 69.7% es agua congelada, 30% es subterránea y en los ríos y lagos hay sólo 0.3%.

Este pequeñísimo volumen es el que está disponible para consumo humano, sin embargo, debido al descuido y desinterés de la sociedad pensando que el recurso es inagotable se ha convertido en recurso no renovable. Día con día se ve más afectado tanto en calidad como en cantidad, situación que continuará en tanto no se explote en forma racional.

Todo este problema ha llevado a pequeños grupos a pensar más en su cuidado y han tratado de retrasar un poco la escasez general del líquido; en algunos casos se ha reglamentado su utilización y se han tomado medidas como la reutilización, tratamiento, regulación, educación, mantenimiento de redes de distribución, etc., que pretenden lograr una mejor eficiencia, disponibilidad y conciencia al utilizarla, aunque esto representa un mayor costo económico ya que estos procesos no son gratuitos por lo que es importante evaluarlos en términos de su costo / beneficio.

Una de las alternativas para el ahorro y el uso consciente del agua ha sido la captación y aprovechamiento del agua pluvial en las actividades domésticas e industriales. Esta actividad se realizaba desde las civilizaciones antiguas y era considerada una necesidad primordial por el esfuerzo que implicaba llevar el agua a sus viviendas, pero poco a poco fue desapareciendo al ser reemplazada por las tecnologías que se incorporaron a las actividades humanas. Ahora, por causas totalmente diferentes, se tiene la necesidad de regresar a ella.

El empleo de agua pluvial contribuye a disminuir la demanda de agua potable. A nivel de industria y comercio prácticamente puede cubrir el 100% de las necesidades fisiológicas, mientras que en una vivienda puede cubrir de un 40 a 50% de las necesidades secundarias como lavado de ropa, descarga de excusado o lavado de patios, de acuerdo a las costumbres de uso de cada familia.

Aunque se tiene una cultura escasa sobre este tema en nuestro país se debe empezar a emplearla cada vez más y se ha escogido la Ciudad de México por ser ésta región la más urbanizada del país y, por lo tanto, la que presenta mayor consumo y con ello muchos problemas de abastecimiento. Además, las opciones que se tienen en esta zona para usar el agua de lluvia son bastante aceptables por la cantidad de lluvia que se precipita al año.

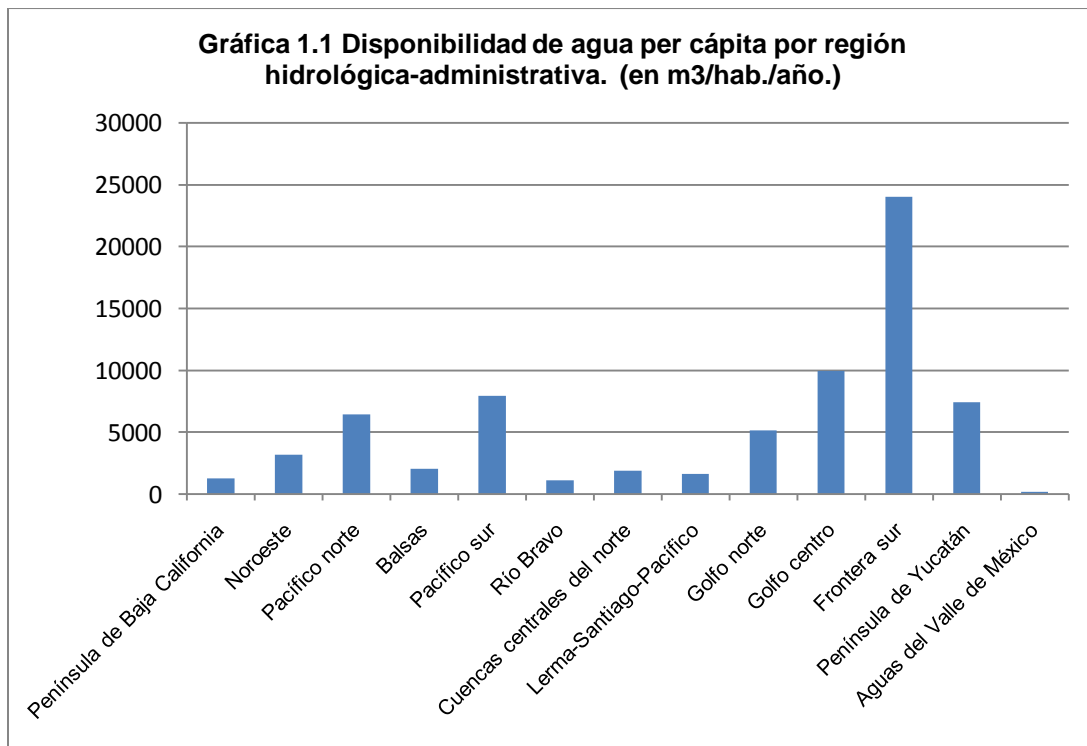
1.2 ANTECEDENTES GENERALES DE LA PROBLEMÁTICA DE SUMINISTRO DE AGUA EN EL DISTRITO FEDERAL

Para establecer el problema fue necesario basarse en algunos datos primordiales que han sido de gran apoyo para crear un punto de partida sobre la magnitud del problema y de esta forma saber qué tan grave es y de qué manera se puede intervenir.

Han sido muchos los factores que hasta ahora han intervenido en el problema de la escasez de agua, entre los cuales se puede mencionar la falta de educación ambiental, que conlleva al uso indiscriminado del agua potable; falta del hábito del reúso y el desaprovechamiento del agua pluvial; además la irregularidad en las tomas domiciliarias, redes principales en mal estado y contaminación, lo que ha causado conflictos de magnitud importante.

A continuación se hace una breve descripción de cada punto mencionado:

- **Uso indiscriminado del agua potable:** La falta de conciencia y la idea errónea de pensar en el agua como recurso natural abundante e infinito ha llevado a un manejo deficiente de ella, usándola de manera indiscriminada en todas las actividades que se realizan en la ciudad: desde la utilizada en una vivienda, hasta la industria, pasando por el comercio y servicios. En todas se desperdicia de manera general, sin importar cuánto cuesta traerla o desde dónde. Según datos oficiales del INEGI, en la región del Valle de México, de acuerdo a la delimitación de acuíferos por región hidrológico-administrativa, se tiene la menor disponibilidad de agua per cápita con respecto a todo el país, con tan solo 165 m³/hab/año.¹ Este valor para la cuenca del Valle es cercano al de escasez crítica de la OMS y es similar al de los países más áridos del planeta. A medida que pasa el tiempo esto irá disminuyendo de acuerdo al aumento de la población.



¹ Comisión Nacional del Agua (2010). *Estadísticas del Agua en México*. México, SEMARNAT 249pp.

En la gráfica 1.1 se pueden ver las grandes diferencias de una región hidrológica a otra a nivel nacional, que va de los casi 25000 m³/hab/año en la frontera sur a los 165 m³/hab/año en el valle de México.

- **Falta del reúso del agua:** La falta del hábito del reúso a nivel domiciliario del agua tiene mucho que ver en el problema. Acciones tan simples como canalizar aguas jabonosas de lavabo y regadera hacia una cisterna alternativa de donde se pueda sacar previamente filtrada, dependiendo del uso, para volver a utilizarla, no se realizan. Esto sería muy importante ya que se reduciría el consumo promedio de una persona, que es 150 l/día en la Ciudad de México, como se menciona en el artículo noveno de la sección de transitorios del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal.²
- **Irregularidad en tomas domiciliarias:** El crecimiento constante y rápido de la ciudad ha caído en el descontrol, esto ha sido provocado por invasiones ilegales de tierra y asentamientos no planificados en áreas periféricas en su mayoría, que reciben los servicios urbanos con el paso del tiempo, incluido el abastecimiento de agua. Sin embargo, garantizar el abasto de agua de forma regular para una población en continuo crecimiento resulta cada día más difícil, de acuerdo al Sistema de Aguas de la Ciudad de México, el 10% del total del agua suministrada se fuga por las tomas clandestinas.³
- **Redes principales en mal estado:** El agua que llega a la ciudad se potabiliza y se almacena para posteriormente distribuirse a hogares, comercios e industrias a través de las redes de distribución principales.

² Gobierno del Distrito Federal, (2004). *Reglamento de Construcciones del Distrito Federal*. México. Gaceta oficial del D.F. 84pp.

³ Sistema de Aguas de la Ciudad de México, (2010). <http://www.sacm.df.gob.mx/> (18 de enero de 2012).

Aunque en muchas ocasiones se pierde un gran porcentaje del líquido debido a constantes fugas en el sistema por su mal estado, se estima que en la Ciudad de México se pierde un 32% aproximadamente del agua en las redes hidráulicas. Este mal estado es originado por consumo irregular, ya que satura las tuberías provocando fisuras, así como la falta de mantenimiento y la presión del agua.⁴

- **Desaprovechamiento del agua pluvial:** Prácticamente toda el agua pluvial es desaprovechada en la Ciudad de México, ya que no se tiene la cultura de canalizarla y aprovecharla, lo que se puede realizar con un proceso de filtrado bastante sencillo para que esta agua pueda utilizarse en actividades básicas. Aunque en el Distrito Federal el promedio de precipitación pluvial es de 863 mm, existe una gran diferencia, ya que va desde los 600 hasta arriba de los 1500 mm, dependiendo de la zona, por lo que existe bastante cantidad de agua pluvial que se puede aprovechar.⁵

- **Poca eficiencia en los sistemas de conducción y distribución del agua:** Desafortunadamente, la poca eficiencia en los sistemas de conducción y distribución del agua, por su alta presión, genera la pérdida de aproximadamente el 32% del líquido, ocasionando un desperdicio innecesario, lo que provoca que sea mayor el volumen de agua que se extrae de los acuíferos que la que se recupera naturalmente. Mencionando un ejemplo, en el Valle de México cada segundo se extraen del subsuelo 45 m³, mientras que se reponen naturalmente tan solo 25 m³; provocando la deshidratación y compactación de las arcillas que cubren el valle y el asentamiento o hundimiento del terreno, que va desde 6 hasta 30 cm al año. Como consecuencia se tiene el debilitamiento de los cimientos de las

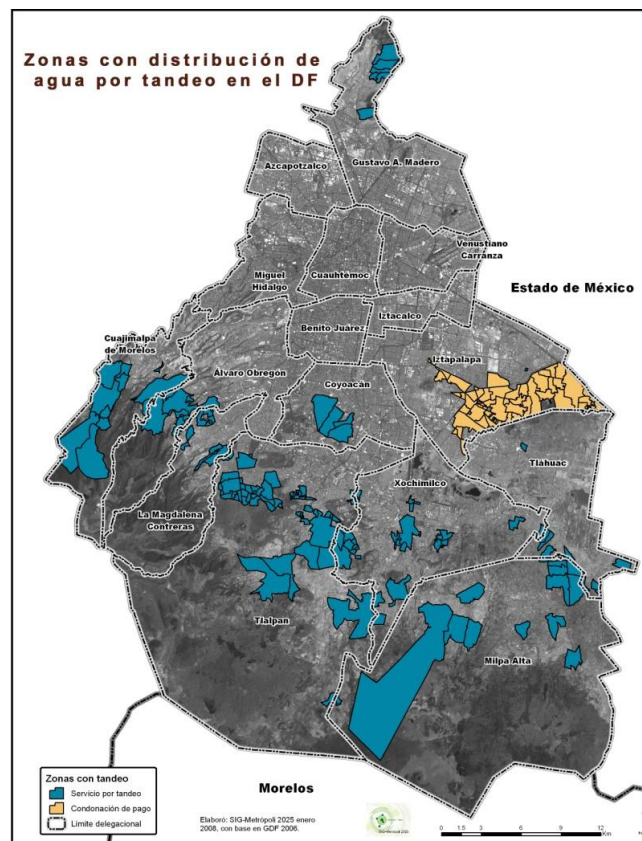
⁴ Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental A.C., (2010) <http://www.agua.org.mx> (18 de abril de 2011).

⁵ Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, (2011). <http://inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/df/> (14 de septiembre de 2011).

construcciones, la inestabilidad de la red de drenaje y agua potable, la dislocación de tuberías y la modificación de las principales estructuras de desalojo.

Todos estos problemas generan un problema social que engloba a toda la zona metropolitana, provocando diferentes tipos de consumo en la región. Aunque el consumo promedio de agua por persona en el D.F. es de 150 litros diarios, existen diferencias considerables entre las distintas colonias de la ciudad: en las zonas de nivel económico alto el consumo puede ser de hasta 600 litros de agua por habitante al día, mientras que en otras zonas el consumo es de apenas 20 litros, mismos que son surtidos por medio de carros tanque para el consumidor.⁶

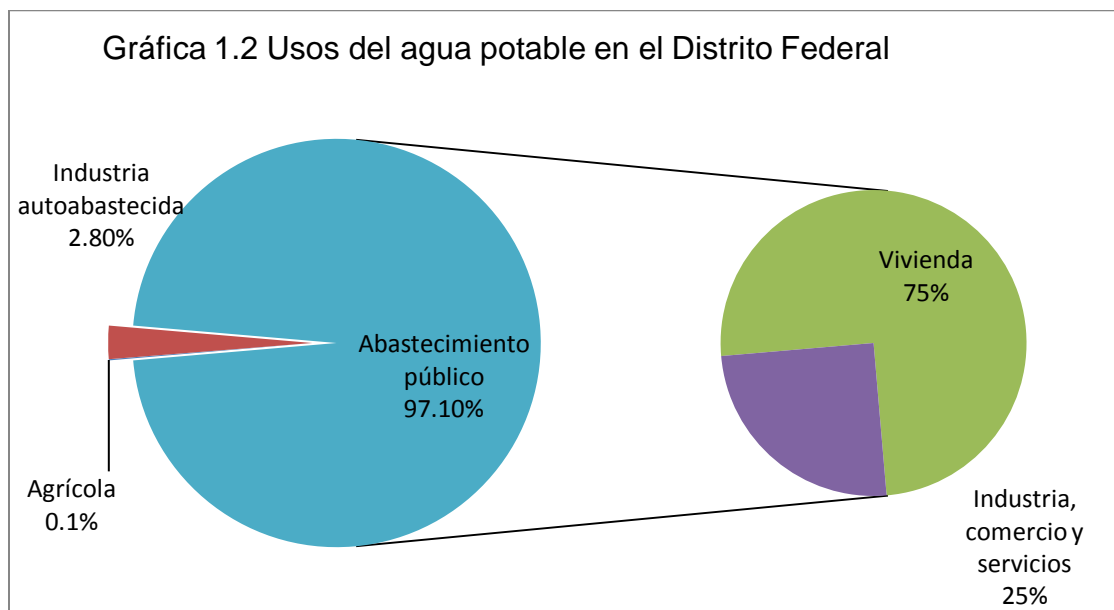
Figura 1.1 Zonas donde el agua potable no es constante.



⁶ Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental A.C., (2010) <http://www.agua.org.mx> (13 de agosto de 2011).

En la figura 1.1 se muestran las zonas donde se condona el pago por la falta de agua potable en cantidad y calidad (amarillo) y las zonas donde el suministro es por medio de tandeo (azul).

Del consumo mencionado, el 97.1% es para abastecimiento al público, el 2.8% para la industria autoabastecida y tan solo el 0.1% para uso agrícola, hasta el 2008.⁷ El uso para abastecimiento público incluye la totalidad del agua entregada a través de las redes de agua potable, las cuales abastecen a los usuarios domésticos, así como a las industrias y servicios conectados a dichas redes. De este uso el 75% va para la vivienda y el 25% para la industria, el comercio y servicios.⁸



Este 75% de vivienda genera gastos para la canalización de aguas residuales y estas se derivan del agua de lluvia, debido a la constante edificación en la ciudad. Después de cada tormenta fluye un inmenso caudal de agua hacia el drenaje, en

⁷ Comisión Nacional del Agua (2010). *Estadísticas del Agua en México*. México, SEMARNAT 249pp.

⁸ Comisión Nacional del Agua (2010). *Estadísticas del Agua en México*. México, SEMARNAT 249pp.

consecuencia el gobierno gasta millones de pesos en controlar las inundaciones y reparar de alguna manera las tuberías y pavimentos afectados por las mismas.

Cabe destacar que los sistemas domésticos podrían aliviar de manera importante el problema de inundaciones urbanas y de abastecimiento. Se debe reconocer que para muchos usos caseros no se necesita la calidad del agua potable, por ejemplo en las actividades básicas secundarias, donde el consumo es fácilmente reemplazable por agua de lluvia. De acuerdo con esto, se tiene que el consumo de agua en excusados, lavadoras, lavaderos, lavado de patios, automóviles y jardinería en su caso, puede darse de igual manera sin ningún tipo de filtrado especial.

Hoy en día la captación de agua pluvial en las viviendas es una actividad prácticamente nula en la Ciudad de México, contrario a lo que ha sucedido a lo largo de la historia, cuando su aprovechamiento originó fuentes de agua, tales como cisternas y pozos. Asimismo, en épocas más recientes a nivel rural la falta de agua potable e infraestructura obligaba a los habitantes de una casa a captar el agua pluvial. No ocurre así en la sociedad moderna, donde la facilidad para obtener agua y su bajo precio hace que nos olvidemos de este recurso natural y lo tratemos como agua residual urbana.

1.3 PROBLEMAS PARA APROVECHAR AGUA PLUVIAL EN MÉXICO

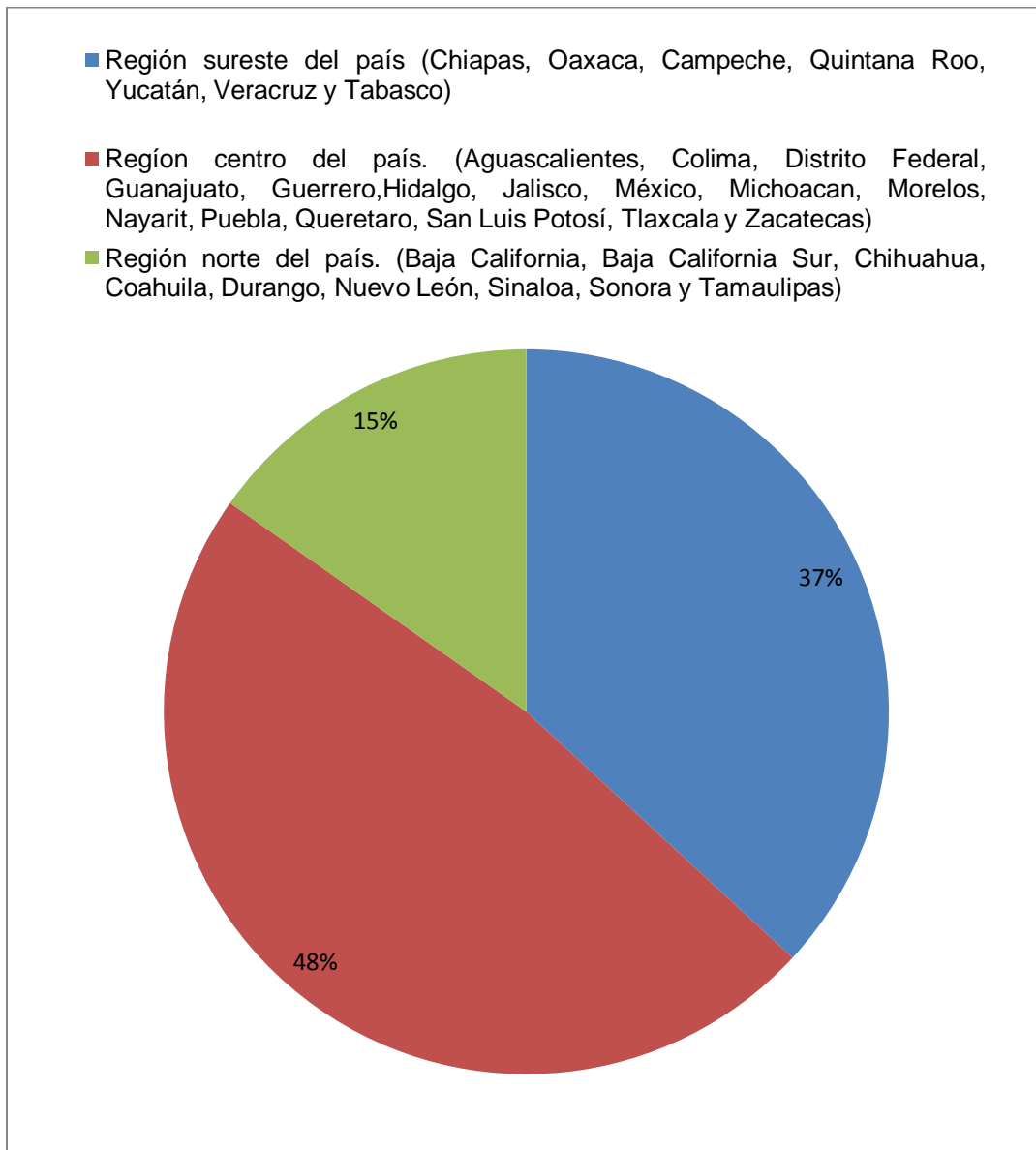
Ya se analizaron los problemas de intervienen en la escasez de agua en el D.F., y aunque se ha mencionado la posibilidad de aminorar esto con la captación de agua pluvial, también es cierto que es muy difícil poder aprovecharla por el comportamiento de las lluvias como a continuación se menciona.

En nuestro país existe una gran diferencia en la distribución del volumen de agua de lluvia, ya que en la parte angosta del país, que ocupa 20% del territorio, cae una parte muy importante del agua de lluvia (37%); esto es en los estados del sureste (Chiapas, Oaxaca, Campeche, Quintana Roo, Yucatán, Veracruz y Tabasco). Mientras tanto, el norte es muy ancho pero con poca lluvia: el 54% de la superficie la tienen los estados norteños y ahí llueve tan sólo 15% del total. Entre los estados más secos está Baja California Sur, donde únicamente llueve un promedio de 160 mm por año; en contraste está Tabasco, que recibe 2095 mm de agua cada año.⁹

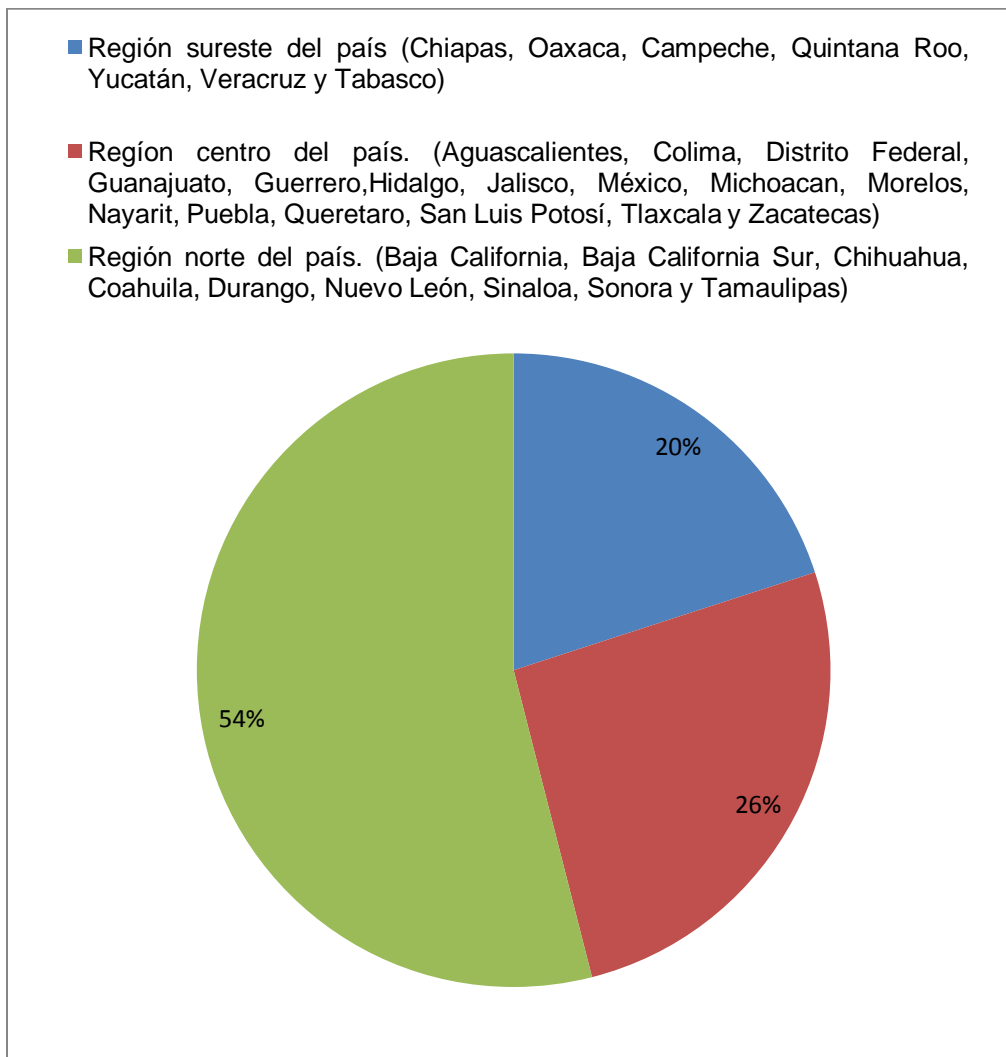
En las gráficas 1.3 y 1.4 se observa cómo hacia el sureste del país hay una gran precipitación, prácticamente 2.7 veces mayor que en el norte, aunque este sea aproximadamente 2.7 veces más grande en extensión.

⁹ Comisión Nacional del Agua (2010). *Estadísticas del Agua en México*. México, SEMARNAT 249pp.

Gráfica 1.3 Porcentaje de disponibilidad de agua pluvial en norte, centro y sureste del país



Gráfica 1.4 Porcentaje de territorio que ocupan los estados de acuerdo a la clasificación anterior (norte, centro y sureste)



En el territorio nacional hay una precipitación anual promedio de 760 mm, de esto el 67% ocurre de junio a septiembre, el 70% del agua que cae de las lluvias regresa a la atmósfera, el 84% del líquido que queda disponible escurre superficialmente y el resto se incorpora a los mantos acuíferos.¹⁰ Todo esto dificulta su captación.

¹⁰ Comisión Nacional del Agua (2010). *Estadísticas del Agua en México*. México, SEMARNAT 249pp.

La tendencia es la pérdida de volumen anual precipitado, ya que de 1994 a la fecha ha llovido menos del promedio histórico anterior. Aunado a esto, hay que tomar en cuenta el hecho de que la mayor parte de la población y actividad económica de nuestro país se concentra en el centro y norte, en donde el agua es más escasa y las superficies pavimentadas ocupan la mayor parte del suelo. Se puede ver que es indispensable favorecer la evaporación del agua de lluvia y su infiltración natural.

CAPÍTULO 2. PLANTEAMIENTO

Lo que se pretende en este capítulo es describir el entorno alrededor del tema planteado para determinar cuál es la mejor forma de resolverlo.

Se presenta un panorama general de la precipitación pluvial en el Distrito Federal, para entender cómo se comporta la lluvia en las diferentes zonas.

Se revisa la normatividad existente en este momento y se explican los puntos más importantes, concluyendo con una opinión de su cumplimiento o incumplimiento y el porqué se llega a esto.

Los tres últimos puntos están relacionados, ya que es un estado del arte actual, con sus problemas, beneficios, arbitrariedades y ejemplos en casos particulares donde se tiene la posibilidad de captación; así como los costos que tienen las diferentes cisternas que utilizadas en la actualidad, ya que estas son las que se llevan el mayor porcentaje de la inversión, siendo la principal desventaja de este tipo de sistema.

Partiendo de estos puntos se puede detectar cómo se está comportando la Ciudad de México ante las lluvias y su captación, lo que servirá de base para determinar la metodología en el siguiente capítulo.

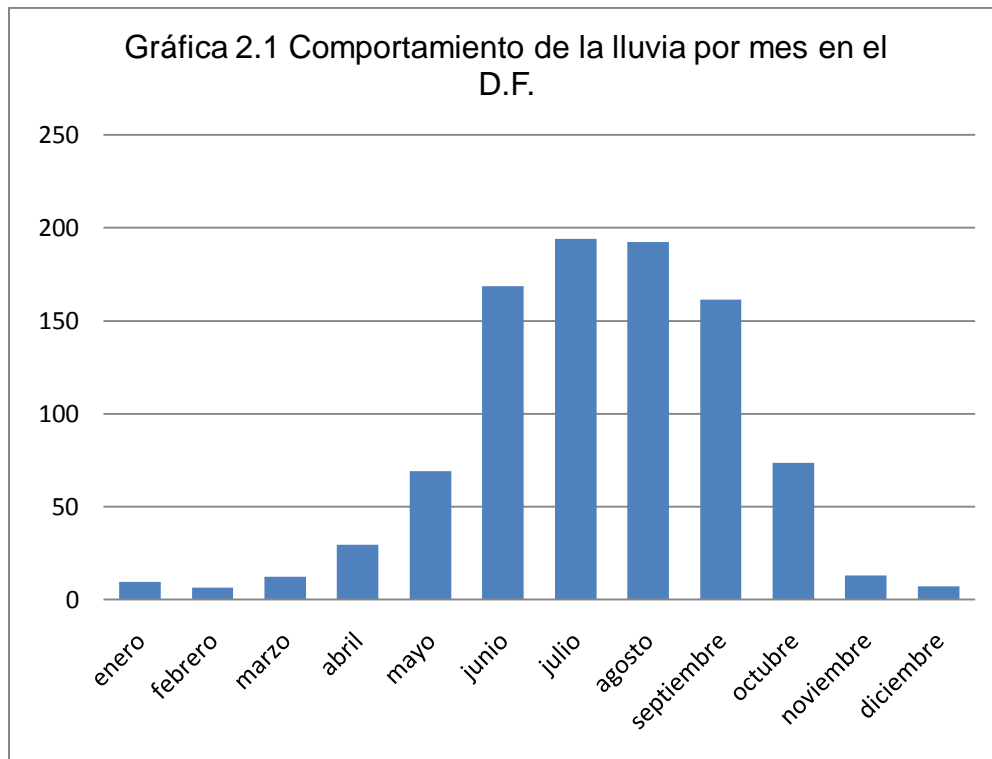
2.1 SITUACIÓN PLUVIOMÉTRICA EN LA CIUDAD DE MÉXICO

Como ya se mencionó en el capítulo anterior, la distribución de agua en el país está bastante descompensada y esto se debe en gran medida al agua de lluvia. Ese mismo problema se tiene en el D.F., donde el comportamiento de la lluvia hace que unas zonas registren más volumen de agua pluvial que otras, aunque al final las zonas donde más llueve no aprovechen el líquido, teniendo que recurrir a otras fuentes. Este se menciona a continuación.

De acuerdo con datos oficiales extraídos de CONAGUA, el promedio histórico de la precipitación pluvial anual en el Distrito Federal es de 863 mm. relacionando a la entidad con las 31 restantes, el DF ocupa el lugar número 12, siendo el primero el estado de Tabasco con 2095 mm y el más bajo Baja California Sur con 160 mm.¹¹

Este volumen de agua es bastante aceptable para su captación y aprovechamiento, desgraciadamente la distribución mensual de la precipitación en particular acentúa los problemas relacionados con la disponibilidad del recurso, ya que el 67% de la precipitación normal mensual cae entre los meses de junio y septiembre, como se muestra en la gráfica.

¹¹ Comisión Nacional del Agua (2010). *Estadísticas del Agua en México*. México, SEMARNAT 249pp.



Debido a los diferentes tipos de región y microclimas existentes dentro del Distrito Federal, existe una gran diferencia de precipitación pluvial en la ciudad que va de menos a más de norte a sur, de acuerdo con las franjas llamadas isoyetas.

Una isoyeta es una curva que une los puntos, en un plano cartográfico, que presentan la misma precipitación en la unidad de tiempo considerada. Así, para una misma área, se pueden diseñar un gran número de planos con isoyetas, por ejemplo isoyetas de la precipitación media de largo periodo del mes de enero, febrero, etc., o las isoyetas de las precipitaciones anuales.¹²

Es necesario recurrir a ellas, ya que la precipitación en cualquier ciudad no es constante en cuanto a volumen. En el D.F. hay por lo menos siete diferentes niveles de precipitaciones, desde los 600mm al norte hasta más de 1500mm al sur.

¹² Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (2010). *Mapas de precipitación promedio anual*. <http://www.inegi.org.mx> (29 de octubre de 2011).

Comportamiento de la precipitación se ve en las isoyetas en el Distrito Federal presentadas en la figura 2.1



Fuente: INEGI 2010

En esta figura se observa que hacia el norte de la ciudad los niveles de precipitación son menores de 600 mm, en el centro de 700 mm a 1000 o 1200 mm y hacia el sur se presentan llegan a más de 1500 mm.

2.2 NORMATIVIDAD

En la actualidad, en el Distrito Federal es limitada la normatividad con respecto a la captación de agua de lluvia para su uso, a pesar de la importancia que tiene por los problemas existentes.

Las instituciones que rigen y administran el agua en la ciudad, como son la CONAGUA y el SACM, no han podido establecer los parámetros necesarios para poder llevar a cabo la captación de agua pluvial, aunque han incorporado programas e iniciativas a favor de esta actividad.

En el año 2003 se decretó la Ley de Aguas del Distrito Federal, por parte de la jefatura de gobierno, que tiene por objeto regular la gestión integral de los recursos hídricos y la prestación de los servicios públicos de agua potable, drenaje y alcantarillado, así como el tratamiento y reúso de aguas residuales.

En esta ley se tocan aspectos muy importantes respecto del agua de lluvia, los cuales se enlistan a continuación:

- En las nuevas construcciones, ya sea de manera individual o en conjunto, se deberán efectuar las instalaciones que el Sistema de Aguas señale, a efecto de que cuenten con aparato medidor, así como drenajes separados: uno para aguas residuales y otro para grises o pluviales.
- Con el fin de incrementar los niveles de agua de los mantos freáticos, el Sistema de Aguas será responsable de promover en las zonas urbanas y rurales, la captación, almacenamiento y uso eficiente del agua pluvial como recurso alterno, desarrollando programas regionales de orientación y uso de este recurso.¹³

¹³ Gobierno del Distrito Federal. (2003). "Ley de Aguas del Distrito Federal". *Gaceta Oficial del D.F.* 59pp.

Además, todo el título noveno habla de la cosecha de agua de lluvia, específicamente en el Distrito Federal, y tiene por objeto principal regular, promover, organizar e incentivar la cosecha de agua de lluvia, su potabilización para el consumo humano y uso directo en actividades rurales, urbanas, comerciales, industriales y de cualquier otro uso.

En este sentido, la Ley habla de otorgar a las dependencias, entidades, organismos, instituciones, organizaciones y entes públicos, privados y sociales, ejidos, comunidades, barrios y pueblos, así como a los habitantes del Distrito Federal, los derechos a:

- Cosechar agua de lluvia, individual o colectivamente;
- Ser reconocidos como Cosechador(a) Individual o Colectivo de Agua de Lluvia del Distrito Federal e inscritos en el Padrón de Cosechadores de Agua de Lluvia del Distrito Federal;
- Obtener los incentivos del Programa General y, en su caso, de sus Subprogramas;
- Gestionar y obtener apoyo, asistencia y capacitación de técnicos y profesionales; así como atención, orientación, asesoría y los beneficios viables y posibles que se establezcan en las políticas, estrategias, programas, presupuestos y acciones del Gobierno del Distrito Federal en materia de cosecha de agua de lluvia en esta entidad;
- Ser informados; debatir con seriedad, rigor y tolerancia; proponer y decidir democráticamente las políticas gubernamentales en materia de cosecha de agua de lluvia en el Distrito Federal.¹⁴

Algo muy importante se toca en el artículo 125, que dice que en todas las nuevas edificaciones, instalaciones, equipamientos, viviendas y obras públicas

¹⁴ Gobierno del Distrito Federal. (2003). "Ley de Aguas del Distrito Federal". *Gaceta Oficial del D.F.* 59pp.

que se construyan en el Distrito Federal será obligatorio construir las obras e instalar los equipos e instrumentos necesarios para cosechar agua de lluvia, con base en las disposiciones que se establezcan en el Reglamento de esta Ley. Desde un punto de vista personal, esta parte puede ser la más importante de la Ley con respecto a la captación de aguas de lluvia, ya que refleja la obligación de cada construcción nueva y, por supuesto de cada ciudadano, de llevar a cabo la cosecha de lluvia.

Otros puntos importantes que toca son los siguientes:

- Para el caso de las nuevas construcciones que se encuentren cercanas a áreas verdes, barrancas, zonas boscosas o cualquier otra cubierta vegetal o área natural, se deberá establecer el sistema de cosecha y recarga de aguas pluviales o un sistema en el cual se encause el agua de lluvia a estos lugares permitiendo su infiltración.
- El porcentaje total de área libre de construcción para las nuevas edificaciones del Distrito Federal deberán ser áreas verdes, además de que las zonas que se destinen a estacionamiento de vehículos se deberán cubrir con pasto o con material permeable que permita la infiltración del agua de lluvia.
- El sistema de captación y recarga de agua pluvial al subsuelo deberá estar indicado en los planos de instalaciones y formará parte del proyecto arquitectónico, que debe ser presentado para el trámite del registro de Manifestación de Construcción o Licencia de Construcción Especial. Dicho mecanismo deberá ser evaluado y aprobado por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México, así como contar con la aprobación de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda y de las Delegaciones Políticas.
- Apoyar, estimular, promover, organizar e incentivar las acciones de cosecha de agua de lluvia de la población de la Ciudad de México.

Como puede observarse es muy importante la creación de esta Ley, ya que se establecen parámetros para que las construcciones capten el agua de lluvia que abarcan desde los derechos de los ciudadanos y las obligaciones de ambas partes, hasta incentivos que obtendrán quienes cumplan con lo requerido.

Desgraciadamente, pocos se han apegado a las bases descritas en la presente Ley, ya que ha faltado interés tanto de autoridades como de ciudadanía, además de predominar la corrupción en la mayoría de los casos. Asimismo, la ley no contempla incentivos fiscales para promover la cosecha de agua de lluvia en edificaciones existentes y no se tiene un Reglamento de esta Ley donde se especifiquen parámetros, sanciones, cálculos, diseños, etc.

De acuerdo al Sistema de Aguas de la Ciudad de México, quienes deberían dar seguimiento y verificación del cumplimiento de estas instalaciones o actividades son las delegaciones, ya que son las que revisan los proyectos de construcción para aprobarlos o rechazarlos. En este sentido, el personal de esta dependencia no da seguimiento de la ejecución que se presentó en el proyecto aprobado.¹⁵

Como se mencionó anteriormente, las construcciones que cumplen con tener una cisterna y una instalación para cosechar agua de lluvia son muy pocas. Aunado a esto, no se ha hecho un cálculo para diseñar la cisterna, por lo que algunas quedan de dimensiones insignificantes que no ayudan en prácticamente nada y solo se construyen para cumplir con un punto que se les requiere o para fines comerciales, en vez de pensar en cumplir realmente con la necesidad de ahorrar el máximo volumen de agua potable.

¹⁵ Martínez Ayala, Patricia. Jefa de Unidad Departamental de Integración de Factibilidades. Información proporcionada en entrevista realizada en abril de 2012.

2.3 ESTADO ACTUAL DE LA CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA EN EL DISTRITO FEDERAL

A partir de la situación actual, se puede afirmar que en la Ciudad de México no se cuenta con captación de agua pluvial de forma uniforme y correcta en las construcciones, a pesar de que la Ley de Aguas del Distrito Federal lo exige desde el año 2003.

Para las construcciones que ya existían antes de ese año no se tiene una obligación, aunque existen diferentes incentivos para que se realice una captación de agua. En este tipo de edificaciones el problema es mayor, ya que al no haber un espacio contemplado para una cisterna de agua de lluvia desde el inicio del proyecto es muy difícil adaptarlo en algún lugar de la casa o construcción, quedando con menores posibilidades de hacerlo.

De las escasas construcciones que ya cumplen con este requerimiento, todas lo hacen mediante un proceso propio, lo cual quiere decir que no hay un modelo de cálculo a seguir para cualquier caso y no se ha estado verificando de manera adecuada para que se logre una eficiente captación y mucho menos su aprovechamiento.

Casos como cálculos sin fundamento, de forma arbitraria, cisternas de dimensiones bastante pequeñas, tuberías que sólo son aparentes, instalaciones que únicamente aparecen en planos, etc., son algunos ejemplos de lo que sucede en la actualidad en el Distrito Federal. El tener este tipo de sistema en un edificio de departamentos o en un conjunto habitacional es meramente para fines comerciales, ya que se autonoan construcciones ecológicas para que la venta sea más rápida y cause una imagen atractiva.

Puede haber muchas respuestas para determinar cuáles son las causas por las que no se capta el agua pluvial, pero pareciera que hay una gran cantidad de factores que intervienen en este problema, donde lo que importa son otras cosas y se queda de lado el agua que supuestamente se está recolectando.

Una característica muy importante es que ni la parte vendedora, la parte compradora o las dependencias que revisan el proyecto, tampoco los mismos verificadores le ponen atención a esta parte tan importante de la edificación. Y se pueden numerar muchas razones pero la falta de información e interés de todas las partes es la principal, ya que se desconocen muchos aspectos de los problemas del suministro de agua potable, así como de los beneficios que puede acarrear el agua pluvial.

En esta sección se relacionarán diferentes edificaciones de tipo habitacional nuevas visitadas en el D.F., concretamente al sur, para identificar qué porcentaje de estas cuentan con un sistema alternativo de captación de agua de lluvia, en comparación con otro tipo de instalación que tenga cada una de ellas. Debido a la imposibilidad de mencionar los nombres de los casos verificados, se les llamará caso 1, caso 2, caso 3, etc.

Tabla 2.1 Comparación tipos de vivienda respecto de la captación del agua pluvial y del área potencial de captación de la misma

CASO	UBICACIÓN (COLONIA)	TIPO DE VIVIENDA	FECHA DE CONSTRUCCIÓN	CARACTERÍSTICAS BÁSICAS	CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL	OTRAS CARACTERÍSTICAS
1	Ampliación Miguel Hidalgo	Departamento tipo vertical	2011-2012	128 departamentos, torres de 4 niveles de construcción, proyecto ecológico.	Sí	800 m2 de jardín
2	Granjas Coapa	Departamento tipo vertical	2011-2012	180 departamentos	No	Gimnasio, roof garden.
3	Tepepan	Departamento tipo vertical	2011-2012	36 departamentos	No	Salón de fiestas, jardín.
4	Fuentes de Tepepan	Departamento tipo vertical	2011-2012	410 departamentos	No	Carril de nado, roof garden, gimnasio, pista de jogging, alberca.
5	Fuentes de Tepepan	Departamento tipo vertical	2011-2012	45 departamentos en torres de 3 niveles	No	Roof garden, ampliamente jardinado.

6	Lomas de Padierna	Casa en condominio	2011-2012	3 casas con acabados de lujo	No	Roof garden terrazas.
7	Ejidos de San Pedro Mártir	Casa en condominio	2011-2012	8 casas con acabados de lujo	No	Roof garden, salón de usos múltiples.
8	Fuentes de Tepepan	Casa en condominio	2011-2012	27 casas con acabados de lujo, proyecto sustentable.	Sí	Jardín, salón de fiestas, jacuzzi, roof garden.
9	Toriello Guerra	Casa en condominio	2012	26 casas con acabados de lujo	No	Centro de negocios, área de cine.
10	San Pedro Apóstol	Casa en condominio	2012	11 casas con acabados de lujo	Sí	Jardín, roof garden, calentadores solares.
11	Rincón del Pedregal	Departamento tipo vertical	2012	42 departamentos de lujo	No	Carril de nado, jardín, salón de juegos, alberca, gimnasio, roof garden, cancha deportiva.
12	Santa Ursula Xitla	Departamento tipo vertical	2012	27 departamentos en torres de 5 torres	No	Jardines, salón de usos múltiples, planta de tratamiento de aguas.
13	Héroes de Pdierna	Departamento tipo vertical	2012	8 departamentos en 2 torres	No	Roof garden.
14	Rinconada Santa Teresa	Departamento tipo vertical.	2012	5 departamentos	No	Jardines privados, roof graden.
15	San José del Olivar	Departamento tipo vertical	2012	750 departamentos en torres de hasta 25 niveles.	No	Jardín central, casa club con alberca, pista de jogging, sauna, gimnasio, vapor, bar.

En la tabla 2.1 se puede observar que sólo 3 de los 15 conjuntos analizados cumplen con la captación de agua de lluvia, lo que constituye un 20% para el sur de la ciudad. Esto quiere decir que un 80% de los proyectos nuevos no cumple con lo que se establece en la ley.

En su defecto, la atención de los clientes es atraída por otras características que suelen ser llamadas “amenidades” como son los “*roof garden*”, el carril de nado, albercas, centros de negocios o salones de fiestas. Es preocupante cómo los desarrolladores dan más importancia a instalaciones secundarias, que conllevan igual o más inversión, que a las primordiales para un desarrollo sustentable y que además son obligatorias como es el caso de la cosecha de agua de lluvia.

2.4 COSTOS ACTUALES

Uno de los problemas que se tienen al diseñar e instalar un sistema de captación de agua de lluvia sin duda es el almacenamiento, ya que para que realmente sea eficiente debe tener una gran capacidad, por lo que abarca gran espacio y obviamente el precio es poco costeable para el usuario. Muchas personas prefieren invertir en otro beneficio y no enterrado en una cisterna, además de que éstas roban espacios importantes cuando se instalan de forma superficial.

Para crear este diseño se debe tener como un parámetro importante el costo de la cisterna, ya sea prefabricada o hecha en obra directamente, de esta forma se sabrá exactamente cuánto va a tardar la amortización de acuerdo a los ahorros que se tengan.

Para empezar, se describirá cada uno de los tipos de depósito que existen de forma comercial en este momento y que se utilizan de forma constante en el Distrito Federal.

Cisternas prefabricadas:

Este tipo de cisterna generalmente es de medidas estándares, se encuentran hasta de 10,000 L o 10 m³. Sus principales características son:

- Fácil manejo;
- Instalación a nivel subterráneo o superficial;
- Garantía de funcionalidad;
- Se compran con todo el equipo de conexiones incluido;
- Mejor limpieza en el proceso de instalación;
- Instalación sencilla;
- Peso ligero

Entre sus desventajas destaca que la radiación solar puede producirle daños;

Su precio en el mercado oscila entre los **\$17,000 y los \$22,000**, para (precios en 2013) 10000 l, incluyendo la instalación y equipo como bomba, válvulas, electroniveles, pichancha, flotador y tubo de succión.

Cisternas de concreto hechas en obra:

Estas cisternas son de concreto armado, se pueden hacer de la medida requerida y se construye en obra, sus principales características son:

- Requieren una determinada resistencia del concreto para que puedan resistir la presión del agua;
- Su proceso de obra es tardado por las características del tipo de construcción, ya que se debe pasar por varios pasos como la excavación, el armado, la cimbra, el vaciado del concreto, la descimbra, las instalaciones y la impermeabilización;
- El proceso de instalación es muy sucio;
- Requiere mantenimiento constante;
- No tiene una garantía establecida por determinado tiempo,
- Se puede hacer de la medida que se requiera sin que sobre o falte capacidad,

El precio de una cisterna construida de 10000 l oscila entre los **\$38,000** y los **\$42,000** (el desglose de precios se puede ver en los anexos “Costo de una cisterna hecha en obra”), esto sin incluir el equipo que se entrega con la cisterna prefabricada.

Por lo anterior, las cisternas prefabricadas son las que se han venido utilizando más en los últimos años por tener más ventajas que la de concreto, aunque todavía muchos prefieren esta última por la capacidad requerida principalmente.

Estos precios ayudarán a determinar el costo para la cisterna que se va a proponer en este trabajo de tesis. Este es un parámetro muy importante para determinar la eficiencia económica, además de que se podrá saber cuánto tiempo se requiere para recuperar dicha inversión de acuerdo a los ahorros de consumo reflejados en el análisis correspondiente y al volumen final de la cisterna.

2.5 INCONVENIENTES Y BENEFICIOS DEL APROVECHAMIENTO DE AGUA PLUVIAL EN LA VIVIENDA

INCONVENIENTES

En la actualidad, para captar agua de lluvia de forma constante durante todo el año se debe considerar algunos retos que pueden surgir en este proceso, como:

- Los almacenamientos generalmente son grandes, pesados y ocupan un espacio muy valioso que podría destinarse a otros usos. El almacenamiento subterráneo, que es el óptimo, sólo es viable en edificaciones nuevas donde puedan construirse sótanos para este propósito, ya que en los edificios existentes el enorme peso del agua almacenada resulta inviable.
- El agua de lluvia puede ser no apta para el consumo. La calidad depende de las superficies de captación.
- El costo inicial de la construcción de autoabastecimiento de agua es alto y la inversión puede no recuperarse rápidamente.
- No se tiene de forma específica un modelo de diseño conceptual a seguir para que se facilite la construcción y sea más confiable y eficiente.
- Se requiere mantenimiento constante a las superficies para evitar contaminación y basura en las cisternas.

BENEFICIOS

Los beneficios principales del aprovechamiento de agua pluvial en la vivienda, que pueden ser fundamentales para tomar la determinación de captarla:

- Reducción de los gastos de mantenimiento de una vivienda, en especial a largo plazo;
- Preservación de los recursos de agua para generaciones futuras;
- Reducción de la presión sobre la red de abastecimiento de agua;
- Menor consumo de agua en los sistemas de abastecimiento y saneamiento;
- Disminución de inundaciones en épocas de lluvia, evitando problemas de tráfico y accidentes viales;
- Un porcentaje del agua utilizada resulta gratuito;
- Posibilidad de algún incentivo por parte de las autoridades correspondientes.

El agua de lluvia sólo necesita de sencillos tratamientos de sedimentación y filtración, más una desinfección por seguridad, para considerarse como de calidad compatible para cualquier uso potable.

Esta agua se ha empleado históricamente para lavarse, beber y cocinar. Hoy día los criterios son un poco más restrictivos y no suele aconsejarse el empleo directo del agua de lluvia para estos usos, pero es relativamente fácil adaptarla para poder disponer de ella como única fuente de agua si así se desea, con todas las garantías sanitarias que se requieren. En este caso se deben tomar una serie de precauciones e instalar sencillos sistemas complementarios que son indispensables para la depuración del agua.

En la actualidad, la tecnología necesaria para que el aprovechamiento de las aguas pluviales en el ámbito de la edificación se haga sin riesgos está consumada, con esto se determina que el aprovechamiento de agua pluvial se divide en tres categorías: para uso no potable, para uso potable con restricciones

y para uso sin restricción. El primero sirve para usos exteriores, inodoros y urinales y limpieza de superficies, el segundo para estos usos además de la utilización de la regadera y al tercero se le agregan los usos de ingestión, que son los de la cocina y el lavabo.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

El objetivo de este capítulo es establecer un método por medio del cual se pueda calcular un sistema que tenga la capacidad de almacenar el agua pluvial captada para cualquier tipo de vivienda en el Distrito Federal, con excedentes y faltantes mínimos. Dicho método tomará en cuenta cuatro factores que son indispensables: la precipitación pluvial, la superficie de captación, el número de habitantes de una vivienda y el consumo de agua en cada mueble.

Para ello se hará el análisis en dos casos de estudio específicos, donde se comprobará la eficiencia del método propuesto, principalmente en el aspecto económico.

En el caso de los consumos, se utilizarán los gastos que se obtuvieron a partir de los muestreos hechos para dos situaciones (casos) diferentes, para determinar el porcentaje de utilización en una vivienda de la manera más fidedigna posible.

Con esto se tendrá prácticamente la base primordial para el diseño de captación de agua de lluvia en una vivienda, que se podrá utilizar en cualquier caso y se comparará con los actuales para saber en qué aspectos es mejor y en dónde tiene fallas, con el fin de poder solucionarlas para que funcione de la mejor manera.

3.1 PRECIPITACIÓN PLUVIAL

Antes de plantear la instalación de un sistema de captación de aguas pluviales se debe considerar que ello no es conveniente para cualquier zona o edificación de la ciudad. Se necesita, por una parte, condiciones meteorológicas de precipitación pluvial que sean suficientes para el abastecimiento que se pretende, y por otra una superficie de captación adecuada para que el proceso sea rentable.

Por lo tanto, se debe tener mucho cuidado en analizar la zona donde se pretende efectuar captación pluvial. Además, se deben considerar la superficie de captación y el consumo.

Como ya se mencionó, en el D.F. cada año cae una precipitación promedio de 863 mm¹⁶ pero de forma irregular, como se presenta en la tabla 3.1

Tabla 3.1. Precipitación pluvial promedio mensual en el Distrito Federal

Entidad	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
D.F.	9	7	12	28	65	156	178	175	146	68	12	7	863

También ya se mencionó que la lluvia en el D.F. va de los 500mm hasta superar los 1500mm de norte a sur respectivamente, de acuerdo al mapa de precipitación anual con isoyetas.

Estos datos son importantes porque demuestran que en una pequeña extensión como lo es el Distrito Federal existe diferencia en la precipitación pluvial. Por ello se debe recurrir al análisis de la estación meteorológica más cercana para cada caso de estudio y basarse en los datos históricos de precipitación, para tener los datos más exactos y tomar esto como primer parámetro del proceso de la metodología.

¹⁶ Comisión Nacional del Agua (2010). *Estadísticas del Agua en México*. México, SEMARNAT 249pp.

3.2 SUPERFICIE Y TIPO DE CAPTACIÓN

Por lo visto anteriormente, en el sur resulta más viable captar el agua pluvial y resta analizar la influencia de la superficie de recolección. Por lo tanto, se analizará la clasificación de los tipos de vivienda en el Distrito Federal de acuerdo al Reglamento de Construcciones del Distrito Federal.

Según el título 1 “Disposiciones generales”, el artículo 5 de dicho reglamento señala que las edificaciones se clasificarán de acuerdo con géneros y rangos de magnitud, según los cuales la vivienda se divide en 3 categorías de acuerdo a su magnitud y grado de ocupación:¹⁷

- Superficie mínima para vivienda nueva terminada popular: **45 a 60 m²**.
- Superficie de nivel medio para vivienda terminada: **60 a 92 m²**.
- Superficie de nivel alto o residencial para vivienda terminada: **92 m² o más**.

También se tiene un promedio en cuanto a superficie de construcción de vivienda en el D.F. de acuerdo al Sistema Nacional de Información e Indicadores de Vivienda de la CONAVI. La superficie de construcción que predomina en el D.F. es de 100m² o más en un tipo de vivienda de casa única en el terreno, como lo muestra la siguiente tabla.¹⁸

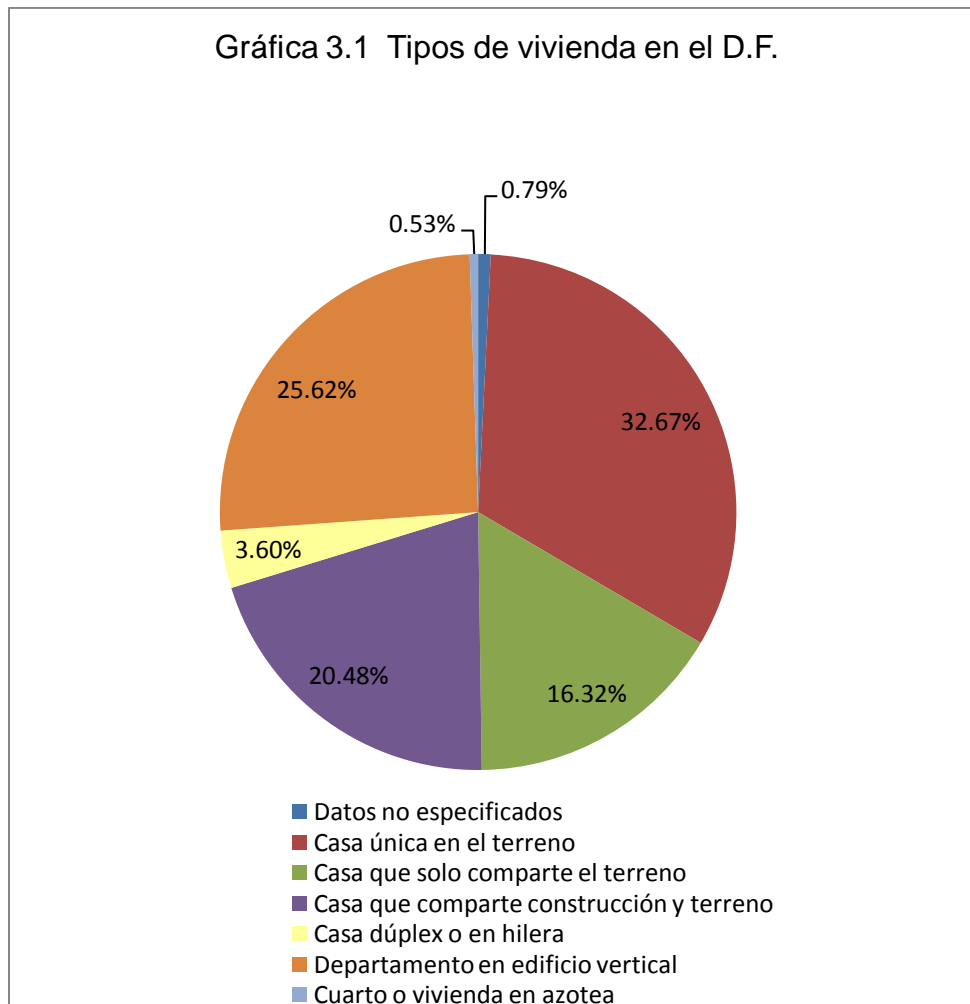
¹⁷ Gobierno del Distrito Federal. (2004). “Reglamento de Construcciones del Distrito Federal. México”. *Gaceta oficial del D.F.* 84pp.

¹⁸ Comisión Nacional de Vivienda (2008). Encuesta Nacional de Ingreso-Gasto de los Hogares (ENIGH) <http://sniiv1.conavi.gob.mx> (21 de mayo de 2012).

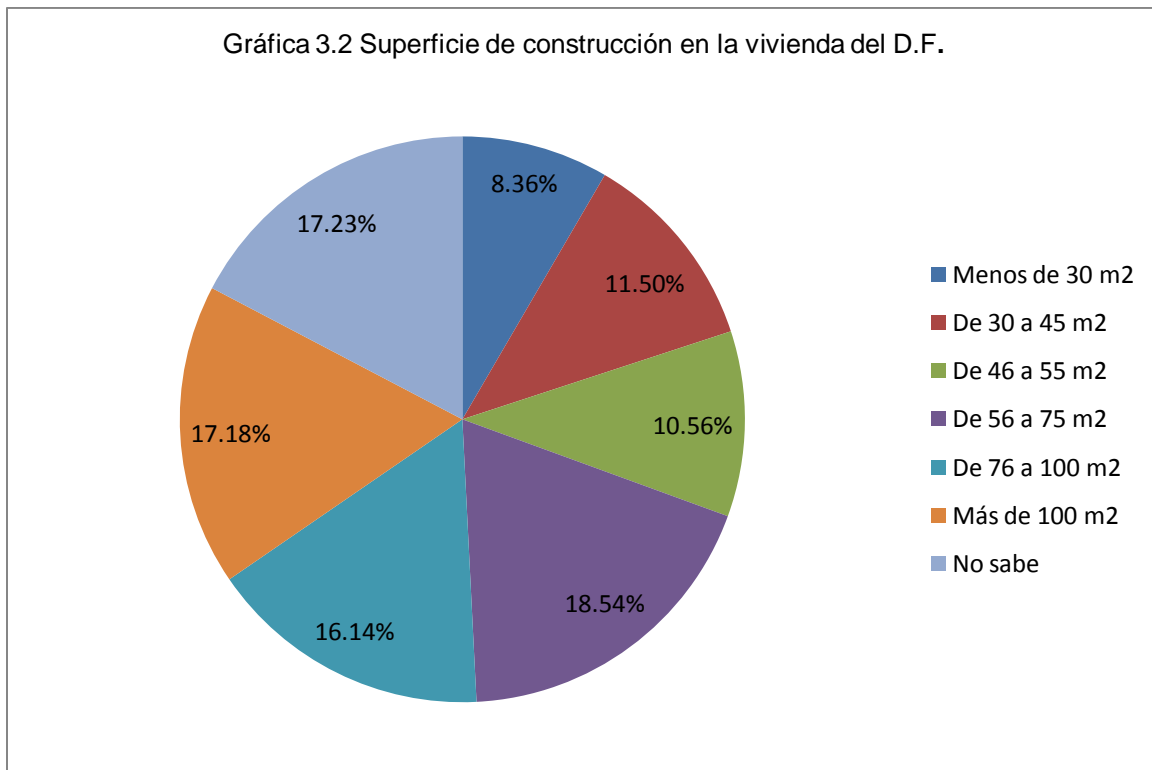
Tabla 3.2. Superficies y tipos de construcción en el Distrito Federal

Comisión Nacional de Vivienda								
RESULTADO DISTRITO FEDERAL								
		Superficie de construcción						
		Menos de 30 m ²	De 30 a 45 m ²	De 46 a 55 m ²	De 56 a 75 m ²	De 76 a 100 m ²	Más de 100 m ²	No sabe
Clase de vivienda particular	Datos no especificados	0	938	2,877	4,221	2,199	5,671	2,894
	Casa única en el terreno	25,163	51,954	45,922	118,683	167,781	247,909	124,168
	Casa que solo comparte el terreno	67,861	60,575	43,027	69,829	38,008	50,560	60,736
	Casa que comparte construcción y terreno	86,999	81,932	52,579	72,567	61,485	36,653	97,837
	Casa dúplex o en hilera	894	10,338	14,504	24,824	7,156	11,694	16,777
	Departamento en edificio vertical	24,444	67,297	93,665	152,751	109,537	58,527	106,676
	Cuarto o vivienda en azotea	6,524	2,136	0	756	0	0	3,152

Pero desglosando los datos de esta tabla se puede apreciar lo que muestran las gráficas 3.1 y 3.2

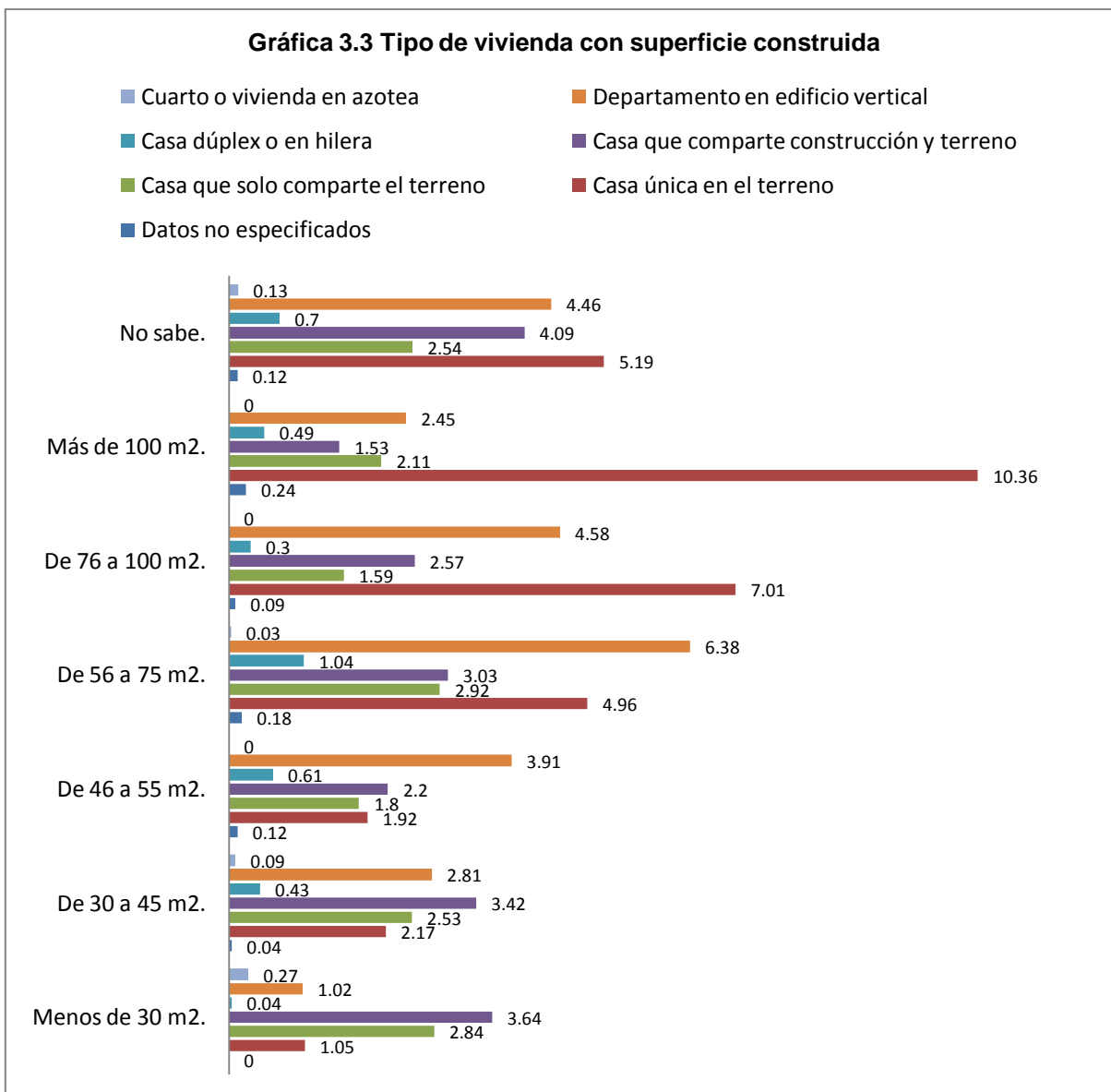


De la primera gráfica se puede extraer que en cuanto a los tipos de vivienda la que domina en el D.F. es la que se clasifica como única en el terreno, con casi un tercio de las 2'392,680 según la CONAVI hasta 2008, seguida de los departamentos en edificio vertical.



De la gráfica 3.2 se aprecia que la superficie que más predomina en la vivienda del D.F. es la que va de los 56 a los 75 m², le sigue la superficie con más de 100m² y la de los 76 a los 100 m².

Esto quiere decir que la superficie de nivel medio que considera el Reglamento de Construcciones del D.F. tiene un 33.32%, prácticamente un tercio del total, predominando en la ciudad; la vivienda popular abarca el 30.42% y la vivienda de nivel residencial tiene un 18.54%, el restante se desconoce, según la CONAVI en 2008.



Puntualizando, se observa que la casa única en el terreno con más de 100m² es la que predomina en el D.F., con un 10.36% del total de las viviendas; le sigue el mismo tipo de vivienda con una superficie de 56 a 75 m², con el 7.01% y finalmente el departamento en edificio vertical de 56 a 75 m², que tiene un 6.38%; estos tres rubros alcanzan casi un cuarto de las viviendas totales en el D.F.

Sobre esto se puede hacer una breve conclusión: la vivienda de nivel medio predomina, seguida de la popular y después la residencial, aunque solo se tomó

en cuenta el 80% de los datos, ya que el 20% restante son datos no especificados o no comprobados a ciencia cierta, como se aprecia en la tabla 3.1 aún domina la vivienda sola, que va desde nivel medio hasta residencial, aunque la multifamiliar como la casa dúplex o los departamentos en edificio cada vez han tenido más auge en la ciudad, así como es más frecuente que se demuelan casas solas para construir edificios para vivienda debido a las necesidades de la misma ciudad, que van desde lo social hasta lo económico. Este es un punto importante en la decisión de la instalación de un sistema de captación de agua de lluvia.

Teniendo estos parámetros, se empezará por realizar un estudio del agua total que puede captar cada superficie de acuerdo a la zona donde esté ubicada para determinar las diferencias entre cada una.

Tabla 3.3 Volumen de agua pluvial captada de acuerdo al área de captación y precipitación pluvial (l/año)

Área de captación	Precipitación pluvial (mm)										
	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
45	22500	27000	31500	36000	40500	45000	49500	54000	58500	63000	67500
50	25000	30000	35000	40000	45000	50000	55000	60000	65000	70000	75000
60	30000	36000	42000	48000	54000	60000	66000	72000	78000	84000	90000
70	35000	42000	49000	56000	63000	70000	77000	84000	91000	98000	105000
80	40000	48000	56000	64000	72000	80000	88000	96000	104000	112000	120000
90	45000	54000	63000	72000	81000	90000	99000	108000	117000	126000	135000
100	50000	60000	70000	80000	90000	100000	110000	120000	130000	140000	150000
120	60000	72000	84000	96000	108000	120000	132000	144000	156000	168000	180000

En la tabla se pueden apreciar las diferencias que existen entre los grandes extremos en cuanto a volumen de precipitación y superficies de captación, con respecto a las gráficas anteriores. Se observa cómo en una misma superficie de captación hay una gran diferencia del agua captada entre la zona donde llueve menos y la zona donde llueve más. Por ejemplo, en la superficie de 45 m² con una precipitación de 500mm se tiene un volumen de 22 500 l y con 1 500mm de captación se llega a los 67 500 l, la cantidad disponible es 3 veces más.

En cuanto a la superficie y precipitación mínimas que da un volumen de 22 500 l y la superficie y precipitación máxima con 180 000 l, existe gran diferencia, 8 veces más de una a otra, esto refleja que cada caso es diferente y no se deben aplicar los datos promedio de la ciudad para todos.

Sin embargo, la precipitación neta, que es la cantidad de agua de lluvia que queda a disposición para su utilización después de descontar el salpicamiento, la velocidad del viento, la evaporación, fricción y tamaño de la gota disminuye de acuerdo al tipo de material que se tendrá.

Este factor se conoce como coeficiente de escurrimiento de agua de lluvia y se tomará en cuenta de acuerdo al tipo de material que se tenga para determinar el volumen neto de agua recolectada, como se muestra en la tabla 3.3.

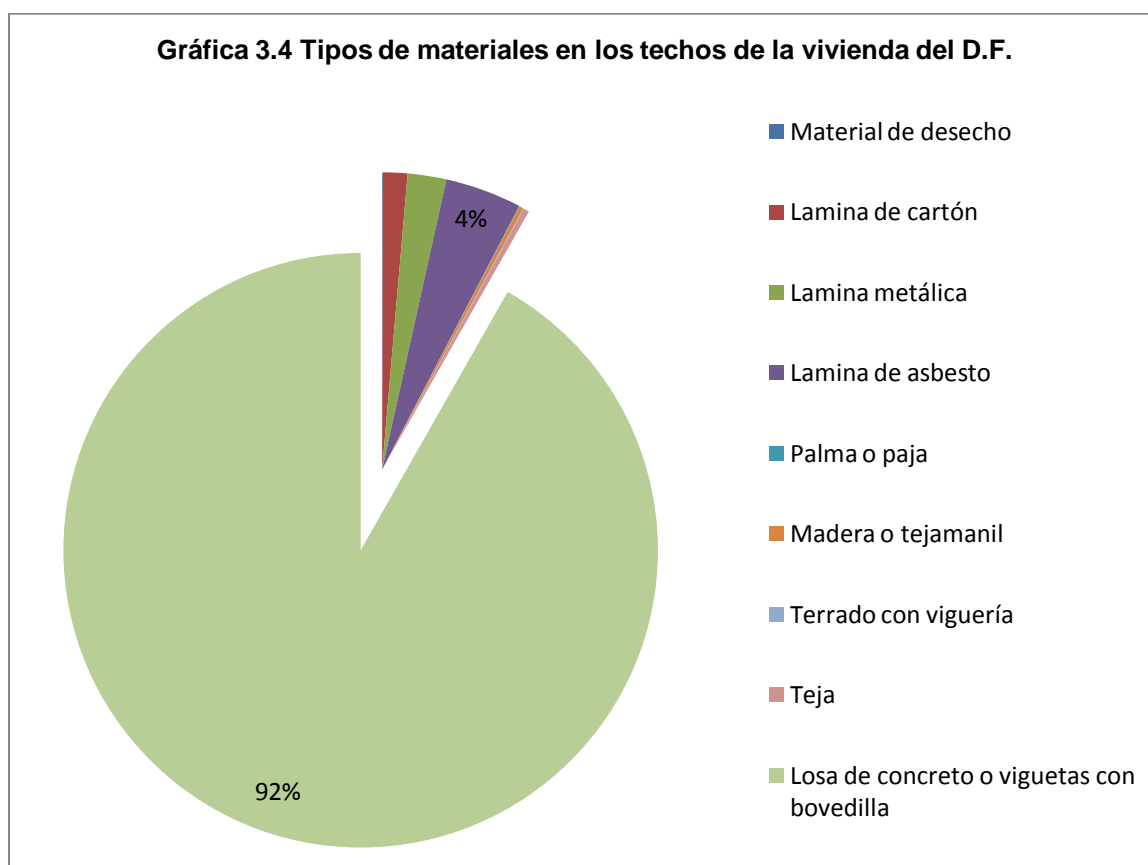
Tabla 3.4 Coeficientes de escurrimiento de los diferentes materiales de captación¹⁹

Tipo de superficie	Coeficiente
Captación en superficies superficiales	
Concreto	0.60 – 0.80
Pavimento	0.50 – 0.60
PVC	0.85 – 0.90
Azulejos y teja	0.80 – 0.90
Metal acanalado	0.70 -0 .90
Metal liso	>0.90
Asbesto	0.80 – 0.90
Material orgánico	<0.20
Captación en tierra	
Suelo con pendientes menores al 10%	0.0 – 0.30
Superficies naturales rocosas	0.20 – 0.50

¹⁹ Caballero T, (2007). *Captación de agua de lluvia y almacenamiento en tanques de ferrocemento*. Instituto Politécnico Nacional. México, pp125.

CIDECALLI. (2012). XVIII Diplomado internacional "Sistemas de Captación y Aprovechamiento del Agua de Lluvia (SCALL) para Consumo Humano, Producción en Traspatio, Ambientes Controlados, Agricultura de Temporal y Recarga de Acuíferos".

Ahora se muestra en la gráfica 3.4 los diferentes materiales de los techos de las viviendas en el D.F., para saber cuál es que predomina e identificarlo en la tabla anterior.



Según el Sistema Nacional de Información e Indicadores de Vivienda de la CONAVI²⁰, de las 2 392 680 viviendas en el D.F. el 92% tiene techo de concreto, todos los otros materiales tienen el 8% restante, esto da un panorama bastante claro del coeficiente de escurrimiento que se utilizará en esta ciudad.

²⁰ Comisión Nacional de Vivienda (2008). Encuesta Nacional de Ingreso-Gasto de los Hogares (ENIGH) <http://sniiv1.conavi.gob.mx> (18 de junio de 2012).

3.3 CONSUMO DE AGUA POR PERSONA

Ahora se obtendrá el volumen de agua requerido por persona en una vivienda, para lo cual se muestra una tabla, la cual tiene un rango desde 1 a 10 personas con los litros que requiere cada una de estas en un día, un mes y todo el año.

De acuerdo con el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, el volumen de agua que necesita una persona en un día es de 150 l²¹, y con ese volumen se calcula cualquier tipo de cisterna o tinaco en una vivienda. Este dato será de gran ayuda en el proceso metodológico que se propondrá.

Tabla 3.5 Volumen de agua requerida en un día, en un mes y en un año de acuerdo al número de habitantes de una casa

Litros requeridos por día	NÚMERO DE HABITANTES DE UNA CASA HABITACIÓN									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
150	150	300	450	600	750	900	1050	1200	1350	1500
Litros requeridos en un mes	4500	9000	13500	18000	22500	27000	31500	36000	40500	45000
Litros requeridos en un año	54750	109500	164250	219000	273750	328500	383250	438000	492750	547500

Este factor es muy importante, ya que siempre se tiene que definir cuántas personas harán uso del agua en la vivienda a estudiar. Esto debe puntualizarse porque siempre se trata de adivinar qué número de personas viven en una casa y si este dato es erróneo, el cálculo no será errado.

²¹ Gobierno del Distrito Federal. (2004). "Reglamento de Construcciones del Distrito Federal". México. *Gaceta oficial del D.F.* 84pp.

Es importante mencionar que el consumo de agua por persona al día se verificó de acuerdo a muestreos de gasto de agua en vivienda, en dos casos diferentes. Estos muestreos se realizaron durante 2 meses continuos y arrojaron un promedio de gastos por persona al día de 91.46 l/hab./día y se desglosarán más adelante.

3.4 CONSUMOS DE AGUA POR MUEBLE

El consumo de agua por persona depende del gasto que se tenga en cada mueble en una vivienda y este varía de acuerdo a los hábitos de una familia, el tipo de mueble y hasta la localización geográfica, por eso va cambiando en cada región.

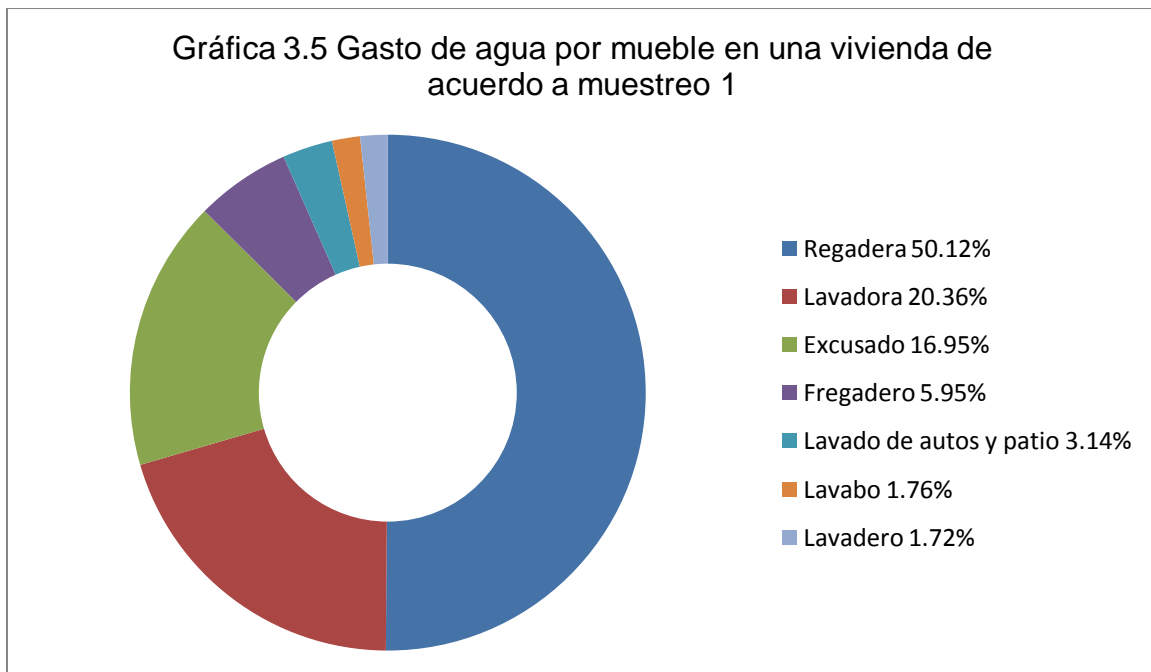
Se pondrá mucha atención en este punto ya que en realidad, aunque se tengan las mismas costumbres y tipo de mueble en viviendas diferentes, el gasto varía y no se tiene un parámetro exacto de este dato. A continuación se enlistan los gastos por mueble o salida que considera el Sistema de Aguas de la Ciudad de México.

- Regadera 40%
- Excusado 30%
- Lavadora 15%
- Fregadero y lavabo 10%
- Beber 5%

Para tener un parámetro más específico se optó por realizar dos muestreos para casos diferentes, los cuales arrojaron resultados que ayudarán para el proceso metodológico. Cabe mencionar que estos se realizaron en los dos tipos de vivienda que predominan en la ciudad de México.

El primer muestreo se realizó en un departamento de 78 m² de construcción, con una familia de 3 personas (padre, madre, hijo) ambos trabajan y por lo tanto sólo están por la mañana y por la tarde-noche. El departamento cuenta con 1 regadera, 2 lavabos, 2 excusados, 1 fregadero, 1 lavadero y 1 lavadora. El estudio se realizó en febrero y marzo, teniendo los siguientes resultados de acuerdo a los gastos de agua por cada salida hidráulica y actividades de la familia.

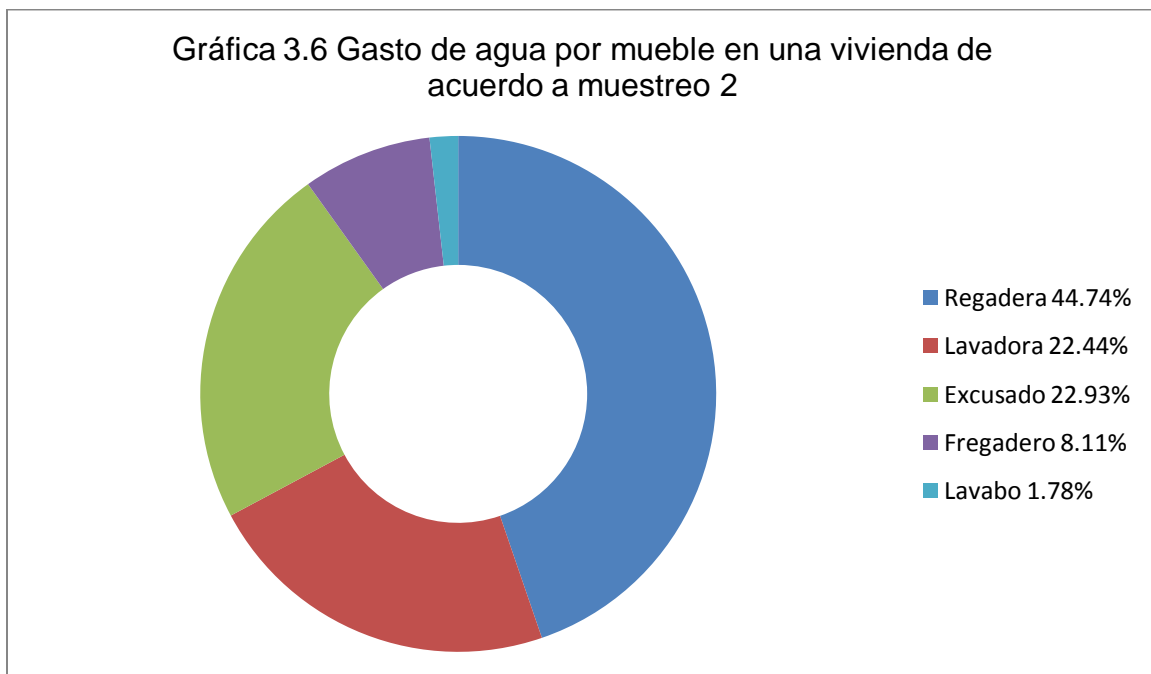
- Regadera 50.12%
- Lavadora 20.36%
- Excusado 16.95%
- Fregadero 5.95%
- Lavado de auto y patios 3.14%
- Lavabo 1.76%
- Lavadero 1.72%



El segundo muestreo se realizó en una casa única en el terreno con más de 100 m² de construcción, con una familia de 4 personas (padre, madre, hijo e hija

adolescentes), solo el padre trabaja, los dos hijos estudian y la madre está la mayor parte del día en la casa, la cual está ocupada todo el día presentando mayor gasto de agua en las tardes-noches. La casa cuenta con 1 regadera, 1 lavabo, 1 excusado, 1 fregadero, 1 lavadero y 1 lavadora. El estudio se realizó en abril y mayo, teniendo los siguientes resultados de acuerdo a los gastos de agua por cada salida hidráulica y actividades de la familia.

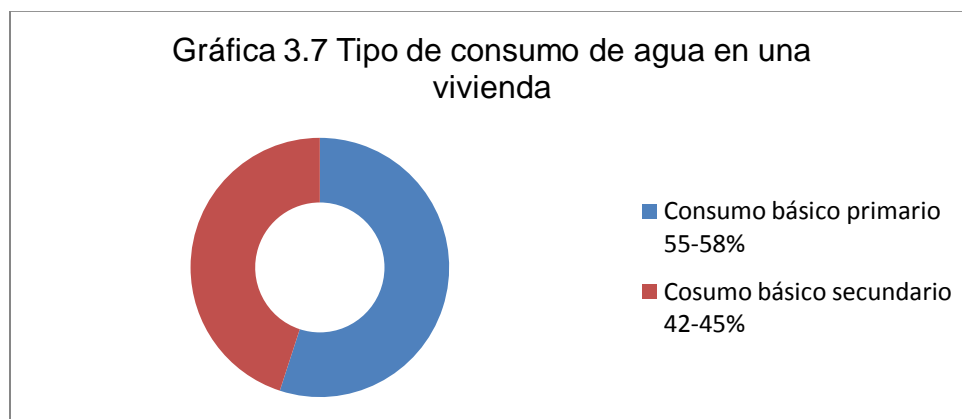
- Regadera 44.74%
- Lavadora 22.44%
- Excusado 22.93%
- Fregadero 8.11%
- Lavabo 1.78%



En este caso, el consumo del lavadero es prescindible porque prácticamente no se utiliza y el lavado de auto y patios cuando se llega a hacer se realiza con el agua drenada de la regadera, según las observaciones que se hicieron.

Las diferencias principales están en la regadera, el excusado y la lavadora, ya que interviene el tipo de los muebles, las costumbres y horarios de la familia. Así, se observa que en caso 2 el consumo es menor en regadera mientras que en lavadora, excusado y fregadero aumenta con respecto al caso 1.

Según los resultados, se tiene que entre los casos el consumo básico primario que incluye el aseo personal, regadera, lavabo y fregadero, va de un 55 a un 58%; mientras el consumo básico secundario que cubre los gastos de aseo de una vivienda, excusado, lavadora, lavadero y lavado de exteriores o patios, va de un 42 a un 45%



El estudio se realizó con 3 y 4 habitantes por vivienda porque, de acuerdo al censo de población y vivienda del 2010, en el Distrito Federal se contabilizaron 8 851 080 habitantes contra 2 388 534 hogares. Si se hace un promedio del número de habitantes que viven en un hogar en el D.F. se tiene que son 3.70 habitantes por vivienda u hogar. El mismo censo muestra que en el 58.9% de los hogares viven 2 personas o más.²²

Es importante recalcar que los gastos en cada caso son similares, pero a pesar de ello arrojarán diferentes resultados de acuerdo con los hábitos de cada familia, la rutina que se lleva, el tipo de mueble que se tiene y hasta la zona donde se ubique el caso de estudio.

²² Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2010). Censo Nacional de Población y Vivienda.

Cabe señalar que no se pretende tomar estos datos como prototipo universal ya que, se usaron para ilustrar la metodología propuesta para un caso específico, siempre será bueno estudiar cada caso, para tener un dato más certero.

Estos muestreos son de gran ayuda para ilustrar el proceso metodológico, ya que de acuerdo al nivel de precipitación y a la superficie de captación se definirá qué porcentaje del consumo total se puede cubrir con respecto al número de habitantes y se podrá definir si la instalación alimentará a uno, dos, tres muebles o más, con respecto a lo anterior.

3.5 PROPUESTA DEL DISEÑO DE CÁLCULO

De acuerdo con todos los datos obtenidos y analizados, se realizaron los cálculos para un ejemplo con el método propuesto, para lo cual se concentrará en una tabla la captación y el consumo conforme a los promedios de cada rubro en el Distrito Federal.

Para llevar a cabo este proceso se tomó en cuenta el comportamiento promedio de la lluvia por mes, también se integrará el área de captación de acuerdo a la superficie de construcción más frecuente en el D.F., así como el factor de escurrimiento del concreto, que es el tipo de techo que más viviendas tienen de acuerdo con la CONAVI,²³ y por último el promedio de habitantes por vivienda.

²³ Comisión Nacional de Vivienda (2008). Encuesta Nacional de Ingreso-Gasto de los Hogares (ENIGH) <http://sniiv1.conavi.gob.mx> (21 de mayo de 2012).

Tabla 3.6 Tabla de cálculo de una cisterna

Meses	Lts. de precipitación	Precipitación pluvial neta (porcentaje)	Factor de captación real (porcentaje)	Lts. de acuerdo a superficie de captación promedio	Lts. gastados en un mes de acuerdo al número de habitantes promedio
		0.85	0.80	100	4
Enero	9.00	7.65	0.00	0.00	18600.00
Febrero	7.00	5.95	0.00	0.00	16800.00
Marzo	12.00	10.20	0.00	0.00	18600.00
Abril	28.00	23.80	0.00	0.00	18000.00
Mayo	65.00	55.25	44.20	4420.00	18600.00
Junio	156.00	132.60	106.08	10608.00	18000.00
Julio	178.00	151.30	121.04	12104.00	18600.00
Agosto	175.00	148.75	119.00	11900.00	18600.00
Septiembre	146.00	124.10	99.28	9928.00	18000.00
Octubre	68.00	57.80	46.24	4624.00	18600.00
Noviembre	12.00	10.20	0.00	0.00	18000.00
Diciembre	7.00	5.95	0.00	0.00	18600.00
Totales	863.00	733.55	535.84	53584.00	219000.00

Obtención de datos:

- Litros de precipitación: promedio de precipitación pluvial en el D.F.
- Precipitación pluvial neta: de acuerdo con la metodología usada por el Dr. Manuel Anaya Garduño.²⁴
- Factor de captación real: de acuerdo al material de la superficie de captación, en este caso es el concreto. Los valores menores de 40 no se toman en cuenta
- Litros gastados en un mes: se consideró un gasto de **150 l/hab/día** de acuerdo a los datos del Reglamento de Construcciones del D.F.

Con los resultados obtenidos del ejemplo general se calcula el porcentaje de agua potable que puede ser reemplazada por agua de lluvia, esto es el agua de

²⁴ CIDECALLI. (2012). XVIII Diplomado internacional "Sistemas de Captación y Aprovechamiento del Agua de Lluvia (SCALL) para Consumo Humano, Producción en Traspatio, Ambientes Controlados, Agricultura de Temporal y Recarga de Acuíferos".

lluvia captada con respecto al consumo de acuerdo al número de habitantes promedio de una vivienda.

$$P_{ar} = ACA_{1año} / ACO_{1año}$$

Donde:

P_{ar} - Porcentaje de agua reemplazable.

$ACA_{1año}$ - Agua total captada anual.

$ACO_{1año}$ - Agua total consumida anual.

$$P_{ar} = 53684 / 219004 = 0.2451 = 0.25$$

Por lo tanto, el agua potable que se puede reemplazar por agua de lluvia en este ejemplo es del 25%, lo que podría cubrir hasta un 55% de las actividades básicas secundarias de una vivienda, si se toma en cuenta que estas representan alrededor del 45%, de acuerdo a la gráfica 3.7.

Como la premisa es aprovechar el 100% del agua de lluvia captada, se puede cubrir el 100% de los gastos de la lavadora, y aproximadamente un 30% del gasto del excusado, de acuerdo a los valores del SACM. Este aprovechamiento se refleja en la tabla 3.6, que integra el porcentaje que se puede cubrir con agua de lluvia.

Tabla 3.7 Porcentaje que se puede cubrir con el agua de lluvia

Meses	Lts. de precipitación	Agua captada neta de acuerdo a superficie de captación	Lts. gastados en un mes de acuerdo al número de habitantes promedio	Lts. reemplazados de acuerdo al porcentaje de agua captada.
		100	4	24.47%
Enero	9.00	0.00	18600.00	4550.97
Febrero	7.00	0.00	16800.00	4110.55
Marzo	12.00	0.00	18600.00	4550.97
Abril	28.00	0.00	18000.00	4404.16
Mayo	65.00	4420.00	18600.00	4550.97

Junio	156.00	10608.00	18000.00	4404.16
Julio	178.00	12104.00	18600.00	4550.97
Agosto	175.00	11900.00	18600.00	4550.97
Septiembre	146.00	9928.00	18000.00	4404.16
Octubre	68.00	4624.00	18600.00	4550.97
Noviembre	12.00	0.00	18000.00	4404.16
Diciembre	7.00	0.00	18600.00	4550.97
Totales	863.00	53584.00	219000.00	53584.00

Cálculo

Primer paso: comparar la captación contra el consumo para determinar dónde hay déficit y excedente de agua de lluvia.

Meses	Lts. de precipitación	Lts. de acuerdo a superficie de captación promedio	Lts. gastados en un mes de acuerdo al número de habitantes promedio	Lts. reemplazados de acuerdo al porcentaje de agua captada.		Comparativa de captación contra consumo.
		100	4	24.47%		
Enero	9.00	0.00	18600.00	4550.97	-4550.97	déficit
Febrero	7.00	0.00	16800.00	4110.55	-4110.55	déficit
Marzo	12.00	0.00	18600.00	4550.97	-4550.97	déficit
Abril	28.00	0.00	18000.00	4404.16	-4404.16	déficit
Mayo	65.00	4420.00	18600.00	4550.97	-130.97	déficit
Junio	156.00	10608.00	18000.00	4404.16	6203.84	excedente
Julio	178.00	12104.00	18600.00	4550.97	7553.03	excedente
Agosto	175.00	11900.00	18600.00	4550.97	7349.03	excedente
Septiembre	146.00	9928.00	18000.00	4404.16	5523.84	excedente
Octubre	68.00	4624.00	18600.00	4550.97	73.03	excedente
Noviembre	12.00	0.00	18000.00	4404.16	-4404.16	déficit
Diciembre	7.00	0.00	18600.00	4550.97	-4550.97	déficit
Totales	863.00	53584.00	219000.00	53584.00	0.00	

Como se puede observar, se tiene la misma cantidad de agua captada que de agua consumida, aunque el comportamiento de las lluvias hace difícil su almacenamiento, pero si se suma la cantidad total de déficit de agua y se compara con la suma de la cantidad total de excedente de agua se tiene que: si se

almacenara la lluvia en los meses donde se tiene abundancia, esta puede ser ocupada en los meses de sequía, aprovechando de esta manera el 100% de lo captado, de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 3.8 Diferencia entre déficit y excedente de agua en todos los meses

Meses	Lts. de precipitación	Lts. reemplazados de acuerdo al porcentaje de agua captada		Comparativa de captación contra consumo.	
		24.47%			
Enero	9.00	4550.97	-4550.97	suma del déficit de agua de lluvia	-26702.76
Febrero	7.00	4110.55	-4110.55		
Marzo	12.00	4550.97	-4550.97		
Abril	28.00	4404.16	-4404.16		
Mayo	65.00	4550.97	-130.97		
Noviembre	12.00	4404.16	-4404.16		
Diciembre	7.00	4550.97	-4550.97		
Junio	156.00	4404.16	6203.84	suma del excedente de agua de lluvia	26702.76
Julio	178.00	4550.97	7553.03		
Agosto	175.00	4550.97	7349.03		
Septiembre	146.00	4404.16	5523.84		
Octubre	68.00	4550.97	73.03		
Totales	863.00	53584.00			

Segundo paso: Sumar los meses donde se tiene excedente y restar el consumo de agua en esos mismos meses. En total son 5 meses donde hay más captación que consumo: junio, julio, agosto, septiembre y octubre.

$$\text{Cap. Cisterna} = \text{ATCA}_{\text{excedente}} - \text{ATCO}_{\text{excedente}}$$

donde:

$\text{ATCA}_{\text{excedente}}$ - Agua total captada en los meses de excedente.

$\text{ATCO}_{\text{excedente}}$ - Agua total consumida en los meses de excedente.

$$\begin{aligned} \text{Cap. Cist.} &= (10608+12104+11900+9928+4624) - \\ & (4404.16+4550.97+4550.97+4404.16+4550.97) \\ \text{Cap. Cist.} &= 49164 - 22461.23 = \mathbf{26702.76 \text{ L.}} \end{aligned}$$

Por lo tanto, el resultado para la capacidad de una cisterna en el ejemplo, tomando en cuenta parámetros generales del D.F. es de 26661 l, la cual se puede dimensionar con secciones de **3.65 m x 3.65 m x 2 m** con una cisterna hecha en obra o con 3 cisternas prefabricadas de 10000 l, con los costos analizados en el Capítulo 2 “Planteamiento” y se captará el agua de lluvia precipitada al 100%.

Sin embargo, este ejemplo fue analizado con datos promedio y como ya se mencionó, cada caso es único, por sus características. Por esta razón, el resultado que arroja el volumen de la cisterna no se debe utilizar como general para todo el D.F., simplemente fue un ejemplo para describir el proceso que lleva el diseño del cálculo que se debe aplicar en cada caso.

3.6 ESTUDIO DE CASO 1

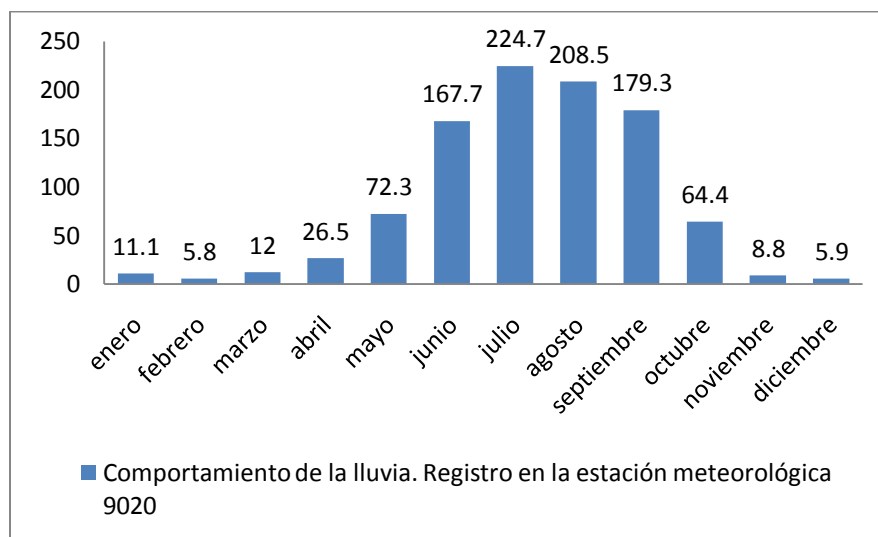
Para el estudio del caso 1 se encuentra en la franja que va de los 800 a 1000 mm por año, es un edificio de departamentos ubicado al sur de la ciudad, en la delegación Tlalpan. Este cuenta con una superficie de azoteas de 351.47m².

Se tiene que realizar un estudio de la precipitación anual total exacta de acuerdo a la estación meteorológica más cercana.

Para este caso se tomó en cuenta la precipitación de la zona y en particular la registrada en la Estación Meteorológica 9020 Desv. Alta al Pedregal, ubicada a una distancia aproximada de 2.8 Km²⁵

Se observaron los años registrados de 1970 a 2000 con los promedios que se dieron en ese periodo, quedando de la siguiente forma:

Gráfica 3.8 Comportamiento de la lluvia en la estación meteorológica 9020



²⁵ Comisión Nacional del Agua. (2012). Servicio Meteorológico Nacional. <http://smn.cna.gob.mx/emas/> (02 de mayo de 2012).

La superficie de captación es de 351.47 m² construida en concreto armado, por lo que se tomará en cuenta un factor de escurrimiento de 0.80. Son departamentos proyectados para 4 habitantes cada uno por lo que el total será de 80 habitantes.

Nota: el cálculo se realizará con 52 habitantes que es la cantidad real que habita en los 20 departamentos. Esto no afecta el volumen final de la cisterna pero si tiene variación en el porcentaje de agua que puede ser reemplazada por agua de lluvia. Este punto es muy importante, se debe tener la seguridad de los habitantes del número de usuarios que tendrán acceso al agua captada y usar el criterio en caso de no tener un dato exacto.

Con estos parámetros se calculará la cisterna de acuerdo a la tabla 3.9

Tabla 3.9 Tabla de cálculo de la cisterna del caso 1

Meses	Lts. de precipitación	Precipitación pluvial neta (porcentaje)	Factor de captación real (porcentaje)	Lts. de acuerdo a superficie de captación promedio	Lts. gastados en un mes de acuerdo al número de habitantes promedio
		0.85	0.80	351.47	52
Enero	11.10	9.44	0.00	0.00	147433.52
Febrero	5.80	4.93	0.00	0.00	133165.76
Marzo	12.00	10.20	0.00	0.00	147433.52
Abril	26.50	22.53	0.00	0.00	142677.60
Mayo	72.30	61.46	49.16	17279.67	147433.52
Junio	167.70	142.55	114.04	40080.23	142677.60
Julio	224.70	191.00	152.80	53703.21	147433.52
Agosto	208.50	177.23	141.78	49831.42	147433.52
Septiembre	179.30	152.41	121.92	42852.63	142677.60
Octubre	64.40	54.74	43.79	15391.57	147433.52
Noviembre	8.80	7.48	0.00	0.00	142677.60
Diciembre	5.90	5.02	0.00	0.00	147433.52
Totales	987.00	838.95	623.49	219138.73	1735910.80

Obtención de datos:

- Litros de precipitación: promedio de acuerdo a los datos de la estación meteorológica 9020 Desv. Alta al Pedregal.
- Precipitación pluvial neta: de acuerdo con la metodología usada por el Dr. Manuel Anaya Garduño.²⁶
- Factor de captación real: de acuerdo al material de la superficie de captación, en este caso es el concreto. Los valores menores de 40 no se toman en cuenta
- Litros gastados en un mes: se consideró un gasto de **91.46 l/hab/d** de acuerdo a los muestreos realizados.

Con los resultados obtenidos del caso 1 se obtiene el porcentaje de agua potable que puede ser reemplazada por agua de lluvia, esto es el agua de lluvia captada con respecto al consumo de acuerdo al número de habitantes.

$$P_{ar} = ACA_{1año} / ACO_{1año}$$

Donde

P_{ar} :- Porcentaje de agua reemplazable.

$ACA_{1año}$:- Agua total captada anual.

$ACO_{1año}$: Agua total consumida anual.

$$P_{ar} = 219\ 138.73 / 1\ 735\ 910.80 = 0.1262$$

Por lo tanto el agua potable que se puede reemplazar por agua de lluvia para el caso 1 es del **12.62%**, que es una cantidad para cubrir un 28% de las actividades básicas secundarias de una vivienda, de acuerdo con los consumos medidos durante el muestreo 1 que fue realizado en un departamento.

²⁶ CIDECALLI. (2012). XVIII Diplomado internacional "Sistemas de Captación y Aprovechamiento del Agua de Lluvia (SCALL) para Consumo Humano, Producción en Traspatio, Ambientes Controlados, Agricultura de Temporal y Recarga de Acuíferos".

- Regadera 50.12%
- Lavadora 20.36%
- Excusado 16.95%
- Fregadero 5.95%
- Lavado de auto y patios 3.14%
- Lavabo 1,76%
- Lavadero 1.72%

Puesto que una de las premisas es aprovechar el 100% del agua de lluvia captada, ésta agua puede cubrir el 75% del consumo de todos los excusados del conjunto; o cubrir el 100% del consumo en lavadero, lavado de autos, patio fregadero y lavabo.

Este aprovechamiento se refleja en la siguiente tabla, que integra el porcentaje que se puede cubrir con agua de lluvia.

Tabla 3.10 Porcentaje que se puede cubrir con el agua de lluvia

Meses	Lts. de precipitación	Agua captada neta de acuerdo a superficie de captación	Lts. gastados en un mes de acuerdo al número de habitantes promedio	Lts. reemplazados de acuerdo al porcentaje de agua captada.
		351.47	52	12.62%
Enero	11.10	0.00	147433.52	18611.78
Febrero	5.80	0.00	133165.76	16810.64
Marzo	12.00	0.00	147433.52	18611.78
Abril	26.50	0.00	142677.60	18011.40
Mayo	72.30	17279.67	147433.52	18611.78
Junio	167.70	40080.23	142677.60	18011.40
Julio	224.70	53703.21	147433.52	18611.78
Agosto	208.50	49831.42	147433.52	18611.78
Septiembre	179.30	42852.63	142677.60	18011.40
Octubre	64.40	15391.57	147433.52	18611.78
Noviembre	8.80	0.00	142677.60	18011.40
Diciembre	5.90	0.00	147433.52	18611.78
Totales	987.00	219138.73	1735910.80	219138.73

Cálculo

Primer paso: Comparar el volumen de captación de agua de lluvia con el consumo medido para determinar dónde hay déficit o excedente de suministro

Meses	Lts. de precipitación	Lts. de acuerdo a superficie de captación promedio	Lts. gastados en un mes de acuerdo al número de habitantes promedio	Lts. reemplazados de acuerdo al porcentaje de agua captada.		Comparativa de captación contra consumo.
		351.47	52	12.62%		
Enero	11.10	0.00	147433.52	18611.78	-18611.78	déficit
Febrero	5.80	0.00	133165.76	16810.64	-16810.64	déficit
Marzo	12.00	0.00	147433.52	18611.78	-18611.78	déficit
Abril	26.50	0.00	142677.60	18011.40	-18011.40	déficit
Mayo	72.30	17279.67	147433.52	18611.78	-1332.11	déficit
Junio	167.70	40080.23	142677.60	18011.40	22068.83	excedente
Julio	224.70	53703.21	147433.52	18611.78	35091.43	excedente
Agosto	208.50	49831.42	147433.52	18611.78	31219.63	excedente
Septiembre	179.30	42852.63	142677.60	18011.40	24841.23	excedente
Octubre	64.40	15391.57	147433.52	18611.78	-3220.21	déficit
Noviembre	8.80	0.00	142677.60	18011.40	-18011.40	déficit
Diciembre	5.90	0.00	147433.52	18611.78	-18611.78	déficit
Totales	987.00	219138.73	1735910.80	219138.73	0.00	

Como se puede apreciar en la Tabla No 3.10, se tiene la misma cantidad de agua captada que consumida, aunque el comportamiento heterogéneo de la lluvia hace difícil su almacenamiento, pero si se suma la cantidad total de déficit de agua y se compara con la suma de la cantidad total de superávit de agua se tiene que: si se almacenara la lluvia en los meses donde se tiene abundancia ésta puede ser ocupada durante los meses de sequía, aprovechando así el 100% de agua captada de acuerdo a la Tabla 3.11

Tabla 3.11 Diferencia entre déficit y excedente de agua en todos los meses

Meses	Lts. de precipitación	Lts. reemplazados de acuerdo al porcentaje de agua captada.		Comparativa de captación contra consumo.	
		12.62%			
Enero	11.10	18611.78	-18611.78	suma del déficit de agua de lluvia	-113221.12
Febrero	5.80	16810.64	-16810.64		
Marzo	12.00	18611.78	-18611.78		
Abril	26.50	18011.40	-18011.40		
Mayo	72.30	18611.78	-1332.11		
Octubre	167.70	18011.40	-3220.21		
Noviembre	224.70	18611.78	-18011.40		
Diciembre	208.50	18611.78	-18611.78	suma del excedente de agua de lluvia	113221.12
Junio	179.30	18011.40	22068.83		
Julio	64.40	18611.78	35091.43		
Agosto	8.80	18011.40	31219.63		
Septiembre	5.90	18611.78	24841.23		
Totales	987.00	219138.86			

Segundo paso: Sumar los meses donde se tiene excedente y restar el consumo de agua en esos mismos meses. En total son 4 meses donde hay más captación que consumo: junio, julio, agosto y septiembre.

$$\text{Cap. Cisterna.} = \text{ATCA}_{\text{excedente}} - \text{ATCO}_{\text{excedente}}$$

donde

$\text{ATCA}_{\text{excedente}}$: Agua total captada en los meses de excedente.

$\text{ATCO}_{\text{excedente}}$: Agua total consumida en los meses de excedente.

$$\text{Cap. Cist.} = (40080.23+53703.21+49831.42+42852.63)-(18011.40+18611.78+18011.4+18611.78)$$

$$\text{Cap. Cist.} = 186467.49 - 73246.37 = \mathbf{113221.12 \text{ L.}}$$

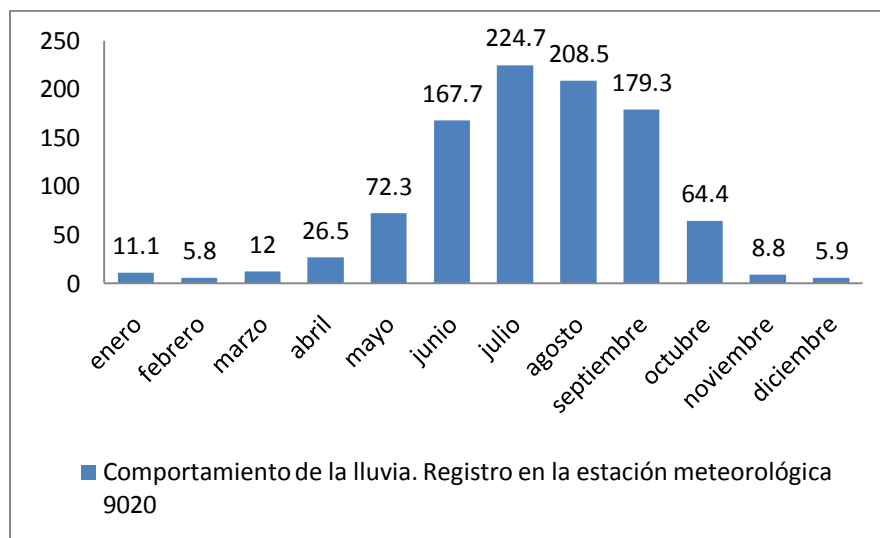
Por lo tanto, el resultado para la capacidad de una cisterna en el caso 1, tomando en cuenta todos los datos relacionados, es de 113 221 l, que podría dimensionarse con **7.50 x 7.50 x 2.00 m.**

3.7 ESTUDIO DE CASO 2

El estudio del caso 2 también se encuentra en la franja de precipitación pluvial que va de los 800 a 1000 mm por año, ya que es una vivienda particular ubicada en la misma delegación que el caso 1. La vivienda cuenta con una superficie de azoteas de 133.75m², y aloja 4 personas.

Dado que se tiene que realizar una estimación de acuerdo a la precipitación anual total exacta registrada para la estación meteorológica más cercana, se usaron los datos de la Estación Meteorológica 9020 Desv. Alta al Pedregal.²⁷ Se emplearon los datos de 1970 a 2000 usando los promedios mensuales para ese periodo, obteniendo los valores de la gráfica 3.9

Gráfica 3.9 Comportamiento de la lluvia en la estación meteorológica 9020



La superficie de captación es de 133.75 m² construida en concreto armado, por lo que se tomará en cuenta un factor de escurrimiento de 0.80 y se tienen 4 habitantes en la vivienda.

²⁷ Comisión Nacional del Agua, (2012). Servicio Meteorológico Nacional. <http://smn.cna.gob.mx/emas/> (02 de mayo de 2012).

Con estos parámetros se calculará la cisterna de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 3.12 Tabla de cálculo de la cisterna del caso 2

Meses	Lts. de precipitación	Precipitación pluvial neta (porcentaje)	Factor de captación real (porcentaje)	Lts. de acuerdo a superficie de captación promedio	Lts. gastados en un mes de acuerdo al número de habitantes promedio
		0.85	0.80	133.75	4
Enero	11.10	9.44	0.00	0.00	11341.04
Febrero	5.80	4.93	0.00	0.00	10243.52
Marzo	12.00	10.20	0.00	0.00	11341.04
Abril	26.50	22.53	0.00	0.00	10975.20
Mayo	72.30	61.46	49.16	6575.69	11341.04
Junio	167.70	142.55	114.04	15252.32	10975.20
Julio	224.70	191.00	152.80	20436.47	11341.04
Agosto	208.50	177.23	141.78	18963.08	11341.04
Septiembre	179.30	152.41	121.92	16307.34	10975.20
Octubre	64.40	54.74	43.79	5857.18	11341.04
Noviembre	8.80	7.48	0.00	0.00	10975.20
Diciembre	5.90	5.02	0.00	0.00	11341.04
Totales	987.00	838.95	623.49	83392.06	133531.60

Obtención de datos:

- Litros de precipitación: Promedio de acuerdo a los datos de la estación meteorológica 9020 Desv. Alta al Pedregal.
- Precipitación pluvial neta: De acuerdo con metodología propuesta por el Dr. Manuel Anaya Garduño.²⁸
- Factor de captación real: De acuerdo al material de la superficie de captación, en este caso es el concreto.
- Litros gastados en un mes: Se consideró un gasto de 91.46 l/hab/día, de acuerdo a los muestreos realizados en una vivienda.

²⁸ CIDECALLI. (2012). XVIII Diplomado internacional "Sistemas de Captación y Aprovechamiento del Agua de Lluvia (SCALL) para Consumo Humano, Producción en Traspatio, Ambientes Controlados, Agricultura de Temporal y Recarga de Acuíferos".

Con los resultados calculados del caso 2 se obtiene el porcentaje de agua potable que puede ser reemplazada por agua de lluvia, esto es el agua de lluvia captada con respecto al consumo de acuerdo al número de habitantes.

$$P_{ar} = ACA_{1año} / ACO_{1año}$$

Donde

P_{ar} : Porcentaje de agua reemplazable.

$ACA_{1año}$: Agua total captada anual.

$ACO_{1año}$: Agua total consumida anual.

$$P_{ar} = 83392.06 / 133531.60 = 0.6245.$$

Por lo tanto, el agua potable que se puede reemplazar por agua de lluvia en el caso 2 es del **62.45%**, y podría cubrir el 100% de las actividades básicas secundarias y hasta un 30% de las actividades básicas primarias de la vivienda, de acuerdo con los consumos resultantes del muestreo 2 realizado para una casa sola.

- Regadera 44.74%
- Lavadora 22.44%
- Excusado 22.93%
- Fregadero 8.11%
- Lavabo 1,78%.

Como la premisa es aprovechar el 100% del agua de lluvia captada, se puede cubrir el 100% del gasto del excusado y la lavadora sin ningún problema, y casi un 38% de la regadera o el total del gasto del fregadero y lavabo si se deseara.

Este aprovechamiento se refleja en la siguiente tabla que integra el porcentaje que se puede cubrir con agua de lluvia.

Tabla 3.13 Porcentaje que se puede cubrir con el agua de lluvia en el caso 2

Meses	Lts. de precipitación	Agua captada neta de acuerdo a superficie de captación	Lts. gastados en un mes de acuerdo al número de habitantes promedio	Lts. reemplazados de acuerdo al porcentaje de agua captada.
		133.75	4	62.45%
Enero	11.10	0.00	11341.04	7082.61
Febrero	5.80	0.00	10243.52	6397.20
Marzo	12.00	0.00	11341.04	7082.61
Abril	26.50	0.00	10975.20	6854.14
Mayo	72.30	6575.69	11341.04	7082.61
Junio	167.70	15252.32	10975.20	6854.14
Julio	224.70	20436.47	11341.04	7082.61
Agosto	208.50	18963.08	11341.04	7082.61
Septiembre	179.30	16307.34	10975.20	6854.14
Octubre	64.40	5857.18	11341.04	7082.61
Noviembre	8.80	0.00	10975.20	6854.14
Diciembre	5.90	0.00	11341.04	7082.61
Totales	987.00	83392.06	133531.60	83392.06

Cálculo

Primer paso: Comparar la captación contra el consumo para determinar dónde hay déficit y excedente de agua de lluvia.

Meses	Lts. de precipitación	Lts. de acuerdo a superficie de captación promedio	Lts. gastados en un mes de acuerdo al número de habitantes promedio	Lts. reemplazados de acuerdo al porcentaje de agua captada.		Comparativa de captación contra consumo.
		133.75	4	62.45%		
Enero	11.10	0.00	11341.04	7082.61	-7082.61	déficit
Febrero	5.80	0.00	10243.52	6397.20	-6397.20	déficit
Marzo	12.00	0.00	11341.04	7082.61	-7082.61	déficit
Abril	26.50	0.00	10975.20	6854.14	-6854.14	déficit
Mayo	72.30	6575.69	11341.04	7082.61	-506.93	déficit
Junio	167.70	15252.32	10975.20	6854.14	8398.17	excedente
Julio	224.70	20436.47	11341.04	7082.61	13353.85	excedente
Agosto	208.50	18963.08	11341.04	7082.61	11880.46	excedente
Septiembre	179.30	16307.34	10975.20	6854.14	9453.19	excedente
Octubre	64.40	5857.18	11341.04	7082.61	-1225.43	déficit

Noviembre	8.80	0.00	10975.20	6854.14	-6854.14	déficit
Diciembre	5.90	0.00	11341.04	7082.61	-7082.61	déficit
Totales	987.00	83392.06	133531.60	83392.06	0.00	

Como se puede apreciar se tiene la misma cantidad de agua captada que consumida, aunque el comportamiento de las lluvias hace necesario su almacenamiento. Si se suma la cantidad total de déficit de agua y se compara con la suma de la cantidad total de excedente de agua se tiene que: si se almacenara la lluvia en los meses donde se tiene abundancia esta puede ser ocupada en los meses de sequía, aprovechando de esta manera el 100% de lo captado, de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 3.14 Diferencia entre déficit y excedente de agua en todos los meses, en el caso 2

Meses	Lts. de precipitación	Lts. reemplazados de acuerdo al porcentaje de agua reemplazable.		Comparativa de captación contra consumo.	
		62.45%			
Enero	11.10	7082.61	-7082.61	suma del déficit de agua de lluvia	-43085.68
Febrero	5.80	6397.20	-6397.20		
Marzo	12.00	7082.61	-7082.61		
Abril	26.50	6854.14	-6854.14		
Octubre	72.30	7082.61	-506.93		
Noviembre	167.70	6854.14	-1225.43		
Diciembre	224.70	7082.61	-6854.14		
Mayo	208.50	7082.61	-7082.61	suma del excedente de agua de lluvia	43085.68
Junio	179.30	6854.14	8398.17		
Julio	64.40	7082.61	13353.85		
Agosto	8.80	6854.14	11880.46		
Septiembre	5.90	7082.61	9453.19		
Totales	987.00	83392.06			

Segundo paso: Sumar los meses donde se tiene superávit y restar el consumo de agua en esos mismos meses. En total son 4 meses donde hay más captación que consumo: junio, julio, agosto y septiembre.

$$\text{Cap. Cisterna.} = \text{ATCA}_{\text{excedente}} - \text{ATCO}_{\text{excedente}}$$

donde

$\text{ATCA}_{\text{excedente}}$: Agua total captada en los meses de superávit.

$\text{ATCO}_{\text{excedente}}$: Agua total consumida en los meses de superávit.

$$\text{Cap. Cist.} = (15252.32+20436.47+18963.08+16307.34)-(6854.14+7082.61+6854.14+7082.61)$$

$$\text{Cap. Cist.} = 70959.19 - 27873.51 = \mathbf{43085.68 \text{ L.}}$$

Por lo tanto, el resultado de la capacidad de la cisterna en el caso 2, tomando en cuenta todos los datos relacionados, es de 43085.68 l esto requiere una sección de aproximadamente 4.70 x 4.70 x 2.00 m para que funcione de manera correcta.

CONCLUSIONES

El empleo de agua de lluvia es importante en el Distrito Federal no sólo para asegurar el suministro de agua sino también para evitar las inundaciones urbanas. La metodología desarrollada pone en evidencia la necesidad de adaptar los diseños de captación y aprovechamiento de agua de lluvia a las condiciones locales.

Hasta el momento se han analizado dos casos que se escogieron porque son de los que predominan en el Distrito Federal, los cuales son casa sola y departamento en edificio vertical, y solo se han analizado los volúmenes de cisterna necesarios para el aprovechamiento total del agua captada.

Dejando de lado la factibilidad que se pueda tener en cuestión económica, se nota en principio que en el caso 1 el ahorro de agua sería de un 12% aproximadamente con una cisterna de 7.50 x 7.50 x 2.00 m, y en el caso 2 el ahorro sería de más del 62% con una cisterna de 4.70 x 4.70 x 2.00 m.

A simple vista, el caso 2 que es la casa sola es mucho más factible que el caso 1 debido al porcentaje de ahorro real, aunque se tiene que tomar en cuenta que en el caso 1 se captan más de 219 000 l al año y en el caso 2 apenas poco más de 83000 l, esto es más de 2.5 veces.

Si se toma en cuenta el gasto de 150 l/persona/día en el D.F., de acuerdo con lo establecido en el Reglamento de Construcciones del D.F., con los 219000 l ahorrados del primer caso se tendría la posibilidad de suministrar de agua a una persona durante 4 años sin restricciones, y con los 83 000 L del caso 2 se tendría la suficiente agua para abastecer a una persona durante 1.5 años.

También es importante mencionar que en los dos casos se dimensionó una cisterna sin ninguna restricción, esto es que se propuso de acuerdo a lo requerido por el cálculo para almacenar el 100%, pero es pertinente aclarar que los factores externos como son las áreas realmente disponibles en azoteas, los espacios que se tengan para los almacenamientos y los muebles que realmente se requieran abastecer de agua de lluvia, serán primordiales para el volumen total de los depósitos, pudiendo reducirse en gran medida por las limitantes que se tengan.

Con base en este análisis podría afirmarse que el sistema es factible, ya que el ahorro de agua es bastante. Sin embargo, los factores económico y técnico son primordiales para que se puedan llevar a cabo este tipo de instalaciones. El siguiente paso es realizar un cálculo de retorno de inversión de estos casos de acuerdo al costo para determinar qué tan factibles pueden llegar a ser y posteriormente hacer un análisis de acuerdo a las 7 franjas en las que se divide el D.F. en cuanto al comportamiento de lluvia con diferentes áreas de captación (vivienda de nivel bajo, medio y alto). Partiendo de lo anterior se podría definir en qué zona y con qué superficie de captación sería más viable económicamente la instalación del sistema, tomando en cuenta que porcentaje del agua total requerida puede ser reemplazada.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

En este capítulo se abordará el tema de las factibilidades técnicas y económicas del sistema de captación de agua de lluvia, se analizará el costo de inversión de los dos casos de estudio propuestos para determinar cuál es el tiempo del retorno y cuál será el costo beneficio a largo plazo, con lo que se puede definir si es o no viable su instalación y qué alternativas existen en caso de que no sean lo suficientemente factibles.

Teniendo estos resultados se realizará un estudio por zona de la Ciudad de México, de acuerdo con las 7 franjas de isoyetas que se tienen en la región, para determinar cuál es la zona de mayor viabilidad para la instalación del sistema de acuerdo a la superficie de captación (popular, media y alta) y al número de usuarios que se tendrán en una vivienda.

Con base en lo anterior se obtendrá una tabla definiendo las zonas y características de mayor y menor viabilidad, así como los beneficios y desventajas que se tendrían en el funcionamiento del sistema.

Por último, se hará una comparación del diseño planteado con el que usa el SACM y el CIDECALLI para comprobar su eficiencia y funcionamiento con respecto al comparado.

4.1 COSTOS

Los sistemas de captación de agua de lluvia se han utilizado para cubrir la necesidad de falta de agua en algunas regiones donde no se cuenta con agua potable y han demostrado ser de gran ayuda para las familias que carecen del servicio. Sin embargo, existe un gran inconveniente que hace que se pierda el interés por la captación de agua de lluvia: el costo que conlleva su puesta en marcha, ya que el costo del almacenamiento y los equipos de potabilización son altos.

A continuación se describe el proceso de instalación de un sistema de captación de agua de lluvia:

- Preparación de la superficie captadora de agua;
- Preparación o instalación del sistema de conducción de agua a cisterna;
- Construcción o instalación de cisterna (prefabricada o hecha en obra), que dependerá de las condiciones del lugar, tomando en cuenta en su caso excavación del terreno;
- Instalación del equipo potabilizador o purificador de acuerdo al uso final del agua;
- Instalación del sistema abastecedor a los muebles a los que llegará el agua.

Ahora se presenta la lista de precios unitarios, obtenida a partir de una investigación de mercado:

Tabla 4.1 Precios de cada concepto por unidad, en el proceso de captación de agua de lluvia

Concepto	Unidad	Costo x unidad
Superficie captadora	m ²	
Limpieza		\$10
Impermeabilización con geomembrana		\$200

Impermeabilización con material asfáltico		\$150
Sistema de conducción (PVC)	ml	
Limpieza y/o reparación		\$15
Suministro e instalación		\$80
Equipo potabilizador	pza.	\$40000
Almacenamiento	Cada 10000 L.	
Cisterna hecha en obra		\$25000
Cisterna prefabricada		\$15000
Sistema abastecedor	ml	
Tubería de cobre		\$180
Tubería de PVC hidráulico		\$120

4.2 TIEMPO DE RETORNO DE INVERSIÓN

Con estos precios se analizó el costo de inversión en los dos casos propuestos, resultando de esta manera lo siguiente:

Tabla 4.2 Costo de inversión, **Caso 1**. Departamento tipo vertical

Concepto	Unidad	Costo de unidad	x	Cantidad	Costo de inversión total
Superficie captadora	m ²				
Limpieza		\$10		351.47	\$3514.70
Sistema de conducción (PVC)	ml				
Suministro e instalación		\$80		60	\$4800
Equipo de filtración	pza.	\$10000		1	\$10000

Almacenamiento	Cada 10000			
	L			
Cisterna hecha en obra		\$25000	11.30	\$282500
Sistema abastecedor	ml			
Tubería de PVC hidráulico		\$120	40	\$4800
			Total	\$305614.70

El agua reemplazada en este caso es el 12% del total consumido, son 219138.86 l. Como se mencionó anteriormente, esta agua alcanzaría a abastecer a una persona por 4 años, teniendo en cuenta un gasto de 150 l/día, como lo indica el Reglamento de Construcciones del D.F., o a una persona por 6.5 años de acuerdo con los muestreos que se realizaron.

En el aspecto financiero, se tiene que cada departamento paga aproximadamente \$450 al bimestre por el servicio de agua potable, teniendo en cuenta que es una tarifa fija; lo que anualmente representa \$2 700. Para cubrir la inversión de \$305 614, cada departamento tendría que aportar \$15 280.70.

Si cada departamento cubriera los \$2700 anualmente como lo hacen en la actualidad con los recibos de agua, estarían pagando todo el sistema en 5.6 años aproximadamente; pero en este caso la tarifa es fija y seguirían pagando el mismo importe del recibo. Lo que convierte al sistema en poco factible en este caso, por no haber un beneficio económico a largo

Para promover el sistema se puede considerar la situación desde otro punto de vista. Si el agua que se captará cubre el 12% del total, entonces puede reemplazarse el total del agua que se utiliza para tomar y cocinar, que de acuerdo con el Sistema de Aguas de la Ciudad de México, es el 5% del total.

Para corroborar este porcentaje se realizó una encuesta entre los 20 departamentos que forman el conjunto habitacional, preguntando principalmente cada cuánto se compran garrafones de agua por familia, cada cuánto se consume

agua embotellada, cuántos miembros de la familia lo hacen y cuál es el costo de éstos. Todo esto para saber qué cantidad de agua se consume cada año únicamente para beber y cuánto se invierte en esta.

Como resultado se tendrá el gasto en ese consumo al año, pudiendo establecer el tiempo de retorno de inversión y costo beneficio, y saber qué tan factible será el sistema si el agua captada se usa para tomar y cocinar.

De acuerdo con la encuesta realizada a 18 de los 20 departamentos, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Gasto por departamento en garrafones en un mes - \$60
- Gasto por departamento en garrafones en un año - \$720
- Gasto en garrafones anualmente en todo el conjunto - **\$14400**

- Gasto en botellas de agua por departamento en un mes - \$120
- Gasto en botellas de agua por departamento en un año - \$1440
- Gasto en botellas de agua anualmente en todo el conjunto - **\$28800**

- Gasto en agua para tomar en el conjunto anualmente - **\$43200**

Con esto se obtiene el gasto de agua para tomar aproximado en litros anualmente en el conjunto – **12250 L** de acuerdo a encuesta.

Con lo anterior se regresa a la metodología de cálculo para saber qué área de captación y volumen de almacenamiento se requiere para esa cantidad de agua.

La superficie de captación saldrá de la división del consumo de agua anual entre la captación total anual por m^2 , de acuerdo a los factores, para determinar la captación real.

Entonces se tiene $A_{\text{captación}} = 12250 \text{ L}/624.29 \text{ L} = 19.62 \text{ m}^2$.

Con estos parámetros se calcula la cisterna de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 4.3 Tabla de cálculo de la cisterna para agua purificada del caso 1

Meses	Lts. de precipitación	Precipitación pluvial neta (porcentaje)	Factor de captación real (porcentaje)	Lts. de acuerdo a superficie de captación promedio	Lts. gastados en un mes de acuerdo al número de habitantes promedio
		0.85	0.80	19.65	52
Enero	11.10	9.44	0.00	0.00	147433.52
Febrero	5.80	4.93	0.00	0.00	133165.76
Marzo	12.00	10.20	0.00	0.00	147433.52
Abril	26.50	22.53	0.00	0.00	142677.60
Mayo	72.30	61.46	49.16	966.07	147433.52
Junio	167.70	142.55	114.04	2240.81	142677.60
Julio	224.70	191.00	152.80	3002.44	147433.52
Agosto	208.50	177.23	141.78	2785.98	147433.52
Septiembre	179.30	152.41	121.92	2395.81	142677.60
Octubre	64.40	54.74	43.79	860.51	147433.52
Noviembre	8.80	7.48	0.00	0.00	142677.60
Diciembre	5.90	5.02	0.00	0.00	147433.52
Totales	987.00	838.95	623.49	12251.62	1735910.80

Este aprovechamiento se refleja en la siguiente tabla, que integra el porcentaje que se puede cubrir con agua de lluvia:

Tabla 4.4 Porcentaje que se puede cubrir con el agua de lluvia en el caso 1, con la alternativa de agua purificada

Meses	Lts. de precipitación	Agua captada neta de acuerdo a superficie de captación	Lts. gastados en un mes de acuerdo al número de habitantes promedio	Lts. reemplazados de acuerdo al porcentaje de agua captada.
		19.65	52	0.71%
Enero	11.10	0.00	147433.52	1040.55
Febrero	5.80	0.00	133165.76	939.85

Marzo	12.00	0.00	147433.52	1040.55
Abril	26.50	0.00	142677.60	1006.98
Mayo	72.30	966.07	147433.52	1040.55
Junio	167.70	2240.81	142677.60	1006.98
Julio	224.70	3002.44	147433.52	1040.55
Agosto	208.50	2785.98	147433.52	1040.55
Septiembre	179.30	2395.81	142677.60	1006.98
Octubre	64.40	860.51	147433.52	1040.55
Noviembre	8.80	0.00	142677.60	1006.98
Diciembre	5.90	0.00	147433.52	1040.55
Totales	987.00	12251.62	1735910.80	12251.62

Tabla 4.5 Comparación de la captación contra el consumo para determinar donde hay déficit y excedente de agua de lluvia:

Meses	Lts. de precipitación	Lts. reemplazados de acuerdo al porcentaje de agua captada.		Comparativa de captación contra consumo.
		0.71%		
Enero	11.10	1040.55	-1040.55	suma del déficit de agua de lluvia
Febrero	5.80	939.85	-939.85	
Marzo	12.00	1040.55	-1040.55	
Abril	26.50	1006.98	-1006.98	
Mayo	72.30	1040.55	-74.48	
Octubre	167.70	1006.98	-180.04	
Noviembre	224.70	1040.55	-1006.98	
Diciembre	208.50	1040.55	-1040.55	
Junio	179.30	1006.98	1233.83	suma del excedente de agua de lluvia
Julio	64.40	1040.55	1961.89	
Agosto	8.80	1006.98	1745.43	
Septiembre	5.90	1040.55	1388.82	
Totales	987.00	12251.62		

En total son 4 meses en los que hay más captación que consumo: junio, julio, agosto y septiembre.

Cap. Cisterna. = $ATCA_{\text{excedente}} - ATCO_{\text{excedente}}$

donde

ATCA_{excedente} : Agua total captada en los meses de superávit.

ATCO_{excedente} : Agua total consumida en los meses de superávit.

$$\text{Cap. Cist.} = (2240.82+3002.44+2785.98+2395.81)-(1006.98+1040.65+1006.98+1040.55)$$

$$\text{Cap. Cist.} = 10425.05 - 4095.16 = \mathbf{6329.97 \text{ l.}}$$

Por lo tanto, el resultado para la capacidad de una cisterna en el caso 1, en caso que se capte agua para purificar y tomando en cuenta todos los datos relacionados, es de 6329.97 l. que podría dimensionarse con **2.00 x 2.00 x 1.53 m.**

Volviendo a revisar los costos para estos volúmenes, el cuadro resulta de la siguiente forma:

Tabla 4.6 Costo de inversión, Caso 1. Departamento vertical (con alternativa de agua purificada)

Concepto	Unidad	Costo unidad	x Cantidad	Costo de inversión total
Superficie captadora	m ²			
Limpieza		\$10	19.65	\$196.50
Sistema de conducción (PVC)	ml			
Suministro e instalación		\$80	60	\$4800
Equipo purificador	pza.	\$40000	1	\$40000
Almacenamiento	Cada 10000 L			
Cisterna prefabricada		\$15000	1	\$15000
Sistema abastecedor	ml			
Tubería de PVC hidráulico		\$120	40	\$4800
			Total	\$64796.50

Si el gasto en agua para beber en todo el conjunto es de \$43 200 y un sistema purificador de agua cuesta aproximadamente \$64 796, la inversión se absorbe en 1.50 años aproximadamente. Cada departamento estaría invirtiendo alrededor de \$3 240 contra unos \$2 160 que gastan en agua para beber anualmente, pudiendo tener agua purificada por tiempo indefinido. Queda por supuesto el reto de operar eficientemente el sistema para asegurar que el agua que se produzca sea siempre potable.

Caso 2: Con los datos que se obtuvieron del cálculo se integra la siguiente tabla, tomando en cuenta que se tiene una superficie captadora de 133.75 m² y un volumen de almacenamiento de 43085.68 l.

Tabla 4.7 Costo de inversión, Caso 2. Casa sola

Concepto	Unidad	Costo por unidad	x Cantidad	Costo de inversión total
Superficie captadora	m ²			
Limpieza		\$20	133.75	\$2675
Sistema de conducción (PVC)	ml			
Suministro e instalación		\$80	20	\$1600
Equipo potabilizador	pza.	\$20000	1	\$20000
Almacenamiento	Cada 10000 L			
Cisterna hecha en obra		\$25000	4.3	\$107500
Sistema abastecedor	ml			
Tubería de PVC hidráulico		\$120	20	\$2400
			Total	\$134175

En este caso se reemplaza el 62.45% del total consumido, pudiendo abastecer el 100% de las actividades básicas secundarias y hasta un 31% de las actividades básicas primarias de una vivienda.

El problema es la cisterna, ya que solo se cuenta con espacio para una cisterna de 20000 l, por lo que se vuelve a hacer el cálculo.

Para este caso se requiere realizar todo el procedimiento para obtener lo siguiente:

Tabla 4.8 Tabla de cálculo de la cisterna para agua potable en caso 2 (alternativa con cisterna de 20 000 L)

Meses	Lts. de precipitación	Precipitación pluvial neta (porcentaje)	Factor de captación real (porcentaje)	Lts. de acuerdo a superficie de captación promedio	Lts. gastados en un mes de acuerdo al número de habitantes promedio
		0.85	0.80	60.00	4
Enero	11.10	9.44	0.00	0.00	11341.04
Febrero	5.80	4.93	0.00	0.00	10243.52
Marzo	12.00	10.20	0.00	0.00	11341.04
Abril	26.50	22.53	0.00	0.00	10975.20
Mayo	72.30	61.46	49.16	2949.84	11341.04
Junio	167.70	142.55	114.04	6842.16	10975.20
Julio	224.70	191.00	152.80	9167.76	11341.04
Agosto	208.50	177.23	141.78	8506.80	11341.04
Septiembre	179.30	152.41	121.92	7315.44	10975.20
Octubre	64.40	54.74	43.79	2627.52	11341.04
Noviembre	8.80	7.48	0.00	0.00	10975.20
Diciembre	5.90	5.02	0.00	0.00	11341.04
Totales	987.00	838.95	623.49	37409.52	133531.60

Con los resultados calculados del caso 2 se obtiene el porcentaje de agua potable que puede ser reemplazada por agua de lluvia, esto es el agua de lluvia captada con respecto al consumo de acuerdo al número de habitantes.

$$P_{ar} = ACA_{1año} / ACO_{1año}$$

Dónde.

P_{ar} : Porcentaje de agua reemplazable.

$ACA_{1año}$: Agua total captada anual.

$ACO_{1\text{año}}$: Agua total consumida anual.

$$P_{ar} = 37409.52 / 133531.60 = 0.28$$

Por lo tanto, el agua potable que se puede reemplazar por agua de lluvia en el caso 2 es del **28%**, que podría cubrir el 61% de las actividades básicas secundarias, de acuerdo con los consumos resultantes del muestreo 2 realizado para una casa sola, pudiendo cubrir el 100% del consumo de la lavadora o del excusado todo el año. Este aprovechamiento se refleja en la siguiente tabla, que integra el porcentaje que se puede cubrir con agua de lluvia:

Tabla 4.9 Porcentaje que se puede cubrir con el agua de lluvia en el caso 2, con cisterna de 20 000 L

Meses	Lts. de precipitación	Agua captada neta de acuerdo a superficie de captación	Lts. gastados en un mes de acuerdo al número de habitantes promedio	Lts. reemplazados de acuerdo al porcentaje de agua captada.
		60	4	28.02%
Enero	11.10	0.00	11341.04	3177.25
Febrero	5.80	0.00	10243.52	2869.77
Marzo	12.00	0.00	11341.04	3177.25
Abril	26.50	0.00	10975.20	3074.76
Mayo	72.30	2949.84	11341.04	3177.25
Junio	167.70	6842.16	10975.20	3074.76
Julio	224.70	9167.76	11341.04	3177.25
Agosto	208.50	8506.80	11341.04	3177.25
Septiembre	179.30	7315.44	10975.20	3074.76
Octubre	64.40	2627.52	11341.04	3177.25
Noviembre	8.80	0.00	10975.20	3074.76
Diciembre	5.90	0.00	11341.04	3177.25
Totales	987.00	37409.52	133531.60	37409.52

Cálculo

Primer paso:

Tabla 4.10 y 4.11 Comparación de la captación contra el consumo para determinar dónde hay déficit y excedente de agua de lluvia.

Meses	Lts. de precipitación	Lts. de acuerdo a superficie de captación promedio	Lts. gastados en un mes de acuerdo al número de habitantes promedio	Lts. reemplazados de acuerdo al porcentaje de agua captada.		Comparativa de captación contra consumo.
		60	4	28.02%		
Enero	11.10	0.00	11341.04	3177.25	-3177.25	déficit
Febrero	5.80	0.00	10243.52	2869.77	-2869.77	déficit
Marzo	12.00	0.00	11341.04	3177.25	-3177.25	déficit
Abril	26.50	0.00	10975.20	3074.76	-3074.76	déficit
Mayo	72.30	2949.84	11341.04	3177.25	-227.41	déficit
Junio	167.70	6842.16	10975.20	3074.76	3767.40	superávit
Julio	224.70	9167.76	11341.04	3177.25	5990.51	superávit
Agosto	208.50	8506.80	11341.04	3177.25	5329.55	superávit
Septiembre	179.30	7315.44	10975.20	3074.76	4240.68	superávit
Octubre	64.40	2627.52	11341.04	3177.25	-549.73	déficit
Noviembre	8.80	0.00	10975.20	3074.76	-3074.76	déficit
Diciembre	5.90	0.00	11341.04	3177.25	-3177.25	déficit
Totales	987.00	37409.52	133531.60	37409.52	0.00	

Meses	Lts. de precipitación	Lts. reemplazados de acuerdo al porcentaje de agua reemplazable.		Comparativa de captación contra consumo.	
		28.02%			
Enero	11.10	3177.25	-3177.25	suma del déficit de agua de lluvia	-19328.16
Febrero	5.80	2869.77	-2869.77		
Marzo	12.00	3177.25	-3177.25		
Abril	26.50	3074.76	-3074.76		
Octubre	72.30	3177.25	-227.41		
Noviembre	167.70	3074.76	-549.73		
Diciembre	224.70	3177.25	-3074.76		
Mayo	208.50	3177.25	-3177.25	suma del excedente de agua de lluvia	19328.16
Junio	179.30	3074.76	3767.40		
Julio	64.40	3177.25	5990.51		
Agosto	8.80	3074.76	5329.55		
Septiembre	5.90	3177.25	4240.68		
Totales	987.00	37409.52			

Por lo tanto, el resultado de la capacidad de la cisterna en el caso 2, tomando en cuenta todos los datos relacionados, es de 19 328 l (20 m³) esto requiere una sección de aproximadamente 3.20 x 3.20 x 2.00 m y una superficie lista para captar agua de 60 m² para que funcione de manera correcta.

Tabla 4.12 Costo de inversión, Caso 2. Casa sola, con cisterna de 20 000 L

Concepto	Unidad	Costo unidad	x Cantidad	Costo de inversión total
Superficie captadora	m ²			
Limpieza		\$20	60	\$1200
Sistema de conducción (PVC)	ml			
Suministro e instalación		\$80	20	\$1600
Equipo potabilizador	pza.	\$20000	1	\$20000
Almacenamiento	Cada 10000 L			
Cisterna prefabricada		\$15000	2	\$30000
Sistema abastecedor	ml			
Tubería de PVC hidráulico		\$120	20	\$2400
			Total	\$55200

El pago bimestral de agua de esta vivienda es fijo a \$135, por lo que en un año se paga \$810. Si se instalara este sistema se estaría reemplazando un 28% o un 62% del total consumido, de acuerdo con las características de la cisterna, y aún así el pago bimestral sería el mismo.

Haciendo una proyección el costo beneficio se estaría reflejando en 68 años. Un beneficio extra que debe ser considerado es que esta colonia a menudo se queda sin agua y tiene que ser suministrada por tandeo. El sistema ayudaría a tener más de 37000 l garantizados en el año, esto corresponde a unos 101 l diarios, prácticamente lo que consume una persona, de acuerdo con las muestras realizadas. El costo de una pipa de agua en esta zona es \$1600, si bien es cierto que se proveen pipas sin costo la realidad es que los habitantes deben pagar para contar con el agua.

Según la familia aproximadamente cada dos meses tienen que comprar una pipa de 20 000 l, por la continua falta de agua potable. Esto suma \$9600 anuales que sumados a los \$810, se tienen \$10410 gastados anualmente.

Con este costo anual el costo beneficio se estaría reflejando en 5.3 años aproximadamente, que es totalmente contrastante con los 68 años resultantes anteriormente.

Con estos dos ejemplos se mostró claramente que las condiciones del lugar son las que van a regir y fundamentar cualquier cálculo. Cada caso presenta características diferentes que hacen único el diseño y no se debe tratar de realizar un prototipo en cuanto a dimensiones y equipos pero si en cuanto a planteamiento y desarrollo del cálculo para llegar a estos.

Las diferencias que los hacen únicos son las siguientes:

- En ambos casos se paga cuota fija actualmente por lo que es difícil tener un beneficio económico ya que seguirían pagando esta cuota aún teniendo captación de agua de lluvia.
- El caso 1 tiene suficiente área libre como para construir una cisterna de más de 10000 l aunque el sistema tarifario no hace factible la captación total de agua de lluvia, es por eso que se tendría que pensar en otra alternativa como captar el agua para un muebles en específico o para purificarla como se analizó anteriormente.
- El caso 2 tiene la dificultad de las limitantes del espacio y la cisterna se tiene que adaptar a dichas características y aunque el costo sea elevado la escasez de agua potable de forma continua hace factible la instalación para captación de agua pluvial.

4.3 FACTIBILIDAD ECONÓMICA POR ZONA EN EL D.F.

Como ya se mencionó en el Capítulo 2, existen 7 franjas diferentes de acuerdo con el comportamiento de la lluvia en el D.F., a partir de las que se presentan en la siguiente figura.

Figura 4.1 Comportamiento de la precipitación con respecto a isoyetas en el Distrito Federal.



De acuerdo con esta diferencia de precipitación pluvial se analizará la factibilidad que tiene cada zona para la utilización de un sistema de captación de agua de lluvia, tomado en cuenta la superficie de captación y el número de usuarios.

Para este análisis se tomará un rango para el costo por litro que va de los **\$2.70 a los \$3.10 en el almacenamiento**. Este valor se obtuvo a partir del costo total del sistema entre el volumen de la cisterna en los dos casos. Se consideró de esta manera ya que este elemento es el más caro una instalación de este tipo. Se debe tomar en cuenta que el costo es para agua potable solamente.

Se enlista cada zona con sus características principales, tomando en cuenta que ya se realizó el cálculo siguiendo la metodología expuesta anteriormente, y solo se muestran resultados finales.

Todos se calcularon con 4 personas, ya que es el promedio de habitantes por vivienda en el D.F. y es una cantidad que no afecta en el volumen del almacenamiento, más bien en el porcentaje de reemplazo de agua potable respecto al total.

También se tomó en cuenta los tres tipos de vivienda de acuerdo al Reglamento de Construcciones del D.F. (popular, media y residencial), por eso se establecieron las superficies de 50, 75 y 100 m² en cada franja.

Precipitación < a 600 mm anuales.

Estación meteorológica 9029.

Ubicación: Gustavo A. Madero.

Superficie captadora (m2)	Volumen del almacenamiento (L)	Porcentaje de reemplazo de agua (%)	Precio total (pesos)
50	8837	8%	\$27394
75	13331	12%	\$41326
100	17775	16%	\$55102

Precipitación 600-700 mm anuales.

Estación meteorológica 9007.

Ubicación: Col. Sevilla.

Superficie captadora (m2)	Volumen del almacenamiento (L)	Porcentaje de reemplazo de agua (%)	Precio total (pesos)
50	10116	9.23%	\$31359
75	15175	13.85%	\$47042
100	20233	18.46%	\$62722

Precipitación 700-800 mm anuales.

Estación meteorológica 9003.

Ubicación: Aquiles Serdán, Azcapotzalco.

Superficie captadora (m2)	Volumen del almacenamiento (L)	Porcentaje de reemplazo de agua (%)	Precio total (pesos)
50	12173	11.10%	\$37736
75	18260	16.66%	\$56606
100	24347	22.21%	\$75475

Precipitación 800-1000 mm anuales.

Estación meteorológica 9006.

Ubicación: Centro.

Superficie captadora (m2)	Volumen del almacenamiento (L)	Porcentaje de reemplazo de agua (%)	Precio total (pesos)
50	14910	13.33%	\$46221
75	22366	20%	\$69334
100	29821	26.67%	\$92445

Precipitación 1000-1200 mm anuales.

Estación meteorológica 9002.

Ubicación: Ajusco, Tlalpan.

Superficie captadora (m2)	Volumen del almacenamiento (L)	Porcentaje de reemplazo de agua (%)	Precio total (pesos)
50	17895	16.18%	\$55474
75	26843	22.27%	\$83213
100	35791	32.36%	\$110952

Precipitación 1200-1500 mm anuales.

Estación meteorológica 9019.

Ubicación: Desierto de los Leones.

Superficie captadora (m2)	Volumen del almacenamiento (L)	Porcentaje de reemplazo de agua (%)	Precio total (pesos)
50	20923	18.90%	\$55474
75	31384	28.35%	\$83213
100	41846	37.81%	\$110952

Estas tablas representan los 7 diferentes comportamiento de lluvia en el D.F., de menor a mayor volumen. Cabe recalcar que en este ejercicio se tomaron en cuenta los 150 L/hab./día, como lo describe el Reglamento de Construcciones para el D.F. Si este valor se sustituyera por los 91 L/hab./día que se obtuvieron de los muestreos realizados en la investigación, aumentaría considerablemente el porcentaje de ahorro de agua o reemplazo de agua potable, pero las dimensiones del almacenamiento quedarían igual, por lo que se puede hacer el ejercicio de las dos formas. Asimismo, se puede modificar el número de habitantes por vivienda, afectando directamente al mismo porcentaje de ahorro, pero siempre se mantendrá el mismo volumen de almacenamiento mientras se tenga la misma precipitación y área de captación.

Así en resumen, la diferencia de porcentaje de captación entre las zona de menor y mayor precipitación es de 8% a 18.90% en vivienda popular, de 12% a 28.35% en vivienda media y de 16% a 37.81% en vivienda tipo residencial, con costos que van de arriba de los \$27 000 a \$110 000 aproximadamente y litros captados desde los 18000 a los 219000 de franja a franja.

Esto puede dar un panorama general de los costos, porcentajes de captación, dimensiones requeridas y litros captados en cada zona del D.F. para poder realizar un planteamiento rápido pero siempre se deben verificar las condiciones del lugar antes de hacer un cálculo para que la instalación funcione de la mejor manera.

4.4 COMPARACIÓN CON OTROS SISTEMAS UTILIZADOS ACTUALMENTE

Se analizó el sistema de forma técnica y económica y se obtuvieron resultados, con los cuales se puede observar hasta qué punto puede o no ser factible en los dos aspectos. Pero para saber qué tan factible es respecto a otros sistemas se debe realizar una comparación para determinar su conveniencia.

Para esto se analizarán dos sistemas, los cuales se utilizan en la actualidad. El primero es un cálculo que pide el Sistema de Aguas de la Ciudad de México para la realización de sistemas de captación de agua de lluvias llamado “Sistema alternativo de reúso de agua de lluvia”, el cual avala cualquier instalación que se realice con esta guía. El segundo es un sistema que utiliza el CIDECALLI “Centro Internacional de Demostración y Captación en Aprovechamiento de Agua de Lluvia”, el cual ha impulsado proyectos de este tipo a nivel nacional e internacional. El centro es reconocido en el tema en el país y ha diseñado una metodología para calcular cualquier tipo de sistema de captación de agua pluvial.

En primer lugar se analizarán los dos métodos para obtener sus resultados y se compararán con el propuesto en esta investigación para determinar si es factible utilizarlo.

Se calculará para obtener el total de la captación anual, como se realizó en la metodología y se darán prioridad a las dimensiones de la cisterna por la importancia que tiene por su volumen y costo.

El ejemplo se realizará solo con el caso 1, analizado en el Capítulo 3, ya que no se considera necesario tomar en cuenta dos ejemplos para comprobar su eficiencia.

Primer análisis: Memoria de cálculo para aprobar un sistema de captación de agua de lluvias, por el SACM.

En este método se propone la siguiente fórmula para el volumen de la cisterna:

$$Q = 2.778 * C * I * A$$

Donde:

Q = gasto de agua pluvial (L/s)

2.778 = constante para conversión de unidades

C = coeficiente de escurrimiento

I = Intensidad de lluvia promedio (mm/hr.)

A = área de captación pluvial en (km²).

- El coeficiente de escurrimiento ya se tiene, y es el 80% o 0.80 porque se está utilizando concreto.
- La intensidad de lluvia que se pide y revisando los planos de isoyetas de intensidad de lluvia en el D.F. es de 50 mm/hr.
- El área de captación es de $351.47 \text{ m}^2 = 0.00035147 \text{ km}^2$

Entonces se tiene:

$$Q = 2.778 * 0.80 * 50 * 0.00035147 = 0.039 \text{ l/seg.}$$

Una vez teniendo el gasto pluvial, se obtiene la capacidad de almacenamiento:

$$V = Q * 3600$$

Donde:

Q = Gasto pluvial (lps)

3600 = Una hora de duración de tormenta (segundos)

Entonces se tiene:

$$V = 0.039 * 3600 = 140.57 \text{ m}^3.$$

Con esto se observa que se requiere una cisterna de **140.57 m³** o sea de unos 140 000 l, con secciones de 8.40 x 8.40 x 2.00 m aproximadamente.

Segundo análisis: Sistema utilizado por el CIDECALLI “Centro Internacional de Demostración y Captación en Aprovechamiento de Agua de Lluvia”

En este método la fórmula para determinar su volumen es:

$$V \text{ cisterna} = D_j * M_{\text{sequia}+2}$$

D_j = demanda mensual (m³/mes)

$M_{\text{sequia}+2}$ = meses con sequía más 2 (los meses con sequía son los que tienen una precipitación menor de 40 mm, en este caso son 6: enero, febrero, marzo, abril, noviembre y diciembre).

La demanda mensual se obtiene del resultado de la captación total neta anual, la cual es de 219138 l, calculada en el Capítulo 3; esto dividido entre los 365 días de año y el resultado multiplicado por el número de días que tenga el mes correspondiente. Con esto se tiene lo siguiente:

NORMALES CLIMATOLOGICAS 1961-1990

ESTADO DE: DISTRITO FEDERAL

ESTACION: 00009020 DESV. ALTA AL PEDREGAL

ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
PRECIPITACION TOTAL													
PRECIPITACIÓN (mm)	11.1	5.8	12	26.5	72.3	167.7	224.7	208.5	179.3	64.4	8.8	5.9	987.1
COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	
PRECIPITACIÓN NETA (mm)	7.54	3.94	8.16	18.02	49.16	114.04	152.80	141.78	121.92	43.79	5.98	4.01	671.96
PRECIPITACIÓN NETA (m3)					0.06	0.13	0.17	0.16	0.14	0.05			0.70
DEMANDA MENSUAL (m3)	18.64	16.83	18.64	18.03	18.64	18.03	18.64	18.64	18.03	18.64	18.03	18.64	219.14

Como se puede notar, la demanda total anual es la misma que la captación obtenida (219.14 m³).

Por lo tanto:

$$V \text{ cisterna} = 18.64 \text{ m}^3 \times (6+2) = 149.12 \text{ m}^3$$

Se tendría una sección aproximada de 8.60 x 8.60 x 2.00 m.

Con esos mismo valores, en el diseño propuesto en la presente tesis el volumen de cisterna que se requiere es de **113105.84 l**, que podría dimensionarse con **7.50 x 7.50 x 2.00 m**, lo que logra un ahorro posible para la construcción.

Los 113105 L son menores que los 140000 y los 149000 que se obtienen de los otros dos métodos, recalcando algunas diferencias.

Sistema propuesto por el SACM:

1. No toma en cuenta el volumen de la precipitación anual, sólo la intensidad.
2. No toma en cuenta los consumos que se puedan tener;
3. No toma en cuenta los factores de captación reales;
4. No se sabe para cuánto tiempo va a alcanzar el volumen recolectado;
5. Solo toma en cuenta la entrada de la lluvia pero no cómo va a ir disminuyendo el nivel de agua.

Sistema propuesto por el CIDECALLI:

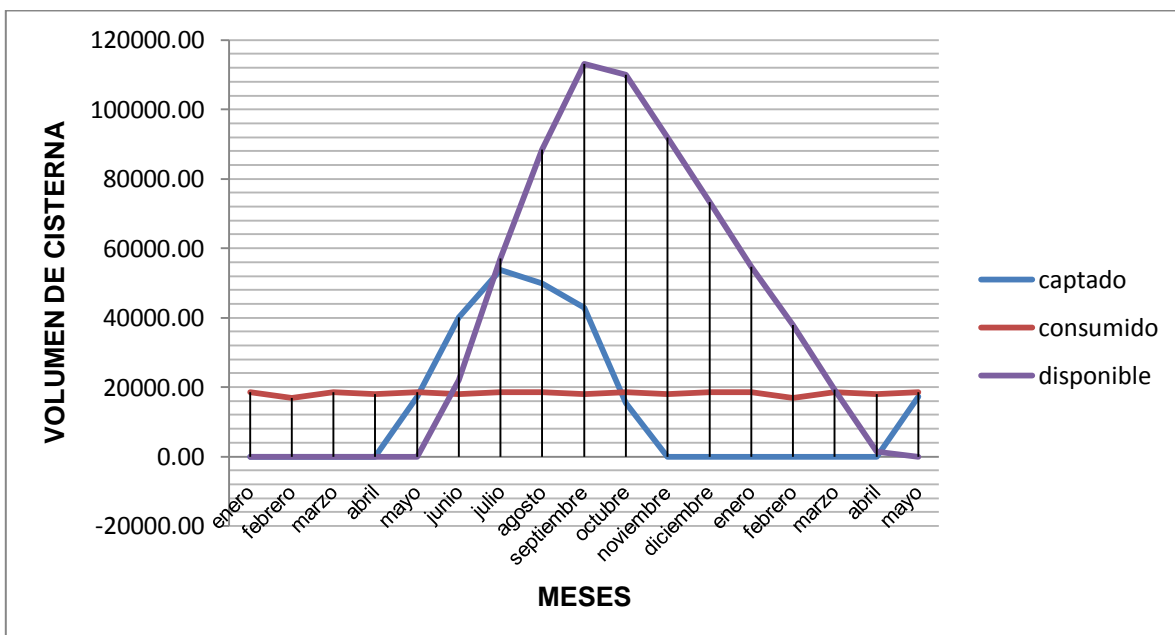
Es bastante semejante al sistema propuesto, ya que ambos toman en cuenta variables indispensables para el funcionamiento correcto del sistema. La diferencia básica radica en el volumen de la cisterna o almacenamiento.

En la propuesta de la tesis el almacenamiento es más eficiente simplemente por su tamaño, ya que con las mismas variables el resultado es un tanque más pequeño aproximadamente 36 m^3 , lo que lo hace más eficiente, principalmente en el costo.

Este volumen radica principalmente en que no es un sistema dinámico, no contempla entradas menos salidas, simplemente propone una cisterna que le pueda garantizar que nunca se va a llenar, por eso hace la suma de dos a los meses de sequía.

El sistema aquí propuesto se vuelve más eficiente y factible de instalar, ya que resulta dinámico al contemplar lo que entra menos lo que sale de la cisterna mes por mes, pudiendo ahorrar volumen y costo final, lo cual lo hace más atractivo.

A continuación se presenta una gráfica del comportamiento de los niveles de agua dentro de la cisterna mes por mes, donde se puede observar que en el mes con más precipitación puede llegar al 100% de su capacidad y en el mes más seco a un nivel mínimo, pero nunca se quedará sin agua, abasteciendo todo el año el agua recolectada desde la superficie de captación.



	captado	consumido	diferencia	disponible
enero	0.00	18611.78	-18611.78	0.00
febrero	0.00	16810.64	-16810.64	0.00
marzo	0.00	18611.78	-18611.78	0.00
abril	0.00	18011.40	-18011.40	0.00
mayo	17279.67	18611.78	-1332.11	0.00
junio	40080.23	18011.40	22068.83	22068.83
julio	53703.21	18611.78	35091.43	57160.26
agosto	49831.42	18611.78	31219.63	88379.89
septiembre	42852.63	18011.40	24841.23	113221.12
octubre	15391.57	18611.78	-3220.21	110000.91
noviembre	0.00	18011.40	-18011.40	91989.51
diciembre	0.00	18611.78	-18611.78	73377.72
enero	0.00	18611.78	-18611.78	54765.94
febrero	0.00	16810.64	-16810.64	37955.30
marzo	0.00	18611.78	-18611.78	19343.51
abril	0.00	18011.40	-18011.40	1332.11
mayo	17279.67	18611.78	-1332.11	0.00

De acuerdo con la gráfica, se puede observar claramente el comportamiento de los niveles del agua dentro de la cisterna que se propuso de aproximadamente 113 m³.

Se destaca lo siguiente:

1. La línea roja es el consumo de agua, el cual es prácticamente constante durante todo el año.
2. La línea azul es el volumen de agua captado. Este rubro permanece en nivel cero durante 6 meses, que es la época de estiaje y los otros seis meses, sube hasta llegar a un nivel máximo en julio. Otro aspecto importante que se observa es que del mes de junio al mes de septiembre, se tiene más cantidad de agua captada que consumida.
3. Finalmente, la línea morada indica el nivel de agua que queda disponible después de quitar el consumo a lo captado y agregarle el resto de agua que sobro del mes anterior.

Como se puede notar la disponibilidad de agua de lluvia llega al nivel mínimo o cero a finales de abril, aunque en mayo empieza a subir de nuevo el nivel de captación, empezando otra vez el ciclo del año anterior.

Otro aspecto importante es el nivel máximo de disponibilidad, el cual es de 113000 l. aproximadamente, el cual es igual a la capacidad de la cisterna, teniendo un sistema donde se habrán los mínimos sobrantes y faltantes, haciéndolo muy eficiente.

Con respecto a los otros dos diseños, con los cuales se comparó este, las cisternas quedan bastante sobradas, ya que no se consideran todos los factores necesarios para que el diseño resulte lo más completo posible.

CAPÍTULO 5. DISEÑO FINAL.

Con el diseño de cálculo terminado y los resultados que se dieron, se procederá a proponer el diseño técnico del sistema, el cual tendrá que apegarse en todo momento a las especificaciones de la metodología del cálculo y factores que intervinieron en el proceso.

Los elementos principales de una instalación de captación de agua de lluvia son:

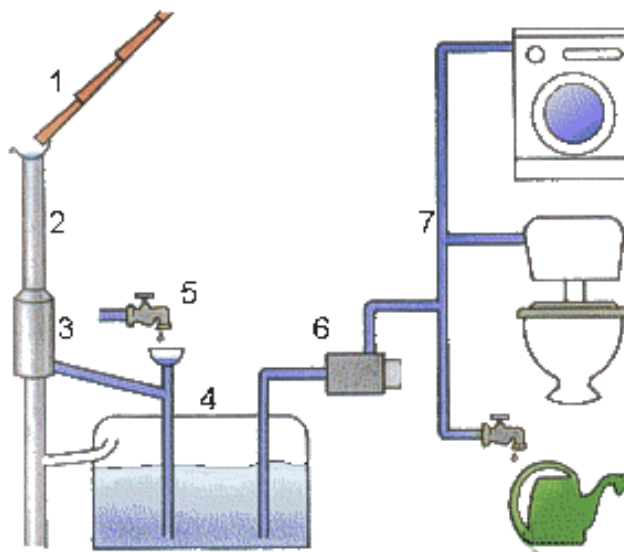
- Captación.
- Canalización.
- Almacenamiento.
- Filtración, potabilización o purificación.
- Distribución.

Estos 5 componentes se analizarán más a fondo en este capítulo, para tener una propuesta completa del sistema en los dos casos de estudio que se analizaron; teniendo en cuenta que todos son importantes para el funcionamiento de la instalación; el que se ha estado estudiando más hasta el momento en este documento ha sido la cisterna, ya que su volumen y alto costo, con respecto a los demás así lo requieren.

5.1 ESQUEMA GENERAL.

Ya se mencionaron los componentes principales de un sistema de captación de agua de lluvia, antes de describir cada uno y terminar con un diseño final de cada caso de estudio que se analizó, se mostrará un esquema general de estos y su funcionamiento, para tomarlo de base para cualquier instalación de este tipo.

Figura 5.1 Esquema general del funcionamiento de un sistema de captación de agua de lluvia



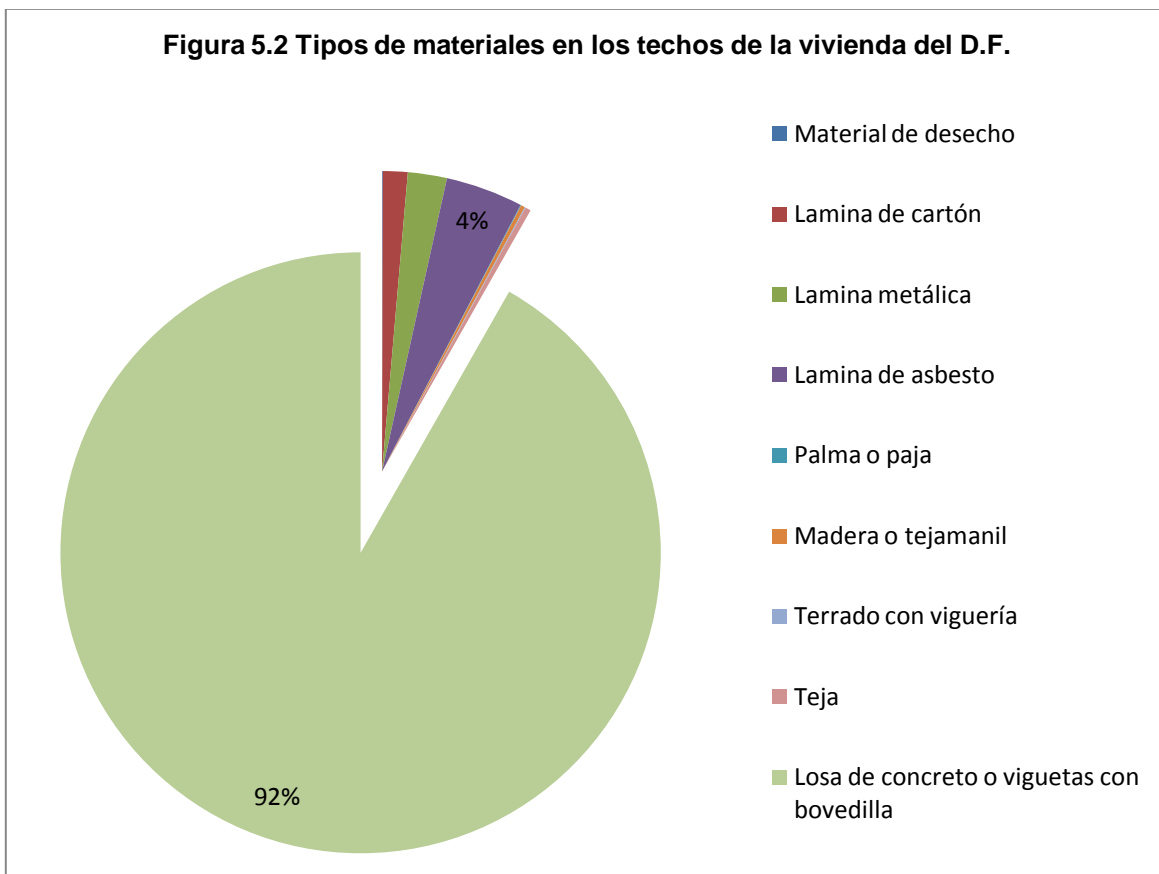
Fuente: <http://www.casasrestauradas.com/reutilizar-el-agua-de-lluvia/>

Existen múltiples sistemas combinados que permiten su uso con la posibilidad de comunicar automáticamente con la red de agua potable, de este modo, si el depósito de agua de lluvia se vaciara se llenaría con agua potable de la toma domiciliaria.

1. Superficie de captación.

El área de captación es la primer superficie que toca la lluvia después de precipitarse, generalmente son los techos o azoteas de las viviendas o de cualquier construcción.

En la ciudad de México las azoteas que más abundan son las de concreto armado con un 92%, de acuerdo al Sistema Nacional de Información e Indicadores de Vivienda de la CONAVI²⁹



²⁹ Comisión Nacional de Vivienda (2008). Encuesta Nacional de Ingreso-Gasto de los Hogares (ENIGH) <http://sniiv1.conavi.gob.mx> (18 de junio de 2012).

Es importante que los materiales con que están construidas las superficies de captación no desprendan olores, colores y sustancias que puedan contaminar el agua pluvial o alterar la eficiencia del sistema.

Asimismo, como ya se mencionó, de acuerdo al material será la efectividad del escurrimiento y porcentaje de agua obtenida para su uso, así el PVC o el metal liso son los que más eficiencia de escurrimiento tienen y los materiales orgánicos los que menos, de acuerdo a la tabla 3.4 del capítulo 3.

2. Canalización.

Este subsistema se refiere al conjunto de canaletas o tubos, que conducen el agua de lluvia del área de captación al sistema de almacenamiento, a través de ellos. Pueden ser de diferentes materiales, siendo los más comunes los de PVC.

En los sistemas vistos se utilizan canaletas instaladas a los bordes perimetrales del techo, para después mandar el líquido por una canalización vertical. Aunque en construcciones ya hechas a nivel urbano, como la ciudad de México, los mismos techos tienen pendiente hacia una bajada de aguas pluviales. En este caso se respetaría esa pendiente y bajada, a excepción que esta última también recoja las aguas negras de otros muebles dentro de la vivienda.

De ser así se tomaría la decisión de instalar otra tubería vertical, con la misma entrada, para evitar la contaminación del agua captada en la superficie o azotea.

Es recomendable que se coloque una malla o filtro antes de entrar a la canaleta o tubo, para evitar la entrada de basura, elementos orgánicos como hojas o sólidos y así prevenir la obstrucción del flujo de la tubería. Asimismo es importante realizar labores de limpieza constante en las superficies de captación.

Otro aspecto importante es la instalación de una doble válvula que servirá para drenar el agua de las primeras lluvias y así poder lavar la tubería sin que esta llegue al almacenamiento

3. Filtración sencilla.

Es la parte encargada de la separación de sólidos del líquido, en el que están suspendidos. Estos pasan a través de un medio poroso (filtro) y por el que el líquido puede fluir fácilmente.

Cuando el agua de lluvia es captada de los techos se debe instalar un tanque, para almacenar temporalmente las primeras lluvias contaminadas por basura, hojas o polvo.

Puede ir de lo más sencillo como es un bote con una malla hasta un sedimentador o la instalación de un filtro de sedimentos.

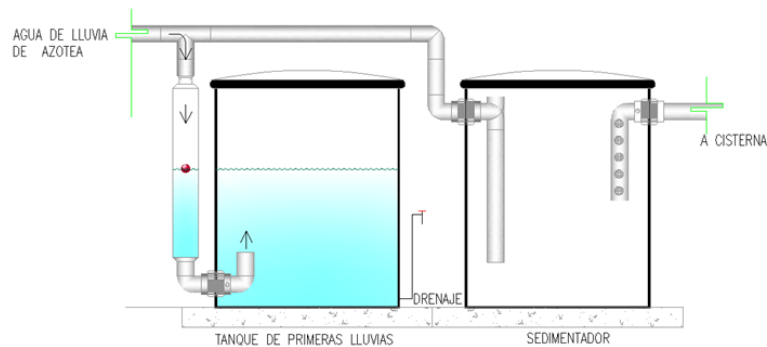


Diagrama de interceptor tipo "T" de primeras lluvias y sedimentador para Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL) en superficies mayores a 150 m²

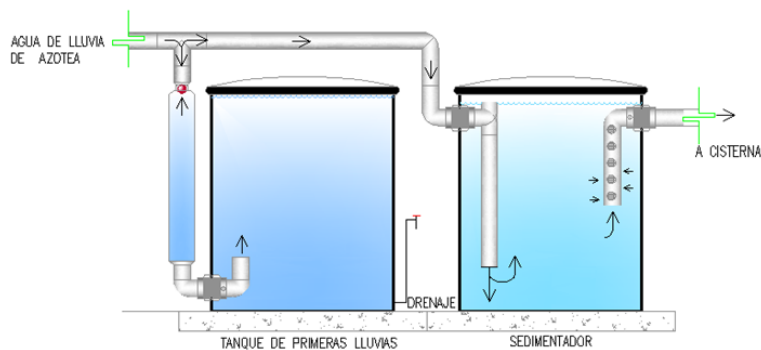


Figura 5.3 Esquema de sedimentador



Figura 5.4 Filtro de sedimentos

4. Depósito o almacenamiento.

Consiste en almacenar el agua de lluvia dentro de un depósito, para posteriormente abastecer a una población determinada. Pueden ir subterráneos o superficiales, dependiendo de las condiciones del lugar, y su capacidad puede variar también de acuerdo a las necesidades del usuario.

Los materiales con que se fabrican pueden variar, pueden ser de tabique, geomembrana impermeable (PVC), polietileno o concreto, esta última puede ser prefabricada o hecha en obra.

Cisterna de tabique: se utilizan más a nivel rural, son de baja flexibilidad, ya que no soportan movimiento sísmicos. En dimensiones mayores resultan muy costosas; necesita estructura de concreto para soporte.

Figura 5.5 Cisterna de tabique



Cisterna con revestimiento de geomembrana: este tipo de cisterna es muy impermeable, son muy fáciles de instalar, tienen mucha elasticidad con una elongación de hasta el 200% y resistencia al punzonamiento, y son bastante económicas. Es mas difícil de instalarla en terrenos blandos, ya que no resiste las paredes y se tienen que considerar los taludes.

Figura 5.6 Cisterna con geomembrana



Cisterna de polietileno: son de las más utilizadas, ya que se venden listas para instalar, varían en forma, tamaño y color. Pueden instalarse superficialmente o subterráneas, son fáciles de transportar e instalar, durables, flexibles. La desventaja es que ya tienen una capacidad determinada, pudiendo no ajustarse a las necesidades de capacidad requerida

Figura 5.7 Cisterna de polietileno



Cisterna de concreto hecha en obra: tiene un largo proceso de construcción por las características del material, requiere de impermeabilización, son las más costosas. La calidad del agua almacenada depende de los acabados con que se recubran. Su ventaja es que pueden quedar con las dimensiones que más favorezcan a las condiciones del espacio y el usuario.

Figura 5.8 Cisterna de concreto armado hecho en obra



Cisterna de concreto prefabricada: generalmente son de dimensiones pequeñas, por la complejidad al transportarlas, requieren los mismos cuidados que la hecha en obra, aunque su mantenimiento es menor.

Figura 5.9 Cisterna de concreto prefabricado



5. Llenado alterno.

Es una tubería alterna que llega a la cisterna para suministrar agua en caso de esta llegue a su punto mínimo y se termine. Es muy importante para que siempre se tenga disponible agua de la cisterna de agua de lluvia.

6. Potabilización o purificación.

La calidad de agua que se requiera en una vivienda o para una familia varían de acuerdo a sus necesidades económicas y de espacio, por lo que este punto se divide en dos partes, la potabilización y la purificación.

De acuerdo a esto se sigue un proceso en el que se llega a la calidad de agua deseada; de forma general se enlistan los siguientes pasos del proceso:

- Filtración: filtración real de sólidos, sedimentos, tierra, lodo o arcilla que venga de la cisterna.
- Cloración: elimina la mayor parte de las bacterias, hongos, virus, esporas y algas presentes en el agua.
- Carbón activado: elimina sabores y olores, de productos químicos que pueda tener el agua como pesticidas, hierbidas, hidrocarburos, etc.
- Pulidor: su función es detener las impurezas pequeñas, haciendo pasar el agua por un pulidor de hasta 5 micras.
- Suavización: se eliminan los minerales disueltos que se tengan en forma de iones de calcio, magnesio o hierro. En este nivel se disminuyen las sales disueltas en el agua.
- Osmosis inversa: es la separación de componentes orgánicos e inorgánicos del agua por el uso de presión ejercida en una membrana semipermeable que es mayor que la presión osmótica de la solución.
- Luz ultravioleta: funciona como destructor de bacterias, virus, algas y esporas, obteniéndose un producto libre de gérmenes vivos.

- Ozonificación. Elimina los microorganismos, además de oxidar metales, los cuales pueden ser filtrados y eliminados del agua.

En general estos procesos se presentan en una purificación; la potabilización comúnmente llega hasta la etapa de cloración, ya que no será ingerida el agua tratada.

7. Distribución.

Es el conjunto de tuberías que hacen llegar el agua ya potabilizada o purificada a su destino final, ya sea para riego, actividades secundarias dentro de la vivienda (excusado, lavadora o lavadero), actividades primarias (regadera, lavabo, fregadero) o para ingerirla directamente.

Puede ser de diferentes materiales, principalmente de cobre o PVC hidráulico puede ir visible u oculto de acuerdo a las condiciones que se tengan.

Hay que tomar en cuenta que casi en todos los caso se requerirá de un equipo de bombeo para extraer y mandar el agua por la tubería de distribución con la suficiente presión. Para ello se requerirá de una bomba adecuada que tenga la potencia necesaria.

5.2 Diseño final caso 1.

En esta sección se asentarán datos finales de cada etapa del sistema de acuerdo a los resultados de la metodología, analizada en el capítulo 3, con respecto al caso 1.

Figura 5.10 Superficie con capacidad captadora del caso 1

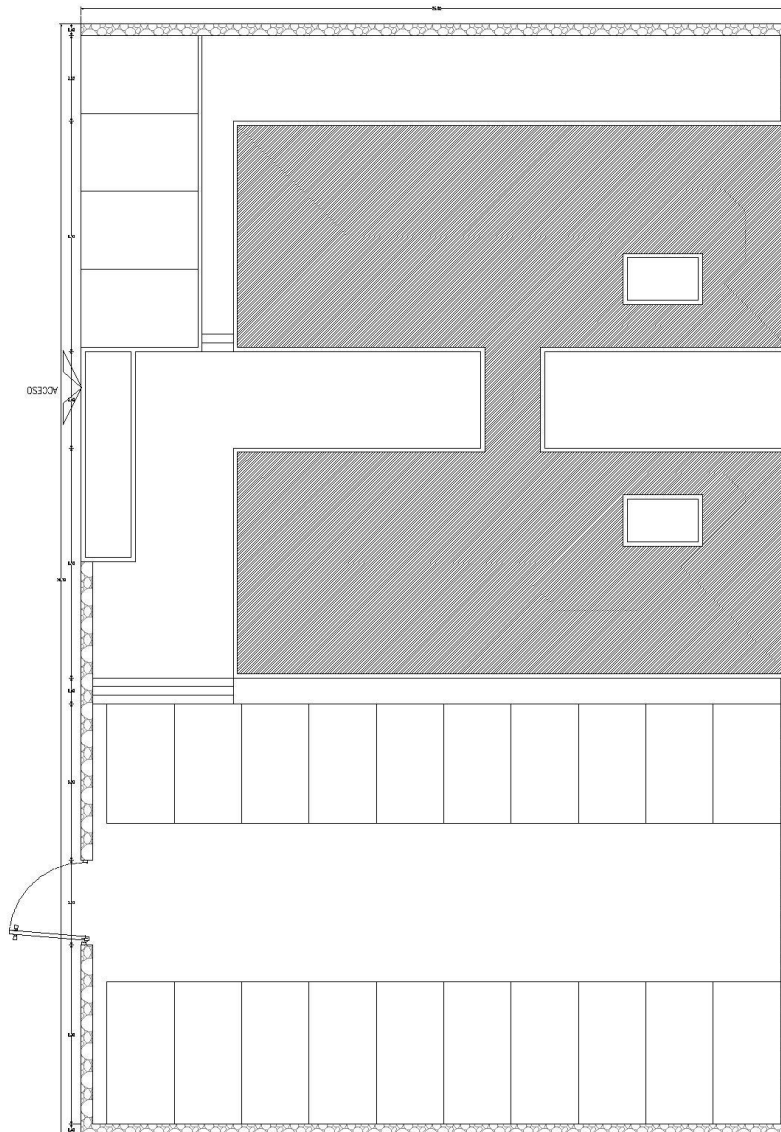
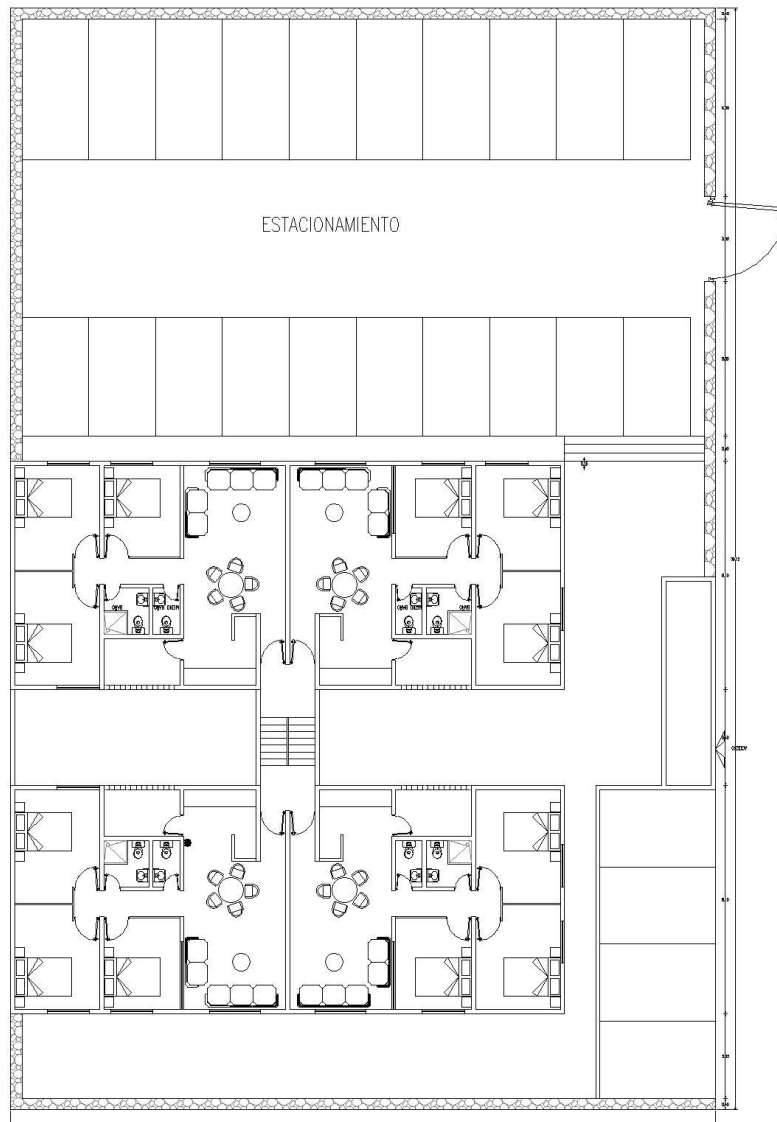


Figura 5.11 Croquis general de la planta tipo del caso 1

**Captación.**

La superficie de captación es de concreto, con 351 m² disponibles para disponer de agua de lluvia.

Canalización.

El caudal de agua a desalojar del área de captación por la canaleta se obtiene con la siguiente fórmula:

Caudal a desalojar $Q_c = 5/18 (A_{ec} \times I \text{ lluvia})$

Donde:

Q_c = Caudal de conducción, (l/s)

A_{ec} = área efectiva de captación de agua de lluvia, (m^2)

I lluvia = intensidad de lluvia en la zona por hora

$5/18$ = factor de conversión de m^3/hr a litros por segundo.

De acuerdo a las isoyetas del D.F. de intensidad de lluvia (mm/hr) con periodo de retorno de 10 años y duración de 60 min., se tiene una intensidad de 50 mm/hr máxima, con esto se tiene lo siguiente:

$$Q_c = (5/18) \times (351.47 \text{ m}^2/2 \times 0.05 \text{ m/hr})$$

$$Q_c = 0.27 \times 8.78 = 2.37 \text{ l/s}$$

Caudal a desalojar 2.37 l/s

Nótese que el área efectiva de captación se dividió entre 2, ya que al existir 2 torres o 2 partes de área de captación se tendrá que canalizar por separado cada torre.

Para determinar el tamaño de la sección de la canaleta o tubo que deberá ser utilizado en el sistema, que permita canalizar la cantidad de agua determinada anteriormente, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Diseño del conductor } Q = A \times V$$

Q = gasto en m^3 por segundo

A = Área propuesta (m^2)

V = velocidad (m/seg)

Se toma la tubería existente a base de PVC de 10 cms.

El cálculo de la velocidad del caudal se realiza aplicando la ecuación de Manning.

$$V = (1/n) (r^{2/3}) (S^{1/2})$$

n = coeficiente de rugosidad

r = radio hidráulico en mts.

S = pendiente de la canaleta en porcentaje con respecto a 1 (100%)

$$r = A/p$$

p = perímetro de la canaleta mojada en mts.

Se tiene un área de 0.0078 m^2 y un perímetro de canaleta mojada de 0.31 mts .

$$r = 0.0078 / 0.31 = 0.025$$

Aplicando a fórmula de Manning

$$V = (1/0.009) (0.025^{2/3}) (1^{1/2}) = 111.11 \times 0.016 \times 0.5 = 0.88 \text{ m/s}$$

Por último queda:

$$Q = 0.0078 \times 0.88 = 0.0069 \text{ m}^3/\text{s} = 6.90 \text{ l/s}$$

Por lo tanto la sección de tubería existente de PVC de 10 cms . de diámetro va a ser suficiente para el desalojo o conducción del agua pluvial captada. **6.90 l/s > 2.37 l/s.**

Nota: para determinar el coeficiente de rugosidad (n), se tomaron en cuenta los valores de la siguiente tabla.

Tabla 5.1 Valores de coeficiente de rugosidad de materiales

MATERIAL	n
Acero galvanizado	0.014
Acero soldado o con remache avellanado y embutido (nuevo)	0.012 – 0.013
Fierro fundido limpio (nuevo)	0.013
Plástico (PVC o PE)	0.007 – 0.009
Asbesto cemento (nuevo)	0.01
Concreto monolítico bien cimbrado y pulido ($D > 1.25\text{m}$)	0.011 – 0.0123
Concreto con juntas de macho y campana ($D > 0.8$)	0.015 – 0.012
Tepetate (liso y uniforme)	0.025 – 0.040
Tierra (alineado y uniforme)	0.017 – 0.025
Mampostería con cemento	0.017 – 0.025
Concreto	0.013 – 0.020

Fuente: Ortega, 1999.

Almacenamiento

Como ya se vio en el capítulo 3; el resultado para la capacidad de cisterna es de **113221.12 L**, que podría dimensionarse con **7.50 x 7.50 x 2.00 m**. puede cubrir el 75% del consumo de todos los excusados del conjunto; ó el 100% del consumo

en lavadero, lavado de autos, patio fregadero y lavabo, tomando en cuenta que no se tiene ninguna restricción en el lugar.

Potabilización.

En este caso solo se potabilizará el agua, ya que va a suministrar agua potable, para excusados, o en su defecto para lavadero, lavado de patios y lavabo. Por esta razón solo se tendrá el filtro de sedimentos, la cloración y posiblemente el filtro de carbón activado.

Distribución.

La tubería propuesta será de cobre, desde la cisterna hasta las llaves finales, teniendo una intersección para ubicar una llave alterna, que se tendrá como emergencia, en caso de que disminuya al máximo el nivel de agua de la cisterna.

5.3 Diseño final caso 2.

En esta sección se asentarán datos finales de cada etapa del sistema de acuerdo a los resultados de la metodología, analizada en el capítulo 3, con respecto al caso 2.

Figura 5.12 Superficie con capacidad captadora del caso 2

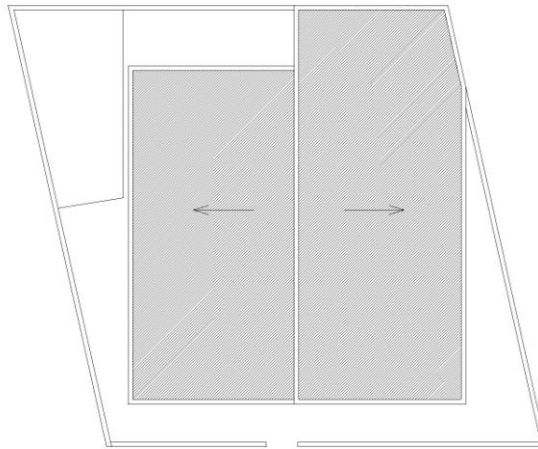
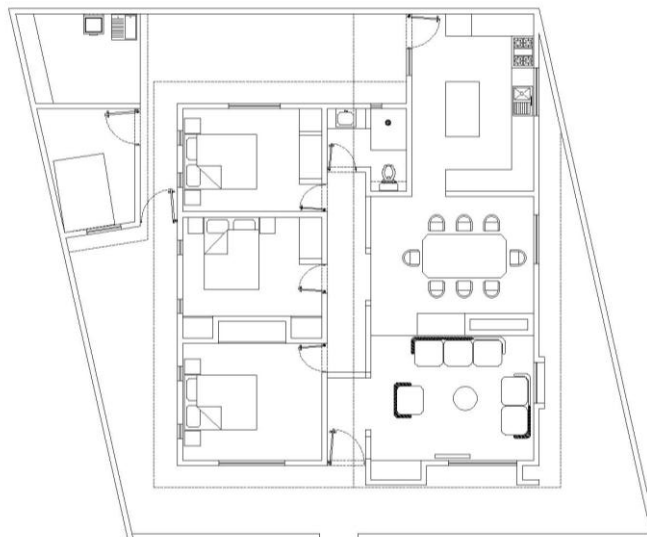


Figura 5.13 Croquis general de la planta del caso 2



Captación.

La superficie de captación es de concreto, con 133.75 m² disponibles para disponer de agua de lluvia.

Canalización.

El caudal de agua a desalojar del área de captación por la canaleta se obtiene con la siguiente fórmula:

Caudal a desalojar $Q_c = 5/18 (A_{ec} \times I \text{ lluvia})$

Donde:

Q_c = Caudal de conducción, (l/s)

A_{ec} = área efectiva de captación de agua de lluvia, (m²)

I lluvia = intensidad de lluvia en la zona por hora

5/18 = factor de conversión de m³/hr a litros por segundo.

De acuerdo a las isoyetas del D.F. de intensidad de lluvia (mm/hr) con periodo de retorno de 10 años y duración de de 60 min., se tiene una intensidad de 50 mm/hr máxima, con esto se tiene lo siguiente:

$$Q_c = (5/18) \times (133.75 \text{ m}^2 \times 0.05 \text{ m/hr})$$

$$Q_c = 0.27 \times 6.68 = 1.80 \text{ l/s}$$

Caudal a desalojar 1.80 l/s

Para determinar el tamaño de la sección de la canaleta o tubo que deberá ser utilizado en el sistema, que permita canalizar la cantidad de agua determinada anteriormente, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Diseño del conductor } Q = A \times V$$

Q = gasto en m³ por segundo

A = Área propuesta (m²)

V = velocidad (m/seg)

Se propone tubería de PVC de 10 cms.

El cálculo de la velocidad del caudal se realiza aplicando la ecuación de Manning.

$$V = (1/n) (r^{2/3}) (S^{1/2})$$

n = coeficiente de rugosidad

r = radio hidráulico en mts.

S = pendiente de la canaleta en porcentaje con respecto a 1 (100%)

$r = A/p$

p = perímetro de la canaleta mojada en mts.

Se tiene un área de 0.0078 m^2 y un perímetro de canaleta mojada de 0.31 mts.

$$r = 0.0078 / 0.31 = 0.025$$

Aplicando a fórmula de Manning

$$V = (1/0.009) (0.025^{2/3}) (1^{1/2}) = 111.11 \times 0.016 \times 0.5 = 0.88 \text{ m/s}$$

Por último queda:

$$Q = 0.0078 \times 0.88 = 0.0069 \text{ m}^3/\text{s} = 6.90 \text{ l/s}$$

Por lo tanto la sección de tubería existente de PVC de 10 cms. de diámetro va a ser suficiente para el desalojo o conducción del agua pluvial captada. **6.90 l/s > 1.80 l/s.**

Almacenamiento

Como ya se vio en el capítulo 3; el resultado para la capacidad de cisterna es de **43085.68 l**, que podría dimensionarse con **4.70 x 4.70 x 2.00 m**. pudiendo cubrir el 100% del gasto del excusado y lavadora y casi un 38% de la regadera o el total del gasto del fregadero y lavabo si se deseara

Potabilización.

En este caso solo se potabilizará el agua, ya que va a suministrar agua potable, para el excusado, la lavadora y un 38% de la regadera. Por esta razón solo se tendrá el filtro de sedimentos, la cloración y posiblemente el filtro de carbón activado.

Distribución.

La tubería propuesta será de cobre, desde la cisterna hasta las llaves finales, teniendo una intersección para ubicar una llave alterna, que se tendrá como emergencia, en caso de que disminuya al máximo el nivel de agua de la cisterna.

CONCLUSIONES

1. El objetivo general de la tesis fue “desarrollar un **método de cálculo para la captación de agua de lluvia** a nivel vivienda que permita satisfacer las necesidades básicas de una familia, donde el aprovechamiento sea constante durante todo el año para **utilizar el 100% del agua captada**”.

Este objetivo se cumplió ya que se pudo crear un prototipo de diseño de cálculo, para aplicarlo en cualquier caso, pero siempre tomando en cuenta los factores externos que son los que hacen a cada cálculo diferente. La precipitación pluvial, el área de captación, el tipo de muebles, el gasto de agua y número de usuarios, la ubicación geográfica y el espacio disponible que se tenga, son elementos que no se han venido tomando en cuenta de forma global para este diseño.

2. Al realizar los muestreos de campo para determinar el gasto de cada mueble y persona, se observó que depende de las rutinas, costumbres y tipos de mueble el gasto de agua por persona al día. No siempre será el mismo, en este caso se tuvieron resultados por debajo de los 100 l/hab/día, pero no se pretende que este valor se tome como definitivo, sino se demuestra que cada caso es diferente y este análisis se debe realizar con cada uno para tener un cálculo más preciso.
3. No siempre la instalación de un sistema catador de agua de lluvia podrá ser necesariamente beneficioso, ya que el factor económico juega un papel determinante en esto, por la inversión inicial que se tiene no llega a ser totalmente factible a corto plazo, aunque a largo plazo pueda llegar a ser una solución muy buena.

Esta reflexión no siempre se tiene ya que el agua en México es muy barata, teniendo una gran desventaja en este aspecto, puesto que el usuario suele tener soluciones a corto plazo, no teniendo en cuenta que los mismos problemas que se tienen ahora con el agua elevarán sus costos invariablemente en el futuro.

4. Entre más porcentaje de agua de lluvia se capte con respecto al agua potable, se tendrá mayor factibilidad para su instalación. Esto se reflejará en la inversión ya que podrá ser más rápido el retorno del dinero invertido entre más agua pluvial se reemplace por agua potable.
5. Se deben buscar varias alternativas para que la instalación no sea tan costosa y adecuarlas a las circunstancias propias de cada caso. Se analizó la alternativa de purificar el agua para ingerirla directamente en el caso 1 y de disminuir el volumen de la cisterna en el caso 2, bajando costos y teniendo un sistema más factible. En realidad existen muchas formas de resolver un problema de diseño de instalación para captar agua de lluvia y se pudieron haber dado otras alternativas.

En el caso de optar por el agua purificada primero se deberá analizar la calidad de agua de lluvia que se tiene en la zona, para determinar si tiene las condiciones para purificarla y después pensar en el equipo purificador que se utilizará, siendo esto un factor muy importante para que realmente se tenga agua limpia.

6. Es muy importante el usuario; se debe saber realmente cuales son las necesidades que tiene y los recursos materiales y económicos con los que dispone, para saber qué cantidad de agua requiere. De esto se partirá para empezar con el diseño del sistema.

7. Por los resultados obtenidos, se puede afirmar que en el D.F. es más factible captar agua de lluvia en un conjunto de viviendas, que en una vivienda sola, ya que la captación sería más por la superficie receptora y los gastos se repartirían teniendo un retorno de inversión más rápido que en una vivienda donde solo hay una familia. aunque siempre dependerá de los estudios previos que se realicen.

8. Cada caso es único y el planteamiento aquí mostrado será de gran ayuda si se toman en cuenta los factores de entrada (precipitación y superficie captadora), salida (consumos y gastos) y externos (espacio, necesidades, capacidad de inversión).

Bibliografía consultada:

- Aboites, Jiménez, Torregrosa (2010). El agua en México: cauces y encauces. México. Academia Mexicana de Ciencias.
- Acosta Fuentes Isaac. (2010). Captación y usos sustentable del agua de lluvia en la ciudad de México. Tesis de maestría en diseño industrial de la UNAM.
- Anaya Garduño Manel (2011). Captación del agua de lluvia. Solución caída del cielo. México, Editorial del Colegio de Postgraduados de la Universidad Autónoma de Chapingo.
- Caballero T. (2007). Captación de agua de lluvia y almacenamiento en tanques de ferrocemento. México. Instituto Politécnico Nacional.
- Carabias, Julia. Landa, Rosalva. Agua, medio ambiente y sociedad, hacia la gestión de los recursos hídricos en México UNAM-Colmex-Fundación Gonzalo Río Arronte. México. (s/f)
- Céspedes (2009). El Desafío del Agua en la Ciudad de México. México: Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción.
- Colegio de Postgraduados, UACH (1991). Manual de conservación del suelo y del agua. México, Talleres gráficos de la Nación.
- Comisión Nacional del Agua (2000) El Agua en México: Retos y Avances.
- Comisión Nacional del Agua (2001) Compendio Básico del Agua en México.
- Comisión Nacional del Agua (2010). Estadísticas del Agua en México. México, SEMARNAT.
- Comisión Nacional del Agua (2008). Boletín del archivo histórico del agua. Captación de agua de lluvia. México. Edición: SEMARNAT
- Edwards, Brian (2004). Guía básica de la sostenibilidad. México: Editorial Gustavo Gili
- Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México (2010). México: SEGOB

- Gauzin-Muller, Dominique (2001). Arquitectura ecológica.
- Gallardo Recio, Juan y Cornejo Sánchez José Ignacio (s/f). "Sistemas de aprovechamiento de aguas pluviales". Master Universitario en ingeniería del agua. España. Universidad de Sevilla. Grupo TAR.
- Guerrero, M. (1999). El agua en la ciencia para todos. No 102. México. Fondo de Cultura Económica.
- Instituto Nacional de ecología (2002). Precios de los materiales recuperados a través de la pepena. México: Thesis Consultores S.C.
- Jiménez Cisneros, Blanca Elena y otros (2010). Calidad del agua, un enfoque multidisciplinario. México, UNAM
- Ley de Aguas del Distrito Federal. (2003). Publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal por el Gobierno del Distrito Federal.
- Moritz Parra Federico (2013). La viabilidad de implementar un sistema de captación de agua de lluvia y su uso en viviendas unifamiliares de la zona del valle de México. Tesis de Maestría en Arquitectura de la UNAM.
- Reglamento de Construcciones del Distrito Federal. (2004). Publicado en la Gaceta Oficial del Distrito Federal por el Gobierno del Distrito Federal.
- Ruiz Abarca Faustino Octavio. (2008). Cosecha de lluvia, una alternativa de suministro de agua en la zona sur de la ciudad de México. Tesis de maestría en Arquitectura de la UNAM.

Enlaces de interés:

- Comisión Nacional del Agua (2011). Página de internet (en línea) Disponible en www.cna.gob.mx, consultado 12 de enero 2011
- Universidad Autónoma Metropolitana. "Conciencia ambiental" Campaña de conciencia ambiental, (en línea). Disponible en www.concienciaambiental.com.mx, consultado: 10 de enero de 2001
- Fondo para la comunicación y la educación ambiental A.C. (2011) Centro virtual de la información de agua (en línea). Disponible en www.agua.org.mx, consultado el 18 abril 2011.

- Creando ideas y soluciones personales (2011). Reciclado, reutilización y materiales naturales. Blog (en línea). Disponible en www.19bis.com, consultado el 12 mayo 2011.
- Ecología y medio ambiente (2011). Diario de ecología (en línea). Disponible en www.diarioecologia.com, consultado el 16 de mayo 2011.
- Instituto Nacional de Estadística, geografía e Informática (2011). Censo Nacional de Población y Vivienda (2010). Disponible en www.inegi.org.mx
- Sistema de Aguas de la Ciudad de México. (2012). Disponible en www.sacm.df.gob.mx
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (2010). Disponible en www.semarnat.gob.mx
- Secretaría de Gobernación (2010). Enciclopedia de lo municipios y delegaciones de México, Distrito Federal. <http://www.e-local.gob.mx>
- Comisión Nacional de Vivienda (2008). Encuesta Nacional de Ingreso-Gasto de los Hogares (ENIGH) <http://sniiv1.conavi.gob.mx>
- Comisión Nacional del Agua (2012). Servicio Meteorológico Nacional. <http://smn.cna.gob.mx/emas/>

GLOSARIO.

Coefficiente de escurrimiento. Volumen de agua que queda disponible para su uso después de descontar el salpicamiento, la velocidad del viento, la evaporación, fricción y tamaño de la gota y disminuye de acuerdo al tipo de material que se tendrá.

Consumo de agua por persona. Es la cantidad de agua expresada en litros, que consume una persona en un día (l/hab/día)

Déficit de agua. cuando el volumen de consumo de agua es mayor que el volumen de captación en una vivienda.

Excedente de agua. Cuando el volumen de consumo de agua es menor que el volumen de captación en una vivienda.

Estación meteorológica. es una instalación destinada a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas. Estos datos se utilizan tanto para la elaboración de predicciones meteorológicas a partir de modelos numéricos como para estudios climáticos.

Isoyeta. es una curva que une los puntos, en un plano cartográfico, que presentan la misma precipitación en la unidad de tiempo considerada. Así, para una misma área, se pueden diseñar un gran número de planos con isoyetas, por ejemplo isoyetas de la precipitación media de largo periodo del mes de enero, febrero, etc., o las isoyetas de las precipitaciones anuales.

Pluviómetro. instrumento que se emplea en las estaciones meteorológicas para la recogida y medición de la precipitación en forma de lluvia, nieve o granizo.

Precipitación pluvial. es cualquier forma de hidrometeoro que cae de la atmósfera y llega a la superficie terrestre. Este fenómeno incluye lluvia, llovizna, nieve, aguanieve, granizo. Se mide en milímetros (mm), que equivale al espesor de la lámina de agua que se formaría, a causa de la precipitación, sobre una superficie plana e impermeable.

Tandeo: Suministro de agua potable de forma alternativa. Generalmente se traslada en pipas cuando la red no abastece el líquido de forma continua.

ANEXOS.

1. Costo de una cisterna DE 10000 l hecha en obra

PRESUPUESTO

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
1	TRAZO Y NIVELACION EN AREAS DE TRABAJO MATERIAL Y MANO DE OBRA	M2	6.25	\$12.50	\$78.13
2	EXCAVACIÓN DE TERRENO, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA.	M2	10.00	\$63.36	\$633.60
3	ACARREO DE TIERRA A UNA DISTANCIA DE 20 MTS., MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA.	M3	10.00	\$35.23	\$352.30
4	ACARREO EN CAMIÓN DE TIERRA	M3	10.00	\$245.00	\$2,450.00
5	ELABORACIÓN DE PLANTILLA DE CONCRETO SIMPLE, MATERIAL Y MANO DE OBRA.	M2	6.25	\$87.72	\$548.25
6	ARMADO DE CISTERNA CON VARILLA DE 3/8" A CADA 20 CMS, AMBOS SENTIDOS Y AMBOS LADOS, INCLUYE: MATERIAL Y MANO DE OBRA.	TON.	0.33	\$19,000.00	\$6,232.00
7	CIMBRA Y DESCIMBRA DE MUROS Y TAPA, INCLUYE, MATERIAL Y MANO DE OBRA.	M2	38.25	\$214.50	\$8,204.63
8	SUMINISTRO DE CONCRETO HIDRÁULICO EN PISO, MUROS Y LOSA TAPA, INCLUYE MATERIAL Y MANO DE OBRA.	M3	5.70	\$1,893.10	\$10,790.67
9	VÁLVULA PICHANCHA	PZA	1.00	\$280.00	\$280.00
10	TAPA DE ACCESO A CISTERNA DE LÁMINA INCLUYE: MATERIAL Y MANO DE OBRA	PZA	1.00	\$1,839.83	\$1,839.83
11	IMPERMEABILIZACIÓN INCLUYE: MATERIAL Y MANO DE OBRA.	M2	28.50	\$241.70	\$6,888.45
TOTAL CISTERNA HECHA EN OBRA					\$38,297.85

2. Costo de una cisterna DE 10000 l prefabricada (Rotoplas)

abastecedora.com

Abastecedora Ferretera Nacional

Surtimos a toda la República Mexicana



01 (33) 16-12-55-09
01 (33) 16-12-42-40
NEXTEL I.D. 72*959016*3
72*959016*4
ventas@abastecedora.com

CISTERNA ROTOPLAS EQUIPADA 10,000 LTS

Precio:
\$15,134.91

**Los precios
no incluyen
IVA.
No incluye
Envío.**

NUESTROS PRODUCTOS

- [TRUPER](#)
- [HERRAMIENTAS](#)
- [TANQUES](#)
- [ESTACIONARIOS](#)
- [TINACOS Y CISTERNAS](#)
- [LAMINAS](#)
- [ILUMINACION](#)
- [CABLE ELECTRICO](#)
- [TUBERIA](#)
- [CONEXIONES](#)
- [P/TUBERIA](#)
- [BOMBA DE AGUA](#)
- [HIDRONEUMATICO](#)
- [CALENTADORES](#)



Confirmar
tiempo de
entrega

Codigo: RS-
10000CEQ

Marca o
Fabricante:
Rotoplas

Modelo:
510001

ALTURA 3.18 METROS, DIAMETRO 2.20 METROS, BOCA 55CM ---
INCLUYE, EQUIPO: FILTRO PASO 1, VALVULA DE LLENADO
3/4, FLOTADOR # 7, PICHANCHA VALVULA ESFERA 3/4, 2
ELECTRONIVELES, BOMBA Y TUBO SUCCION TAPA, GARANTIA 5
AÑOS

3. Proceso que se siguió para realizar los muestreos de consumo de agua por mueble hidráulico. (capítulo 3)

Se realizó un levantamiento de los muebles hidráulicos existentes (excusado, lavadora, regadera, lavabo, fregadero), en las viviendas donde se hicieron los muestreos, tomando en cuenta lo siguiente:

1. De acuerdo a sus marcas y tipos se investigó su gasto.
 - Excusado: gasto por descarga y descargas por día.
 - Lavadora: gasto por carga de ropa (mínima, media, alta) y cargas por día.
 - Regadera: gasto de agua por minuto. Con esto se midió el tiempo que tardaba cada miembro de la familia en bañarse para tener un gasto total diario en la regadera.
2. En el caso del fregadero y del lavabo se midió directamente:
 - Fregadero: se taponeó el desagüe de la tarja y se midió manualmente el volumen para determinar el consumo para lavar trastes y cuantas veces al día se utilizaba este mueble.
 - Lavabo: se puso un bote pequeño debajo de la llave para recolectar el agua que caía al lavarse las manos y después se obtuvo el volumen y se verificó la cantidad de veces que se usaba en un día.

La medición de la regadera, el fregadero y el lavabo se realizó por lo menos 3 veces, ya que no se tiene un número de gasto exacto. Con esto se obtuvo un valor preciso que determinó los gastos de cada mueble.

Se contabilizaron las veces que fue usado cada mueble en un día, para llevar una cuenta diaria.

Al finalizar el mes se contabilizará cada uno y se obtuvo el gasto de agua de cada mueble y de cada persona por día, teniendo un resultado fundamentado en un proceso de mediciones durante un periodo de tiempo determinado.

4. Plantilla de preguntas usadas para la encuesta de consumo e inversión anual en agua purificada.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO DE
ARQUITECTURA.



ENCUESTA PARA DETERMINAR EL GASTO DE AGUA EMBOTELLADA POR FAMILIA.

1. ¿Cuántos miembros son en su familia?
2. ¿Cada cuanto se compra en su vivienda un garrafón de 19 lts de agua?
3. ¿Cuánto le cuesta un garrafón de agua de 19 lts?
4. ¿Cuántas personas de su vivienda consumen agua embotellada?
5. ¿Cada cuanto compra agua embotellada?
6. ¿El agua embotellada que suele comprar, de cuál es?
 - a) medio litro.
 - b) un litro.
 - c) un litro y medio.
 - d) dos litros
7. ¿Cuánta agua considera que consume en un día?
8. ¿Si tuviera la posibilidad de tener un sistema purificador de agua en su vivienda, dejaría de comprar agua embotellada?

Si ¿Por qué?
No ¿Por qué?

5. Memoria de cálculo para aprobar un sistema de captación de agua de lluvias, por el SACM. (proporcionado por el SACM)



TIPO DE OBRA

Memoria de cálculo y descriptiva SISTEMA ALTERNATIVO REUSO DE AGUA PLUVIAL.

Partiendo de la fórmula del Método Racional Americano, obtenemos el gasto de aportación para la cisterna pluvial.

$$Q = 2.778 \cdot C \cdot I \cdot A$$

Donde:

- Q = Gasto de agua Pluvial (l.p.s.)
- 2.778 = Constante para conversión de unidades
- C = Coeficiente de escurrimiento (adimensional)
- I = Intensidad de lluvia promedio (mm/hra.)
- A = Área de captación pluvial (Km²)

A) Coeficiente de Escurrimiento.

Tomando en cuenta la tabla 1 de coeficientes de escurrimiento y considerando los acabados de la vialidad se tiene lo siguiente:

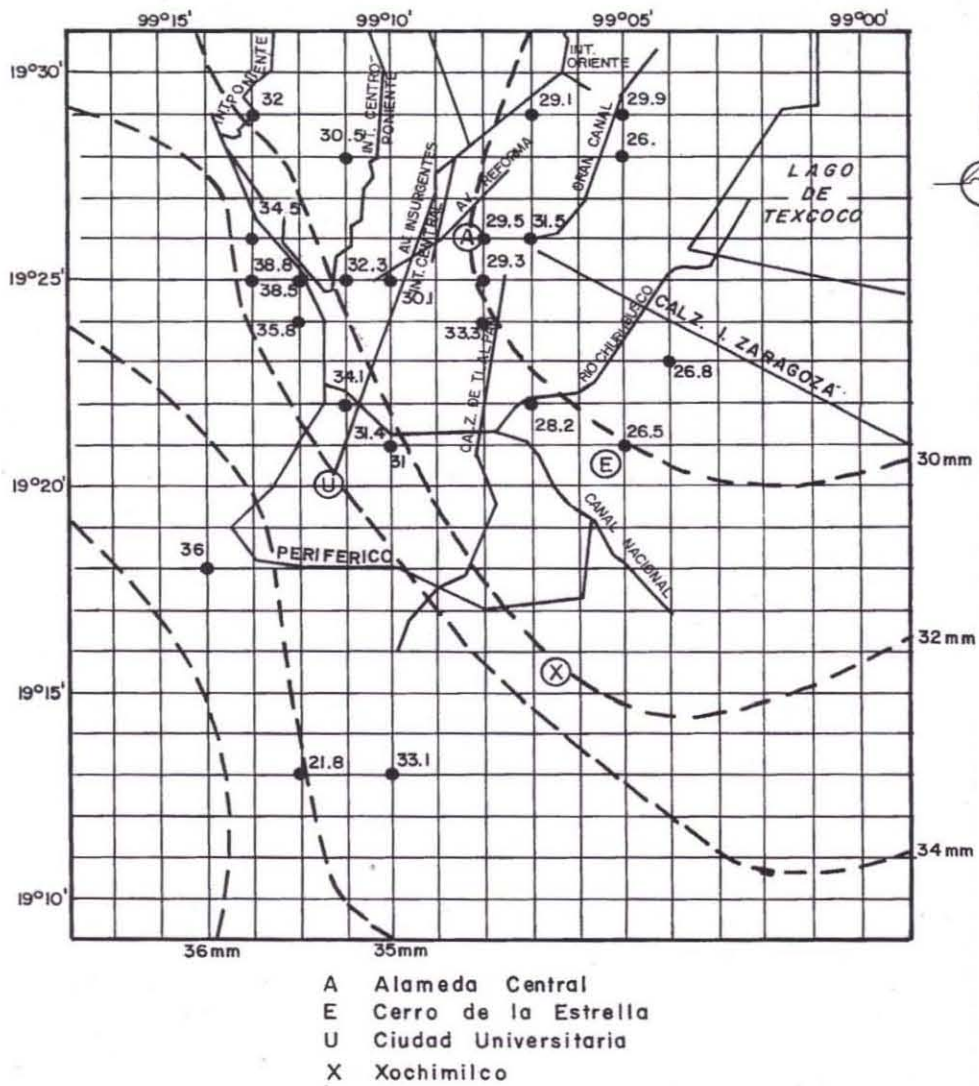
C = Coeficiente de escurrimiento (Techados)

TABLA 1

VALORES TÍPICOS DEL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO

TIPO DE ÁREA DRENADA	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO	
	MÍNIMO	MÁXIMO
Zonas Comerciales		
Zona comercial	0.75	0.95
Vecindarios	0.50	0.70
Zonas residenciales:		
Unifamiliares	0.30	0.50
Multifamiliares espaciados	0.40	0.60
Multifamiliares compactos	0.60	0.75
Casa habitación	0.50	0.70
Zonas industriales:		
Compacto	0.60	0.90
Cementerios y parques	0.10	0.25
Patios de ferrocarriles	0.20	0.40
Zonas urbanas	0.10	0.30
Calles:		
Asfaltadas	0.70	0.95
Concreto hidráulico	0.80	0.95
Adoquinadas	0.70	0.85
Estacionamientos:		
Techados *	0.75	0.95
Praderas:		
Suelos arenosos planos (S<= 0.02)	0.05	0.10
Suelos arenosos (0.02<S<0.07)	0.10	0.15
Suelos arcillosos planos (S<=0.02)	0.13	0.17
Suelos arcillosos (0.01<S<0.07)	0.18	0.22
Suelos arcillosos escarpados(S>=0.07)	0.25	0.35

Tabla extraída del Manual de Hidrología Urbana Tomo 1, D.G.C.O.H.



ISOYETAS PARA D=30 mm Y Tr= 5 AÑOS

UBICAR EL PREDIO DENTRO DE LA ISOYETA

figura 3.1

3. GASTO PLUVIAL

El gasto pluvial, que caerá en las áreas de captación del predio según la expresión indicada en el Método Racional Americano, será de:

$$QP = 2.778 C I A$$

$$QP = 2.778 \times \frac{\text{Coeficiente de escurrimiento}}{\text{Coeficiente de escurrimiento}} \times \frac{\text{Intensidad}}{\text{Intensidad}} \times \frac{\text{Área de captación}}{\text{Área de captación}} = \frac{\text{Gasto Pluvial}}{\text{Gasto Pluvial}} \text{ l.p.s.}$$

Por lo tanto el gasto generado en el predio es:

$$QP = \text{Gasto Pluvial} \text{ l.p.s.}$$

4. CÁLCULO DE CISTERNA PLUVIAL

Se considera que la cisterna de agua pluvial, deberá de calcularse para cumplir con un tiempo de duración de 60 minutos.

Una vez calculado el gasto pluvial, tendremos la capacidad de almacenamiento.

$$V = Q * 3600$$

Donde:

V = Volumen de almacenamiento en (m³).

Q = Gasto pluvial en (l.p.s.).

3600 = Una hora de duración de tormenta (segundos).

$$V = \text{Gasto Pluvial} * 3600 = \text{Volumen} \text{ (m}^3\text{)}.$$

Para el almacenamiento de agua pluvial se ocupará una cisterna con capacidad de: _____ m³.

Con las siguientes dimensiones:

$$\text{Largo} \times \text{Ancho} \times \text{Alto} = \text{Volumen de cisterna m}^3$$

Con un tirante útil de (altura del nivel del agua pluvial): _____ m.

$$\text{Largo} \times \text{Ancho} \times \text{Tirante útil} = \text{Volumen} \text{ m}^3 \text{ cubriendo así el volumen requerido.}$$

6. Sistema utilizado por el CIDECALLI “Centro Internacional de Demostración y Captación en Aprovechamiento de Agua de Lluvia”, para el cálculo de una cisterna de agua de lluvia.

Manual sobre Sistemas de Captación y Aprovechamiento del Agua de Lluvia para Uso Doméstico y Consumo Humano

Donde:

$V_{\text{sedimentador}}$ = volumen del sedimentador, $\text{m}^3 \text{hora}^{-1}$,

A_{ec} = área efectiva de captación del agua de lluvia, m^2 ,

I_p = intensidad de precipitación, m hora^{-1} .

Cálculo de la intensidad de la precipitación

La intensidad de la precipitación (I_p) para una tormenta es la relación, de la lámina de precipitación entre el tiempo de duración de la tormenta, es decir la pendiente de las gráficas producidas por el pluviógrafo.

La intensidad de lluvia máxima será la mayor pendiente observada para una tormenta según la ecuación siguiente.

$$I_p = \frac{P_r}{t} \quad (4.17)$$

Donde:

P_r = la precipitación máxima registrada, mm h^{-1}

t = tiempo de duración de la tormenta, h

4.9 Diseño del sistema de almacenamiento del agua de lluvia captada

El almacenamiento del agua de lluvia consiste en depositarla dentro de sistemas, para abastecer a una población considerada durante los meses de sequía y los de no sequía. Los materiales de construcción de la cisterna son de concreto, tabique o revestimiento con geomembrana, ésta resulta más económica, impermeable y proporciona agua segura para uso doméstico y consumo humano.

La pendiente de los taludes de la cisterna depende de las características de cohesión de los suelos y de los ángulos de reposo del mismo (Sánchez, 2005).

El criterio para el diseño del volumen de la cisterna consiste en considerar la demanda de agua mensual que necesita una población durante los meses de sequía más dos meses (coeficiente de seguridad) de acuerdo al CIDECALLI, con el objeto de asegurar el abastecimiento de agua a la población.

$$V_{\text{sistema}} = D_j * M_{\text{sequía}+2} \quad (4.18)$$

Donde:

V_{sistema} = volumen mínimo de la cisterna, m^3 ,

D_j = demanda mensual, $\text{m}^3 \text{mes}^{-1}$,

$M_{\text{sequía}+2}$ = meses con sequía más 2.