



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Centro de Investigaciones en Ecosistemas

COLECTA DE AGUA PLUVIAL
COMO MEDIDA PARA EL
APROVECHAMIENTO
SUSTENTABLE DE LA ENERGÍA

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

P R E S E N T A

TANIA ISABEL ARROYO ZAMBRANO

DIRECTORES DE TESIS: M. EN C. ALFREDO F. FUENTES GUTIÉRREZ
DR. JOSÉ LUIS FERNÁNDEZ ZAYAS

MORELIA, MICHOACÁN

NOVIEMBRE, 2010



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
Licenciatura en Ciencias Ambientales



100 UNAM
UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE MÉXICO
1910 - 2010

DR. ISIDRO ÁVILA MARTÍNEZ
DIRECTOR GENERAL DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR, UNAM
PRESENTE.

Por medio de la presente me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico de la Licenciatura en Ciencias Ambientales, celebrada el día 25 de agosto del 2010, se acordó poner a su consideración el siguiente jurado para el Examen Profesional de la alumna **Arroyo Zambrano Tania Isabel** con número de cuenta **408095589** con la tesis titulada: **"Colecta de agua pluvial como medida para el aprovechamiento sustentable de la energía"** bajo la dirección del **Tutor.- M. en C. Alfredo Fernando Fuentes Gutiérrez** y del **Cotutor.- Dr. José Luis Fernández Zayas.**

Presidente:	Dr. Omar Raúl Maserá Cerutti
Vocal:	Mtra. en Arq. Ma. del Carmen Buerba Franco
Secretario:	M. en C. Alfredo Fernando Fuentes Gutiérrez
Suplente:	Dr. José Luis Fernández Zayas
Suplente:	Arq. Rafael Magdaleno Castillo

Sin otro particular, quedo de usted.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Morelia, Michoacán a, 8 de noviembre del 2010.

Dr. Alejandro Casas Fernández
Coordinador de la Licenciatura

CAMPUS MORELIA

Apartado Postal 27-3 (Sta. Ma. de Guido), 58090, Morelia, Michoacán Antigua Carretera a Pátzcuaro No. 8701, col. Ex-hacienda de San José de la Huerta 58190, Morelia, Michoacán, México Tel. (443)322.38.03 y (55) 5623.2803, fax. (443)322.27.19 y (55)5623.2719 www.oikos.unam.mx



CIGA
CENTRO DE INVESTIGACIONES
EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer a la Licenciatura en Ciencias Ambientales por brindarme todas las herramientas conceptuales básicas necesarias para emprender mi trayecto como profesionista.

Asimismo extiendo el agradecimiento a las Instituciones que me brindaron apoyos monetarios para realizar el Servicio Social Profesional: PRONABES; y para realizar este proyecto de tesis mediante el Programa de Estancias Estatales de Investigación para Estudiantes de Licenciatura del CONACyT.

Por último quiero agradecer a los miembros del Jurado del Examen por la guía durante la realización de este trabajo, los comentarios y críticas constructivas que realizaron para mejorar este proyecto, el apoyo que me brindaron y sobre todo por la disposición de tiempo y paciencia que tuvieron conmigo:

- M. en C. Alfredo Fuentes Gutiérrez
- Dr. José Luis Fernández Zayas
- Dr. Omar R. Masera Cerutti
- Arq. Rafael Magdaleno Castillo
- Ing. Ma. Del Carmen Buerba Franco

DEDICATORIA

A mi padre, que desde hace trece años sólo existe en mi corazón y mi mente, mi primera estrella.

A mi *preciosa*, que más que una abuela era una madre y que ahora es mi segunda estrella.

A mi madre, gracias por apoyarme en todo. Cuentas conmigo y cuento contigo...siempre. Juntas por siempre.

A mis hermanos, que después de las peleas venían las películas y las risas. Tienen mi apoyo total, los amo.

A los pilares más fuertes durante momentos difíciles, a los que me sostuvieron en las peores situaciones y los que alegran mi vida a cada momento: esos amigos que ya son hermanos. Los amo.

A mis tíos. Gracias a ustedes estoy donde estoy, y también es gracias a ustedes que llegaré más lejos.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	4
CAMBIO CLIMÁTICO Y PROTOCOLO DE KYOTO	5
<i>Mecanismo de desarrollo limpio</i>	7
SITUACIÓN DEL AGUA A NIVEL GLOBAL	8
AGUA Y ENERGÍA.....	10
AGUA EN MÉXICO	11
<i>Situación del agua en Morelia, Michoacán</i>	12
COLECTA DE AGUA PLUVIAL	15
<i>Componentes del sistema de recolección de agua</i>	17
Sistema de captura	20
Sistema de recolección de agua o de distribución	20
Sistema de almacenamiento del agua	20
<i>Beneficios y ventajas</i>	22
<i>Desventajas</i>	23
<i>Calidad del agua de lluvia</i>	24
OBJETIVOS	28
GENERALES.....	28
PARTICULARES	28
METODOLOGÍA	29
ELECCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	29
REQUERIMIENTO DIARIO DE AGUA POR PERSONA	29
PRECIPITACIÓN	30
SUPERFICIE DE CAPTURA	30
AGUA PLUVIAL OBTENIDA.....	32
COBERTURA DE LA DEMANDA DE AGUA.....	32
PROPUESTA DE DISEÑO	33
CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO NECESARIA	35
FUENTES DE ABASTECIMIENTO Y TRANSPORTE DE AGUA A LA ZONA DE ESTUDIO.....	35
PROCESAMIENTO DEL AGUA.....	36
<i>Insumos requeridos para la potabilización del agua y costo de producción</i>	37
<i>Reducción de emisiones</i>	39
ANÁLISIS Y RESULTADOS	40
DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	43
REFERENCIAS	46

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA Y PRODUCCIÓN PARA LA CIUDAD DE MORELIA (COEECO, S/A).....	15
TABLA 2: PRECIPITACIÓN MENSUAL EN MORELIA. PERIODO 1971-2000.....	30
TABLA 3: SUPERFICIE DE CAPTURA POR CONSTRUCCIÓN Y POR LOTE PARA LA COLONIA CHAPULTEPEC SUR.....	31
TABLA 4: AGUA PLUVIAL RECOLECTADA ANUAL POR CONSTRUCCIÓN Y POR LOTE.....	32
TABLA 5: LITROS DE AGUA POR DÍA POR HABITANTE RECOLECTADA POR CONSTRUCCIÓN Y POR LOTE.....	33
TABLA 6: INSUMOS, COSTO Y CANTIDAD, Y COSTO TOTAL MENSUAL DE LOS MISMOS UTILIZADOS PARA LA PPM Y PPVB.....	37
TABLA 7: COSTO DE POTABILIZACIÓN Y DE INSUMOS MENSUAL POR PLANTA.....	38
TABLA 8: COSTO DE PRODUCCIÓN POR LITRO POR PLANTA Y TOTAL.....	38
TABLA 9: NÚMERO DE BOMBAS (CON POTENCIA) UTILIZADAS PARA EL TRANSPORTE DEL AGUA.....	39
TABLA 10: ENERGÍA ELÉCTRICA UTILIZADA MENSUALMENTE PARA EL PROCESO DE POTABILIZACIÓN.....	39
TABLA 11: TONELADAS DE CO _{2EQ} EMITIDAS POR EL USO DE BOMBAS.....	41
TABLA 12: EMISIONES DE CO _{2EQ} POR USO DE ENERGÍA PARA POTABILIZAR.....	42
TABLA 13: ESTRUCTURA TARIFARIA PARA USO DOMÉSTICO EN ZONA RESIDENCIAL (OOAPAS, 2010).....	44

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1: SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE AGUA PLUVIAL (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).....	19
ILUSTRACIÓN 2: DISEÑO 1 DE RECOLECCIÓN DE AGUA: DESVIACIÓN DEL AGUA.....	34
ILUSTRACIÓN 3: DISEÑO 2 DE RECOLECCIÓN DE AGUA: SOBRE-TECHO DIRIGIDO A LA CISTERNA.....	34

Colecta de agua pluvial como medida para el aprovechamiento sustentable de la energía

-Resumen-

El presente trabajo se realizó para la colonia Chapultepec Sur de la ciudad de Morelia, Michoacán, el cual tuvo dos objetivos principales: calcular el porcentaje del requerimiento diario por persona que puede cubrirse mediante un sistema de recolección de agua pluvial; y estimar el dióxido de carbono (CO_2) que se emite durante el proceso de transporte y tratamiento del agua. De esta manera, se encontró que al utilizar un sistema de recolección de agua pluvial en las casas no sólo se cubre un porcentaje del requerimiento diario de agua de las personas (130% de lo recomendado por la OMS y 57% de lo recomendado por expertos regionales), sino que también se dejan de emitir 2,885 ton de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ por dejar de extraer agua de la red convencional. Con esta reducción de emisiones se pretende dar ejemplo del potencial que se tiene para entrar al mercado de bonos de carbono ya que en este caso de estudio se encontró que se pueden obtener más de 600,000 pesos anuales.

Rainwater harvesting as a measure for sustainable use of energy

-Abstract-

The present study was made for the people of the Chapultepec Sur colony in Morelia, Michoacán. It has two main objectives: 1) to calculate the percentage of a person's daily water requirement that can be obtained by using a rain water harvesting system; 2) and to estimate the carbon dioxide (CO_2) emitted during the process of water treating and water transportation. This way, by using a rain water harvesting system on every house, not only we would be covering a percentage of a family's daily water requirements (130% of what WHO recommend and 57% of what regional experts mentioned), but also saving 2,885 ton of $\text{CO}_{2\text{eq}}$ for not taking the water out of the grid. This reduction in emissions is to set an example of the potential to enter the market for carbon credits, with this case studio we found that it can be obtained more than 600,000 pesos per year.

INTRODUCCIÓN

La importancia del agua en el desarrollo de nuestras actividades diarias es indiscutible. Si se pensara qué sucedería si el día de hoy no se contara con ella, actividades como cocinar, el aseo del hogar o aseo personal, son acciones a las que se está completamente acostumbrado sin que esto implique un alto costo a la economía familiar. La razón de este comportamiento es el bajo costo que el recurso del agua ha tenido desde los inicios de la instalación de las redes hidráulicas de distribución hasta la fecha (Treviño Arjona y Cázares Rivera, 1999).

De acuerdo con el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la falta de agua potable, el calentamiento global del planeta, la deforestación y la desertificación son los mayores desafíos que la humanidad deberá enfrentar en este siglo. El informe del PNUMA coloca en primer término la falta de agua potable, ya que en muchos lugares del planeta el uso del vital líquido ha empezado a convertirse en un agudo problema. En algunos de los países que cuentan con recursos económicos suficientes, se hacen múltiples esfuerzos por resolver los problemas de abastecimiento de agua (Jaime y Mejía Maravilla, 1999).

Actualmente el 87% de la población mundial, es decir unos 5,900 millones de personas, dispone de fuentes de abastecimiento de agua potable (OMS, 2010a). Asimismo, el 84% de la población en países en desarrollo se ven beneficiadas de estas fuentes (WHO/UNICEF, 2010). En México, en 1990, se tenía el 83% de cobertura de abastecimiento de agua; para 2000, esta cifra se incrementó al 86% (WHO/UNICEF,

2000); y para 2005, el número de personas que contaban con agua entubada dentro de su vivienda era del 88% (INEGI, S/A).

En la mayoría de los países, la agricultura consume entre el 60% y el 80% de los recursos de agua dulce, e incluso llega al 90% en otros países (Development Education Program, 2002). La extracción estimada de agua destinada al sector agrícola en México está entre el 75% y el 80% (Fernández Cirelli, S/A). No obstante, las pérdidas por ineficiencia están entre el 40-60%; y se estima que esto representa tres veces el volumen de agua extraída para esta actividad en comparación con el abastecimiento público (Rel-UITA, S/A).

La urbanización aumenta la demanda de agua y, en algunos lugares, la demanda de la población sobrepasa la disponibilidad del recurso. Esta misma urbanización incrementa no sólo el problema del agua sino también de la energía. La energía está afectando la gestión del agua, lo que se agudizará en el futuro. Además sus precios están subiendo, lo que redundará en alzas en los costos del bombeo del agua, de la fabricación de fertilizantes y del transporte de productos (Evaluación Exhaustiva del Manejo del Agua en Agricultura, 2007).

Cambio climático y protocolo de Kyoto

Existen numerosas emisiones de CO₂ y de otros gases de efecto invernadero (GEI) que se producen de forma natural y se consideran responsables de que la vida en la Tierra sea posible al retener parte de la energía calorífica procedente del sol en nuestra atmósfera. No obstante, el incremento de las emisiones artificiales producidas por el hombre añaden

cantidades excesivas de CO₂ a la atmósfera con la consecuencia adversa de producir, en mayor o menor grado, un calentamiento global (Valero, 2006).

A escala mundial, producimos el doble de carbono de lo que la vegetación y los océanos pueden asimilar. En cuanto a la producción de GEI, el 42% de la producción total de carbono proviene de los combustibles fósiles, siendo los países desarrollados los causantes de más del 60% de las emisiones de las mismas (Saldívar, 2001). El IPCC ha concluido que una de las principales causas del calentamiento climático (CC) ha sido el incremento antropogénico en la concentración de GEI (De la Torre et al., 2009:1).

El CC afectará a cada uno de los componentes de la sociedad y el medio ambiente, sea directa o indirectamente, con importantes consecuencias para el agua y la agricultura. El clima está cambiando a un ritmo alarmante, provocando el alza de la temperatura, cambios en los patrones de las precipitaciones y otros fenómenos naturales más extremos (Evaluación exhaustiva del manejo del Agua en Agricultura, 2007).

Debido a éstos y muchos otros crecientes problemas que trae consigo el CC, y en un intento por revertir el daño que hemos causado, se aprueba el Protocolo de Kyoto (PK) en 1997. El principio básico de éste es globalizar la preocupación y los compromisos para proteger el medio ambiente, estableciendo responsabilidades comunes pero diferenciadas para el logro de este objetivo. En general, este protocolo se plantea dos metas: 1) tomar el nivel de emisiones de 1900 como el año base para fijar los compromisos de reducción para el periodo 2008-2012; y 2) que los países industrializados se comprometan desde ya a reducir sus emisiones de GEI (los países en desarrollo lo harán en el futuro) (Saldívar, 2001; Varillas y Hernández, 2009).

Estos objetivos de reducción pueden alcanzarse mediante el uso de diferentes métodos, entre ellos la disminución de emisiones, el aumento de sumideros de carbono o con la utilización de mecanismos flexibles. El PK contiene tres mecanismos flexibles para facilitar a los países industriales el cumplimiento de sus obligaciones. Estos mecanismos son los siguientes (Varillas y Hernández, 2009):

1. Comercio de emisiones con países desarrollados. Proporciona la posibilidad de comprar excedentes de CO₂ a otros países que hayan reducido sus emisiones.
2. Mecanismos de Implementación Conjunta. Está basado en la transferencia de créditos entre países desarrollados.
3. Mecanismo de Desarrollo Limpio. Incluye proyectos en países en desarrollo por parte de países industrializados.

Mecanismo de desarrollo limpio

El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) persigue dos objetivos: 1) ayudar a las Partes no incluidas en el Anexo I a lograr un desarrollo sostenible y a contribuir al objetivo último de la Convención; y 2) ayudar a las Partes del Anexo I a dar cumplimiento a sus compromisos de limitación y reducción de emisiones cuantificadas (Naciones Unidas, 1998). El MDL permite a los países industrializados la compra de Certificados de Emisiones Reducidas (CERs) provenientes de proyectos de desarrollo como un medio para cumplir con sus metas vinculantes de reducción de emisiones (Kerr, 2000; Hidalgo, 2009).

Los proyectos que generan créditos de carbono pueden realizarse en un determinado número de sectores de tecnología (tales como energía renovable, eficiencia energética, uso de suelo y el sector forestal) ya sea mitigando las emisiones o secuestrando GEI de la atmósfera (Hidalgo, 2009). Los proyectos en países en desarrollo deben obtener la aprobación de un cuerpo subsidiario: el marco ejecutivo del MDL (Bettelheim y d'Origny, 2002).

Situación del agua a nivel global

El 70% de la superficie de la Tierra está compuesta por agua. De toda el agua que hay en la Tierra sólo el 2.5% es agua dulce y, de ésta, una parte está atrapada en los casquetes polares (2%), quedando menos del 1% de agua potable disponible para el ser humano (INA, 2005).

La precipitación constituye la principal fuente de agua para todos los usos humanos y ecosistemas. Esta precipitación es recogida por las plantas y el suelo, se evapora en la atmósfera mediante la evapotranspiración y corre hasta el mar a través de los ríos o hasta los lagos y humedales (escorrentías). El agua de la evapotranspiración mantiene los bosques, las tierras de pastoreo y de cultivo no irrigadas, así como los ecosistemas. El ser humano extrae un 8% del total anual del agua dulce renovable y se apropia del 26% de la evapotranspiración anual y del 54% de las aguas de escorrentía accesibles (UNESCO, 2003).

Sin embargo, el control que la humanidad ejerce sobre las aguas de escorrentía es ahora global y el hombre actualmente desempeña un papel importante en el ciclo

hidrológico. El consumo per cápita aumenta (debido a la mejora de los niveles de vida), la población crece y, en consecuencia, el porcentaje de agua objeto de apropiación se eleva. Si se suman las variaciones espaciales y temporales del agua disponible, se puede decir que la cantidad de agua existente para todos está comenzando a escasear y ello nos lleva a una crisis del agua (Ibid.).

El ser humano usa intensivamente el agua en sus diferentes actividades, ya sean domésticas, industriales, agrícolas, comerciales o recreativas. Este uso intensivo ha implicado el consumo de volúmenes de agua cada vez mayores. La creciente demanda de agua provocada por el aumento acelerado de la población y el deterioro de la calidad de nuestros recursos acuíferos, han obligado a modificar los patrones de comportamiento relacionados con su uso (Treviño Arjona y Cázares Rivera, 1999).

Actualmente la escasez de agua se está convirtiendo en el problema número uno del mundo. Las continuas sequías y el incremento de la demanda de la creciente población reducen las reservas de agua (Sazakly et al., 2007). Aunado a esto, estimaciones recientes sugieren que el CC será responsable en alrededor del 20% del incremento de la escasez global del agua (Perló, 2006; IPCC, 2001).

Sin duda, las presiones sobre el sistema hidrológico aumentarán debido al crecimiento demográfico y al desarrollo económico, lo que plantea graves desafíos frente a la falta progresiva del vital líquido y su contaminación (Ibid). Sin embargo, el IPCC (2001:13) también menciona que la demanda de agua está disminuyendo en algunos países gracias a una mayor eficacia en su utilización y que el CC aumentará las reservas de agua disponible en otras zonas.

El agua ha sido por tradición uno de los recursos naturales menos valorados, en parte por la gran disponibilidad que solía tener, la cual ha venido disminuyendo a lo largo de las décadas. Hemos llegado a la época en que debemos fomentar el uso sustentable del agua para poder disminuir considerablemente el consumo y la contaminación del recurso (Treviño Arjona y Cázares Rivera, 1999).

Una forma de conservar agua es recolectar el agua de lluvia. Con la preocupación en aumento sobre la contaminación del agua y el agotamiento de los recursos acuáticos, ha surgido un renovado interés en la autosuficiencia de recolectar agua de lluvia, una de las fuentes más puras de agua a nuestra disposición (The Lady Bird Johnson Wildflower Center, S/A).

Agua y energía

El agua y la energía son dos recursos estrechamente relacionados y ambos son necesarios para una calidad de vida razonable. Usamos agua para ayudarnos a producir la energía que necesitamos, y el proceso de purificar y transportar el agua potable requiere de grandes cantidades de energía. Por lo tanto, ahorrar agua potable debería resultar en un ahorro de energía (Gleick, 1993; Chiu et al., 2009).

La civilización moderna ha incrementado su habilidad de transportar agua de un lugar a otro usando energía para bombearla sobre colinas y montañas. Cuando la demanda de agua en una región sobrepasa la habilidad de la misma para cubrirla, nuevas fuentes de agua cada vez más lejanas son explotadas. Si el agua es bombeada más rápido que el proceso natural de recarga, el nivel del acuífero baja y la distancia que el agua debe

alcanzar para llegar a la superficie aumenta, lo que lleva a la sobreexplotación del agua subterránea. Lo cual llevará al agotamiento de éstos recursos (Gleick, 1993).

No obstante lo anterior, la conservación del agua y de la energía rara vez se abordan de manera conjunta en la planeación tradicional de los sistemas de agua urbana. Desde que el agua de lluvia está disponible en sitios que requieren de agua no potable, los sistemas de recolección de agua ofrecen el potencial de bajar el consumo tanto del agua como de la energía (Chiu et al., 2009).

Agua en México

La disponibilidad de agua en México ha disminuido notablemente por el considerable aumento poblacional. En 1944, con una población estimada de 30 millones de habitantes, había una disponibilidad de 11,500 m³/hab/año, que considerada por los criterios de la UNESCO era alta (se considera alta una disponibilidad mayor a 10,000 m³/hab/año). En cambio, para el año 2000 bajó a 4,624 m³/hab/año, con una población de 97 millones de habitantes. Es decir, la disponibilidad de agua disminuyó a menos de la mitad en 50 años y para el 2020, con el aumento poblacional esperado (122 millones de habitantes según Chavarría, 2000) y de no realizarse inversiones de importancia en infraestructura, será solamente de 3,500 m³/hab/año (70% menos de la disponibilidad original) (Antaramián y García, 2006; COEECO, S/A).

Las proyecciones del Consejo Nacional de Población (CONAPO) estiman que se llegará a la tasa de cero crecimiento para el año 2050, pero para ese entonces, México tendrá unos 150 millones de habitantes y la disponibilidad de agua aumentará mucho

menos, por lo que se espera una importante reducción en el agua disponible per cápita (Antaramián y García, 2006).

Sin embargo, en México, debido a la accidentada topografía del territorio asociada a factores meteorológicos, la distribución del agua dulce no es homogénea e incluso presenta grandes contrastes, por lo que el problema del agua en México no es sólo de escasez sino de la distribución asimétrica que se presenta por las condiciones geográficas antes mencionadas (Chacón et al., 2006; Perló, 2006). En este sentido, hay realidades contrastantes entre las diversas regiones del país, particularmente entre la región sureste (disponibilidad alta) con el norte y el centro (disponibilidad baja) (Perló, 2006; Antaramián y García, 2006).

En el centro de México, la existencia de agua dulce es limitada debido a las condiciones de aridez que presenta la Altiplanicie Mexicana por los efectos de las Sierras Madre Oriental y Occidental. La única fuente de agua para esta zona es la cuenca del río Lerma-Santiago (Chacón et al., 2006), cabe señalar que la mayor parte de sus aguas están contaminadas por ser utilizado como canal receptor de desechos (domésticos e industriales) y por el lavado de las tierras de cultivo (Bueno Soria et al., 1981). Esta cuenca es compartida por cinco estados incluyendo el Estado de México, Querétaro, Guanajuato, Michoacán y Jalisco (Chacón et al., 2006).

Situación del agua en Morelia, Michoacán

El estado de Michoacán se localiza al sur del trópico de Cáncer, y por su topografía tiene una gran variedad de subclimas. Como consecuencia de la circulación atmosférica y el

movimiento anual de las celdas de presión, en casi todo el estado los meses de noviembre a abril son secos y de mayo a septiembre lluviosos. Las lluvias de verano y otoño se deben a la invasión de masas de aire cálido y húmedo procedentes del mar y en parte a los ciclones tropicales (Antaramián y García, 2006).

En Michoacán, la mayor parte de la población habita en zonas templadas, es decir a una altura mayor a los 1,500 metros sobre el nivel del mar. Sin embargo, el mayor volumen de agua está a menos de 500 metros, lo que implica un gasto adicional para elevarla a través del bombeo (Ibid.).

En el municipio de Morelia de este estado, se localiza la ciudad de Morelia, la cual se encuentra en la región hidrográfica Lerma-Santiago (Antaramián y García, 2006). Se encuentra a una altitud de 1920 msnm; cuenta con un clima predominantemente templado sub-húmedo, con lluvias en verano; una precipitación de 700-1,000 mm anuales (H. Ayuntamiento de Morelia, S/A); una temperatura media de entre 18-22° C (Instituto de Geografía-UNAM, S/A); y una población de 684,145 habitantes con una tasa de crecimiento del 1.69 (INEGI, 2008).

Desde el S. XVI y hasta 1940, la fuente tradicional de abastecimiento de la ciudad fue el agua proveniente del Río Chiquito. Después, ante la necesidad de aumentar la disponibilidad de agua debido al crecimiento poblacional, se diversificó el abastecimiento mediante el uso de otras fuentes como la presa de Cointzio, el manantial de La Mintzita y la red de pozos profundos. Sin embargo, a finales del siglo pasado hubo una tendencia hacia la perforación y explotación de pozos profundos en el interior de la ciudad (Ávila García, 1991).

A finales del siglo pasado el problema del agua en Morelia consistía en varios factores, pero para fines de este estudio sólo mencionaremos los siguientes: a) un aumento en la demanda de agua ante una población en ascenso; b) cambios en los patrones de consumo y elevados requerimientos de la industria; c) una sobreexplotación de algunas fuentes de abastecimiento (pozos profundos) en contraste con un subaprovechamiento de otros (manantiales) (Ibid.).

Las fuentes actuales de agua potable para la ciudad de Morelia se dividen en superficiales (una presa y varios manantiales) y subterráneas (pozos). Menos de la mitad del agua que llega a la ciudad se obtiene por escurrimiento, es decir por gravedad, y sin necesidad de inversión o gasto electromecánico, pero casi un 70% del total del agua servida se debe mover por acción electromecánica con el correspondiente costo de energía eléctrica (COEECO, S/A).

El manto freático se aprovecha mediante 67 pozos profundos que extraen un volumen variable de agua, mismo que ha presentado un descenso en su nivel de 30 m.¹ Los manantiales en el municipio son 16, pero el más importante es el de La Mintzita. El 49.5% del agua captada proviene de pozos profundos; sin embargo, la fuente de captación más importante es la presa de Cointzio. En la Tabla 1 se indica la producción de las diferentes fuentes de abastecimiento de agua para la ciudad de Morelia (Ibid.).

¹ Datos para el periodo comprendido entre 1987-1999

Tabla 1: Fuentes de abastecimiento de agua y producción para la Ciudad de Morelia (COEECO, S/A)

Fuentes de abastecimiento	Producción (l/seg)
Presa de Cointzio	450
Manantial La Mintzita	1,800 (850 aprovechados)
Manantial San Miguel	120
Manantial El Salto	40
Pozos profundos (62)	840
TOTAL	2,300

La mayoría de los manantiales se encuentran sobre explotados (COEECO, S/A) pero subaprovechados (Ávila García, 1991), la demanda es mayor a la oferta y se considera que en los próximos años habrá problemas de abastecimiento debido al crecimiento de la población y la acelerada pérdida de cobertura vegetal, que conlleva una alteración del ciclo hidrológico. Aunado a esto, la red de distribución de agua en la ciudad está deteriorada al punto en que se estima la pérdida del líquido en porcentajes cercanos al 40% (COEECO, S/A).

Colecta de agua pluvial

Una proporción de la población mundial no tiene acceso a fuentes seguras de agua. A pesar de los grandes esfuerzos para llevar agua segura y entubada a la población, la realidad es que el suministro de agua segura no estará disponible para toda la gente en un futuro cercano (Meera y Mansoor Ahammed, 2006). Es bajo este contexto que la recolección de agua de lluvia está teniendo mucha atención a nivel mundial como una fuente alternativa de suministro de agua y como una práctica urbana sustentable (Meera y Mansoor Ahammed, 2006; Farahbakhsh et al., 2009). Además, estos sistemas de recolecta

no sólo proveen una fuente de agua para aumentar su suministro, sino que también involucran al público en el manejo del agua, haciendo del mismo un asunto de todos (Abdulla y Al-Shareef, 2009).

La recolección de agua de lluvia puede promover significantes ahorros de agua en las residencias de diferentes países; por ejemplo, en Alemania se muestra un potencial de ahorro de entre 30-60% dependiendo de la demanda y del área de captura (Abdulla y Al-Shareef, 2009). El impacto que tienen estos sistemas en la conservación del agua es mayor cuando el número de aplicaciones finales se maximiza (Farahbakhsh et al., 2009).

Organismos gubernamentales alrededor del mundo están introduciendo políticas para promover el uso de agua de lluvia. Por ejemplo, en India, los gobiernos estatales han introducido una legislación que hace obligatorio el incorporar sistemas de recolección de agua pluvial en los edificios nuevos. Los gobiernos también están dando subsidios para promover el uso de estos sistemas incluso en países desarrollados como Alemania, Dinamarca, Australia y Nueva Zelanda. La introducción de esos sistemas en casas, edificios públicos e industria se hace bajo una visión de ahorro de agua (Meera y Mansoor Ahammed, 2006).

La recolección de agua es una práctica antigua que ha sido utilizada en muchas partes del mundo (Dillaha y Zolan, 1985; Sazakly et al., 2007; Farahbakhsh et al., 2009). Consiste en capturar el agua de lluvia de los techos y otras superficies duras (como superficies terrestres y carreteras) para usos futuros (Farahbakhsh et al., 2009). Actualmente la recolección de agua ha sido utilizada en áreas semi-áridas para reducir la escasez de agua (Hatibu et al., 2006), en áreas áridas o remotas donde la provisión de agua

por medio de redes de bombeo no es viable económica o técnicamente (Sazakly et al., 2007), y en zonas de alta o media precipitación pluvial para la obtención de agua para consumo (CEPIS/OPS, 2003; CEPIS/OPS, 2004).

La captura de agua es la recolección y almacenamiento deliberado del agua de lluvia, se puede decir que es un aumento de las reservas de agua subterráneas mediante estructuras hechas por el hombre (Jasrotia et al., 2009). Los objetivos y técnicas para la recolección de agua son muy específicos para cada región y por lo tanto, una tecnología desarrollada para una región en particular no puede usarse para otras áreas por razones fisiográficas, ambientales, técnicas y socio-económicas (Li et al., 2004; Jasrotia et al., 2009).

Componentes del sistema de recolección de agua

Un sistema de recolección de agua consiste básicamente en interceptar el agua de lluvia, recolectarla y almacenarla para su uso posterior. La intercepción del agua de lluvia se realiza generalmente en los techos de las viviendas; la recolección, mediante canaletas; y el almacenamiento; en tanques exclusivos para este fin (CEPIS/OPS, 2003; Li et al., 2004).

Cada sistema de recolección debe tener los siguientes subsistemas o componentes (Dillaha y Zolan, 1985; IDRC, 1990; Li et al., 2004; Zhu et al., 2004; Meera y Mansoor Ahammed, 2006; Sazakly et al., 2007; Chiu et al., 2009; Abdulla y Al-Shareef, 2009; Song et al., 2010):

- a) Sistema de captura o superficie de captura.
- b) Sistema de recolección de agua o de distribución.
- c) Sistema de almacenamiento del agua.

La superficie de captura y el sistema de recolección se encuentran en todos los sistemas de recolección. El sistema de almacenamiento es el componente más importante ya que es el responsable de la cantidad y calidad del agua recolectada (Li et al., 2004). Además de los componentes antes mencionados, otros autores también mencionan la importancia de sistemas de filtrado (Song et al., 2010) o interceptores (CEPIS/OPS, 2003; CEPIS/OPS, 2004), sistemas de liberación de la presión del agua, y unidades de procesos de pre o post-tratamiento (Farahbakhsh et al., 2009).

El agua de lluvia es recolectada usando la superficie de captura y el sistema de recolección en un arreglo que permite la desviación automática o manual de las primeras aguas del evento de lluvia (*first flush*) que vienen contaminada con suciedad y otros materiales lavados del techo, para luego permitir el paso del agua limpia en el tanque de almacenamiento (Sehgal, 2008; The Lady Bird Johnson Wildflower Center, S/A). Para la desviación del *first flush* se utilizan sistemas como la decantación, la filtración o los interceptores. En la Ilustración 1 se muestra un sistema de recolección de agua que utiliza interceptor.

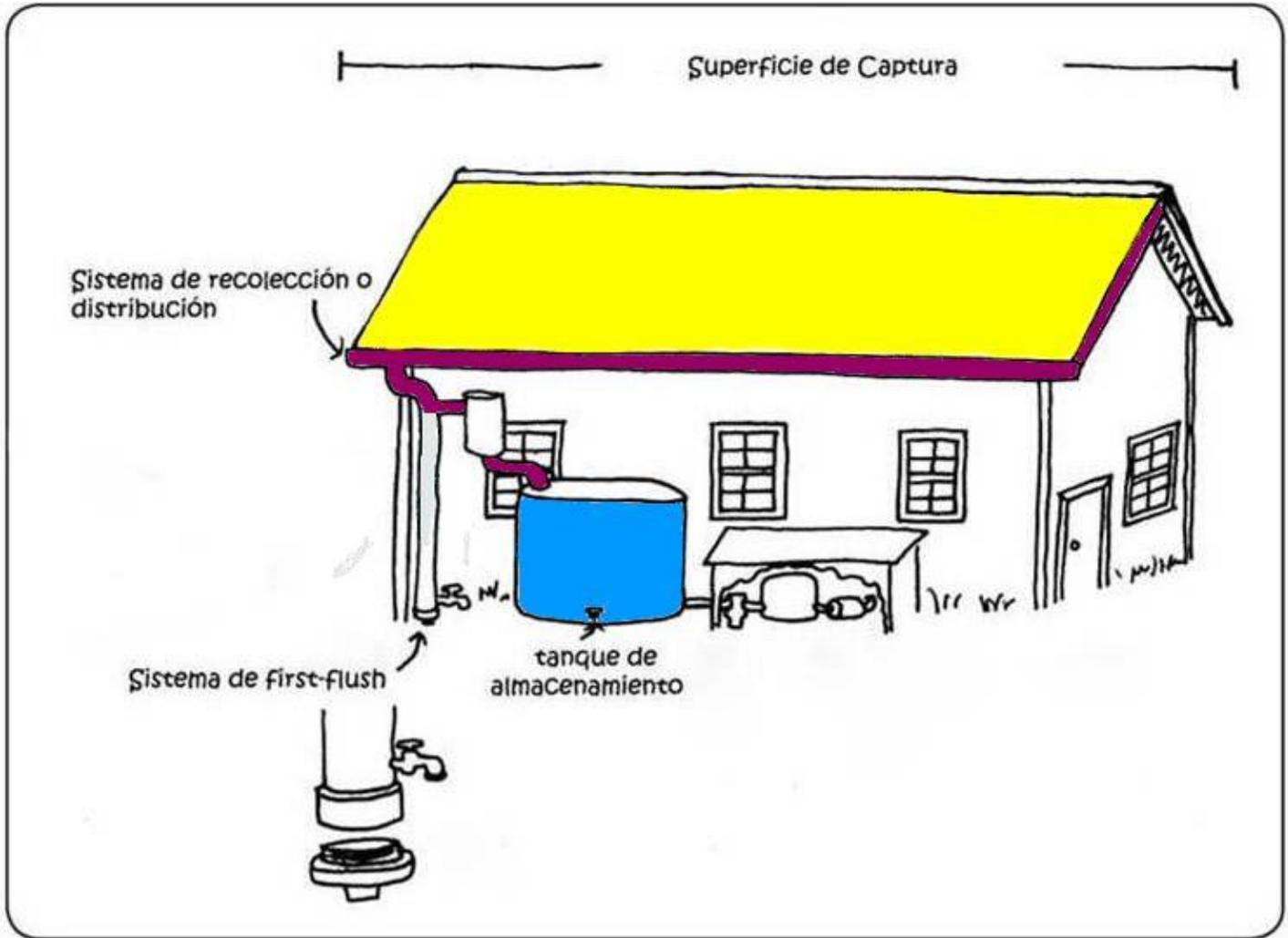


Ilustración 1: Sistema de recolección de agua pluvial (Fuente: elaboración propia)

Sistema de captura

Es la superficie destinada a la recolección del agua de lluvia (CEPIS/OPS, 2003). Generalmente es el techo (Dillaha y Zolan, 1985; Abdulla y Al-Shareef, 2009) y por lo tal, está limitada al área del mismo (Sehgal, 2008). El área efectiva del techo y los materiales del mismo influyen en la eficiencia de la recolección y la calidad del agua, por lo que se prefieren materiales lisos, limpios e impermeables (Abdulla y Al-Shareef, 2009). Se recomiendan materiales como: concreto, tejas de barro, ladrillo, acero galvanizado, fibra de vidrio, policarbonato y acrílico (Arias Chávez, 1979; Dillaha y Zolan, 1985; The Lady Bird Johnson Wildflower Center, S/A).

Sistema de recolección de agua o de distribución

Consiste en canales o tubos adheridos al borde del techo, éstos dirigen el agua recolectada a la cisterna o tanque de almacenamiento (IDRC, 1990; CEPIS/OPS, 2003; CEPIS/OPS, 2004; Sehgal, 2008; Abdulla y Al-Shareef, 2009). El tamaño de los canales depende del área del techo y de la cantidad de lluvia (Abdulla y Al-Sareef, 2009).

Sistema de almacenamiento del agua

Es el mayor componente del sistema (Sehgal, 2008), el más importante (Li et al., 2004) y el de mayor costo (Abdulla y Al-Shareef, 2009). Existen varios factores a considerar para el tanque de almacenamiento:

- a) Tamaño. El tamaño se determina por factores como el requerimiento de agua diario (IDRC, 1990; Sehgal, 2008; The Lady Bird Johnson Wildflower Center, S/A) y la cantidad de agua de lluvia disponible. Debe proveer una capacidad adecuada para recibir la cantidad de agua de lluvia requerida para maximizar la disponibilidad de agua durante los periodos secos (IDRC, 1990; Sehgal, 2008).
- b) Forma y ubicación. Existe una cantidad ilimitada de opciones en cuanto a la forma (cilíndrica, rectangular, cuadrada). La ubicación de los tanques puede ser encima o debajo de la tierra. Las ventajas de hacerlo en la superficie son: la facilidad de detección de grietas y fugas, la extracción del agua por gravedad y/o bombeo, la facilidad de drenarlos para su limpieza y que generalmente cuestan menos que los subterráneos, incluso pueden elevarse para incrementar la presión del agua. Las desventajas son que quitan espacio y están sujetas a condiciones ambientales. En cuanto a los tanques subterráneos, éstos pueden ahorrar espacio pero la extracción de agua es más difícil (Abdulla y Al-Shareef, 2009).
- c) Materiales de construcción. Deben considerarse los costos de construcción o compra. Los tanques comerciales generalmente están hechos de plásticos como polipropileno, polietileno de alta densidad, plástico reforzado con fibra de vidrio, acero galvanizado, y aluminio. Sin embargo, los tanques que se fabrican en el lugar hechos de concreto (Sehgal, 2008) y

ferrocemento (Dillaha y Zolan, 1985; IDRC, 1990; Sehgal, 2008) son una alternativa, aunque también están los de piedra.²

Para asegurar que el agua recolectada esté libre de contaminación, el tanque de almacenamiento debe incluir ciertas características especiales como (Sehgal, 2008):

1. Toda la superficie que estará en contacto con el agua debe ser resistente a la misma para no contaminarla.
2. El tanque debe estar completamente oscuro todo el tiempo para prevenir el crecimiento de algas.
3. Las entradas deben evitar el ingreso de materia cuando se abran y deben ser cubiertas con una pantalla que prevenga la entrada de insectos, reptiles y otros pequeños animales.

Beneficios y ventajas

Algunos beneficios que tienen los sistemas de recolección de agua son (Sehgal, 2008):

- Disminuyen o evitan el uso de energía para bombear agua de otras zonas.
- Reducen tanto la dependencia hacia ciertas áreas designadas para la captura, instalaciones de almacenamiento de agua, como la necesidad de expansión de las

² Información obtenida en comunicación personal con la Ing. Ma. Del Carmen Buerba Franco.

mismas o de la construcción de nuevas para cubrir los futuros requerimientos de agua.

- Disminuyen la erosión del suelo local.
- El agua recibida no tiene costo.
- El uso del agua recolectada reduce significativamente las facturas del agua.

En cuanto a las ventajas, se pueden mencionar las siguientes (IDRC, 1990):

- Mejora de la calidad del agua.
- Independencia relativa del sistema municipal o convencional.
- Los materiales para la construcción del sistema se pueden encontrar en la localidad.
- Tecnología relativamente simple.
- Facilidad de mantenimiento.
- Fácil acceso al agua y ahorro de tiempo al tratar de utilizarla.
- Provisión de agua al punto de consumo (o cerca de la misma), reduciendo tanto problemas de operación y mantenimiento como de costos de operación (Sazakly et al., 2007).

Desventajas

Las desventajas reportadas son el costo (IDRC, 1990; Abdulla y Al-Shareef, 2009) ya que es altamente dependiente del tipo de captura y transporte, del tamaño de la cisterna o tanque y del tipo de materiales usados para el tanque de almacenamiento (la parte más costosa del sistema es la cisterna). Mientras que el costo inicial del sistema de colección

puede ser significativa, el costo a largo plazo de operación y mantenimiento es razonable (Abdulla y Al-Shareef, 2009).

Calidad del agua de lluvia

El agua de lluvia es históricamente fiable y de calidad insuperable (The Lady Bird Johnson Wildflower Center, S/A); y se considera como agua sin contaminación (Meera y Mansoor Ahammed, 2006; Zhang et al., 2009) para aplicaciones no-potables, por lo que la filtración es usualmente el único proceso necesario antes de su almacenamiento (Zhang et al., 2009). Inclusive hay reportes que muestran que el agua de lluvia puede ser usada con propósitos de consumo sin ningún otro tratamiento, si el tanque de captura y todo el sistema en general se maneja y opera de manera apropiada (Abdulla y Al-Shareef, 2009; Song et al., 2010). Las propiedades físicas y químicas del agua de lluvia son usualmente superiores a las de las fuentes subterráneas, ya que éstas generalmente están sujetas a contaminación (UNEP, S/A).

Es evidente que con el desecho del *first flush*, la calidad del agua puede aumentar de manera significativa, ya que recoge la mayor parte de la suciedad, escombros y desechos (Zhu et al., 2004; Meera y Mansoor Ahammed, 2006; Abdulla y Al-Shareef, 2009). De igual manera, un mantenimiento regular de los tanques de almacenamiento ayuda en la calidad del agua (se debe limpiar el tanque anualmente) (Abdulla y Al-Shareef, 2009).

No obstante, la contaminación del agua puede ocurrir en cualquiera de las etapas de recolección y aún cuando el agua de lluvia se considera sin contaminación significativa,

ésta puede llegar a ser ácida (Meera y Mansoor Ahammed, 2006). Los potenciales riesgos a la salud por contaminantes microbiológicos y químicos debido a la ingesta del agua de lluvia debe ser tomada en cuenta (Sazakly et al., 2007) por lo que es necesario algún tipo sencillo de tratamiento del agua antes de que pueda usarse como una fuente de agua potable (Meera y Mansoor Ahammed, 2006; Sazakly et al., 2007; Sehgal, 2008).

La baja concentración de sales y minerales disueltos en el agua de lluvia permite la adición mínima de químicos neutralizadores como bicarbonato de sodio para ajustar el pH que viene ligeramente ácido y el uso de técnicas de desinfección de agua (como el uso de cloro, hervir el agua antes del uso, o tratamientos más sofisticados de ultra-filtración) (The Lady Bird Johnson Wildflower Center, S/A; Abdulla y Al-Shareef, 2009). Se recomienda clorar el agua al menos una vez cada época de lluvias y preferiblemente después de que la cisterna esté llena, y limpiar el área de recolección antes de que la temporada de lluvia inicie (Abdulla y Al-Shareef, 2009).

La calidad del agua recolectada y almacenada depende de las características de cada área en específico como: topografía; condiciones ambientales y aproximación a fuentes de contaminación (Vázquez et al., 2003; Evans et al., 2006); el tipo de área de colecta (Chang et al., 2004; Zhu et al., 2004); y el tipo de tanque (Dillaha and Zolan, 1985; Abdulla y Al-Shareef, 2009).

Debido a lo anterior, se considera necesario mencionar algunos métodos de purificación del agua aprobados por la Procuraduría Federal del Consumidor (Huerta Mendoza, S/A):

- Desinfección por ebullición. Para eliminar las bacterias se debe hervir el agua de 15-30 minutos.
- Desinfección con cloro. La cantidad de ésta sustancia que debe agregarse al agua depende de la concentración que tenga el compuesto de cloro que se venda en la región. Usualmente tres gotas por litro suele ser suficiente. Después de agregar el cloro se debe esperar media hora antes de tomar el agua. Este método puede cambiar el sabor del agua.
- Desinfección con plata iónica. Existen productos en el mercado para desinfectar agua y alimentos que utilizan compuestos de plata iónica o coloidal con efecto germicida. Los fabricantes recomiendan esperar cierta cantidad de tiempo después de añadirlos al agua, pero es preferible esperar el doble del tiempo sugerido.
- Filtros de cerámica. Estos filtros separan materia sólida del líquido gracias a sus poros finos. Es importante que liberen o estén impregnados con plata iónica ya que sobre los filtros se pueden desarrollar microorganismos. Los filtros están formados por una barra de cerámica cubierta por un cilindro metálico que se adapta a la llave del agua.
- Filtro de carbón activado. El agua pasa por un filtro de carbón activado, el cual contiene millones de agujeros microscópicos que capturan y rompen las moléculas de los contaminantes. Éste método elimina cloro, mal olor, sabores desagradables y sólidos pesados; asimismo retiene algunos contaminantes orgánicos como insecticidas, pesticidas y herbicidas. Estos filtros deben contar con un sistema de desinfección colocado después del filtro (como luz ultravioleta o plata iónica).

- Purificación por ozono. El ozono descompone los organismos vivos sin dejar residuos químicos que puedan dañar la salud o alterar el sabor del agua. Reduce el aspecto turbio, el mal olor y sabor del agua, la cantidad de sólidos en suspensión; elimina bacterias; inactiva virus y otros microorganismos que el cloro no puede destruir.
- Desinfección por rayos ultravioleta (UV). El agua pasa por un filtro que retiene las partículas en suspensión, después pasa por un filtro de carbón activado (eliminando mal olor, sabor, color y cloro), y finalmente se purifica por medio de luz UV que destruye bacterias.
- Purificación por ósmosis inversa. Se utiliza una membrana semipermeable que separa y elimina del agua sólidos, sustancias orgánicas, virus y bacterias disueltas en el agua. Puede eliminar alrededor de 95% de los sólidos disueltos totales y 99% de bacterias.

OBJETIVOS

Generales

- Calcular el porcentaje de los requerimientos de agua cubierta por la colecta de agua pluvial de una población en específico.
- Calcular las emisiones de CO_{2eq} que dejan de emitirse como resultado de la implementación del proyecto.

Particulares

- Estimar de la demanda de agua en las viviendas.
- Estimar la cantidad de agua que se puede obtener con un sistema de recolección mediante los datos de precipitación de Morelia.
- Proponer un diseño para la captura y almacenamiento de agua en viviendas ya construidas, en caso de ser necesario.
- Investigar la(s) fuente(s) de abastecimiento de agua para la zona de estudio.
- Calcular la distancia que debe ser bombeada el agua hasta la zona de estudio.
- Con base en la distancia de bombeo, estimar la energía necesaria para el mismo.
- Calcular las emisiones de CO_{2eq} resultado del transporte y potabilización del agua.

METODOLOGÍA

Elección de la zona de estudio

Se eligió la Colonia Chapultepec Sur de la Ciudad de Morelia como zona de estudio por su accesibilidad y porque se considera que tiene casas relativamente homogéneas que facilitarían el estudio. Según el Organismo Operador del Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Morelia (OOAPAS), esta colonia se encuentra dentro de una zona residencial, por lo que la tarifa de agua es la más alta (dentro de las zonas de servicio doméstico) (OOAPAS, 2010). Es por lo anterior que surge también el interés de trabajar con esta colonia, ya que al tener la tarifa más alta pudiera representar un primer buen ejemplo de ahorro económico al reducir el consumo de agua de la red.

Requerimiento diario de agua por persona

Según la OMS (2010b) cada persona necesita entre 20-50 litros de agua al día, no obstante, expertos regionales indican que el requerimiento diario de agua potable por persona en colonias residenciales es de 115 litros. Los cálculos a continuación se harán tomando el valor máximo recomendado por la OMS (2010b), es decir 50 l/hab/día y se comparará con lo que indican los expertos (115 l/hab/día).

Precipitación

Para obtener la precipitación media de la ciudad de Morelia se utilizó la base de datos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) (SMN, S/A). Los datos comprenden el periodo de 1971-2000. En la Tabla 2 se muestra el promedio tanto mensual como total anual para la ciudad de Morelia.

Tabla 2: Precipitación mensual en Morelia. Periodo 1971-2000

Precipitación mensual Morelia Periodo 1971-2000	
Mes	Promedio (mm)
Enero	15.8
Febrero	5.6
Marzo	7.5
Abril	9.9
Mayo	37.9
Junio	146.5
Julio	166.1
Agosto	167.8
Septiembre	131.6
Octubre	51.6
Noviembre	10.4
Diciembre	4.2
TOTAL ANUAL	754.9

Superficie de captura

Para obtener la superficie de captura con la que se trabajaría se consiguió un plano de la colonia con la superficie del terreno y de las construcciones (Dirección de Catastro, S/A). Posteriormente se hizo una verificación cuadra por cuadra en la colonia para eliminar:

- Terrenos sin construcción. Eliminados porque este estudio se enfocó en la superficie ya construida para aprovecharla como superficie de captura, de esta manera, los terrenos sin construcción no eran de utilidad.
- Negocios: Se eliminaron todos los negocios porque este estudio va dirigido a la cobertura de demanda de agua de las viviendas; un negocio requiere de más agua a comparación de una familia.
- Edificios: Éstos fueron eliminados porque en ellos vive más de una familia. Esto significa que al comparar entre casas y edificios la relación superficie de captura vs número de personas que habitan cada uno, la diferencia es grande, siendo mayor para los segundos.

Una vez eliminados los terrenos e inmuebles que no se tomarían en cuenta, se obtuvo el número de viviendas totales para el estudio (1190 casas) y utilizando únicamente la superficie construida de cada terreno, se calculó el promedio de las superficies, y de esta manera se obtuvo la superficie de captura promedio para la colonia. De igual forma se obtuvo la superficie de captura promedio del lote utilizando toda la superficie del terreno y no únicamente lo construido, esto con el fin de conocer la cantidad de agua pluvial que puede recolectarse si se quisiera extender el sistema a todo el lote. Lo anterior se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3: Superficie de captura por construcción y por lote para la Colonia Chapultepec Sur

	SUPERFICIE DE CAPTURA			
	Superficie de construcción (m ²)		Superficie de lote (m ²)	
Número de casas	Total	Promedio	Total	Promedio
1,190	149,149	125	221,599	186

Agua pluvial obtenida

Con el promedio de la superficie de construcción, el promedio de precipitación total anual y utilizando la relación 1 mm de lluvia por 1 m² de superficie = 1 litro de agua, se obtuvo el agua total anual por casa que se puede coleccionar (94,363 l/año). De la misma manera se obtuvo el agua total anual por terreno que puede coleccionarse (140,411 l/año). En la Tabla 4 se observan los resultados del cálculo anterior.

Tabla 4: Agua pluvial recolectada anual por construcción y por lote

Lluvia (mm/año)	Superficie (m2)		Agua obtenida por casa (l/año)	
	Lote	Construcción	Lote	Construcción
754.9	186	125	140,411	94,363

Cobertura de la demanda de agua

Para saber la demanda de agua de los habitantes que se cubre con la cantidad de agua que se recolecta, se utilizó el valor del agua obtenida por la superficie de construcción; y sabiendo que viven 4,207 personas en las 1190 casas del estudio³, es decir, 4 personas por vivienda, se obtiene la cantidad de agua con la que se cubre dicha demanda diaria del recurso. Asimismo se calculó el agua que podría obtenerse si se utilizara toda la superficie del lote. La Tabla 5 muestra los resultados antes descritos.

³ Cálculo realizado con base en la relación del número total de habitantes y el número total de viviendas de la colonia mencionado en el Plan de Desarrollo Municipal 2008-2011 del H. Ayuntamiento de Morelia

Tabla 5: Litros de agua por día por habitante recolectada por construcción y por lote

AGUA OBTENIDA	CONSTRUCCIÓN	LOTE
Por casa (l/año)	94,363	140,411
Por habitante al año (l/año/hab)	23,591	35,103
Por habitante por día (l/día/hab)	65	96

Propuesta de diseño

A continuación se proponen 2 diferentes diseños para la recolección de agua pluvial que pueden aplicarse a casas ya construidas. Los diseños se basan en techos planos y no de dos aguas ya que al hacer la revisión en campo de las casas de la colonia, se observó que la mayoría de los techos tienen la primera forma.

1. En este diseño se propone que el agua que baja del techo y va hacia el drenaje se desvíe hacia la cisterna para que se almacene y se utilice posteriormente. Todos los techos de la colonia poseen tubería para el agua pluvial, así que se utilizarán las mismas bajadas pero se desviarán al llegar al piso, para que en lugar de ir al drenaje, vayan al aljibe o cisterna. La Ilustración 2 muestra lo anterior comentado.
2. Esta opción implicaría colocar un “sobre-techo”, es decir, una construcción que sirva a manera de techo sobre la azotea de la casa; al final de este “sobre-techo” se haría la instalación del tubo que dirigiría el agua pluvial hacia la cisterna. La Ilustración 3 muestra el diseño propuesto.

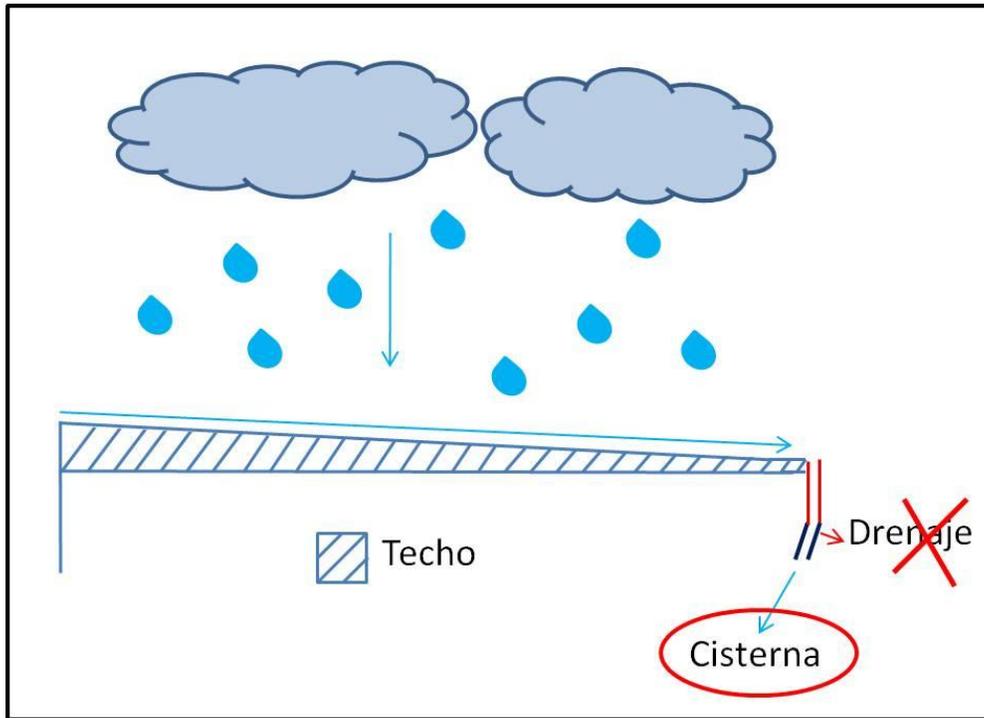


Ilustración 2: Diseño 1 de recolección de agua: desviación del agua

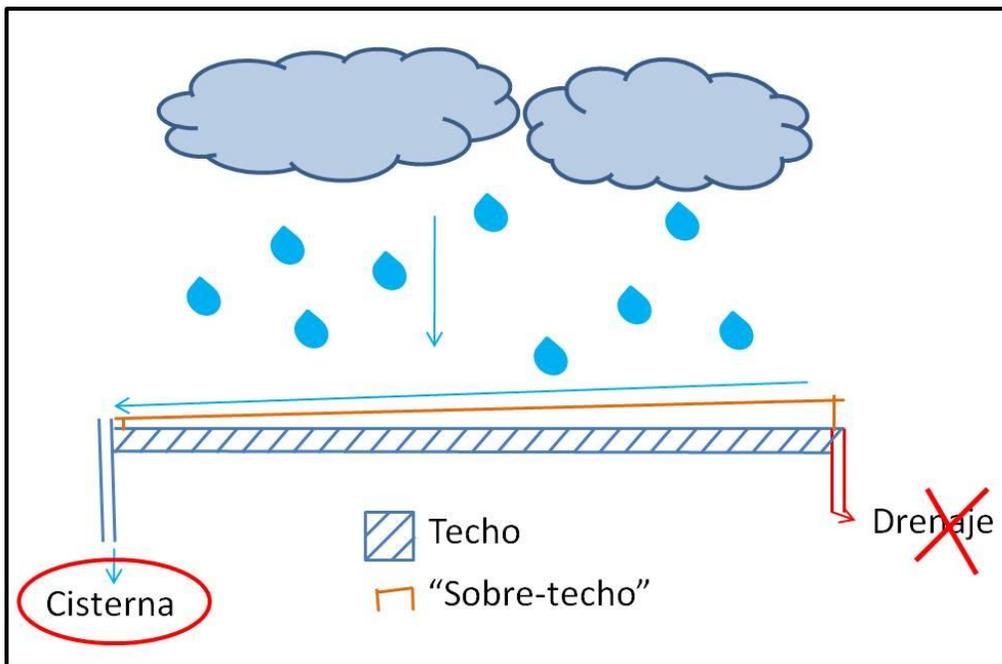


Ilustración 3: Diseño 2 de recolección de agua: Sobre-techo dirigido a la cisterna

Capacidad de almacenamiento necesaria

En la Ciudad de Morelia las principales precipitaciones se dan en verano, esto es cuatro meses (junio, julio, agosto, y septiembre). Esto significa que 1/3 del año llueve en grandes cantidades y no se necesita de un almacenamiento especial; sin embargo, el resto del año (2/3) no llueve, por lo que es necesario un espacio suficiente para el almacenamiento del agua. Para realizar el cálculo de la capacidad necesaria de almacenamiento del agua pluvial se utiliza la fracción del año en que no se presentan grandes precipitaciones y se multiplica por los m³ de lluvia que se recolectan anualmente, dando así la capacidad requerida para almacenar el agua recolectada y contar con ella todo el año (62.91 m³).

$$(2 / 3) (94.36 \text{ m}^3) = 62.91 \text{ m}^3$$

Fuentes de abastecimiento y transporte de agua a la zona de estudio

Como se describió anteriormente, las fuentes de abastecimiento de agua para la ciudad de Morelia son varias; sin embargo, la que abastece a la colonia Chapultepec Sur es el manantial de la Mintzita. El proceso de transporte del agua consiste en cuatro etapas (OOAPAS, S/A):

1. El agua se extrae del manantial de la Mintzita y abastece a la Planta Potabilizadora La Mintzita (PPM) (también llamada Santa María) con equipos de bombeo.
2. En la PPM se lleva a cabo el proceso de potabilización (se describirá más adelante) para luego alimentar por gravedad al Cárcamo de Mintzita (CM).

3. Del CM se bombea el agua a la Planta Potabilizadora Vista Bella (PPVB) con equipos de bombeo; ahí vuelve a ser potabilizada.
4. Una vez potabilizada el agua, ésta es distribuida de la PPVB a varias colonias (entre ellas la Chapultepec Sur) por gravedad.

Procesamiento del agua

Durante el proceso de abastecimiento de agua a la colonia Chapultepec Sur, el agua se potabiliza dos veces y aún cuando ambas se realizan con la misma tecnología, existen diferencias entre las plantas en cuanto a producción de agua y cantidad de insumos utilizados, inclusive se encontró que en la PPVB se realiza una fase que no se encuentra en la PPM (*). El proceso de potabilización se lleva a cabo de manera convencional (OOAPAS, 2008; OOAPAS, 2009):

1. Mezcla rápida. Es la dispersión de los productos químicos en la masa de agua (polímero, sílice activada -mezcla de silicato de sodio y ácido sulfúrico-, y sulfato de aluminio).
2. Coagulación y floculación. Proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas con peso específico mayor al del agua. Después de ser desestabilizadas, las partículas coloidales se trasladan dentro del líquido para hacer contacto unas con otras y aglutinarse.
3. Sedimentación. La sedimentación realiza la separación de los sólidos más densos que el agua.

4. Acondicionamiento*. Se le agrega hidróxido de calcio al agua para ajustar el valor del pH.
5. Filtración. Tiene la función de separar a los sólidos suspendidos, microflóculos y coloides que no fueron eliminados en la etapa de sedimentación.
6. Desinfección. Se aplica cloro gas en solución como desinfectante, su principal función es como bactericida.

Insumos requeridos para la potabilización del agua y costo de producción

Los insumos utilizados, así como su costo por kilogramo, la cantidad requerida para cada planta y el costo total mensual de los mismos se describen en el Tabla 6.

Tabla 6: Insumos, costo y cantidad, y costo total mensual de los mismos utilizados para la PPM y PPVB

Producto químico	Costo/kg	Planta potabilizadora	Cantidad de producto utilizado (kg/mes)	Costo total mensual
Sulfato de aluminio	2.09	Mintzita	40000	83600
		Vista Bella	75000	156750
Cloro	7.2	Mintzita	4500	32400
		Vista Bella	2600	18720
Polímero	30.16	Mintzita	2000	60320
		Vista Bella	2500	75400
Hidróxido de calcio	1.14	Mintzita	0	0
		Vista Bella	22000	25080
Silicato de sodio	3.92	Mintzita	0	0
		Vista Bella	12000	47040
Ácido sulfúrico	8	Mintzita	0	0
		Vista Bella	1200	9600
TOTAL	Mintzita			176320
	Vista Bella			332590

El Tabla 7 muestra el costo total de producción: costo mensual por los insumos más el costo de potabilización.

Tabla 7: Costo de potabilización y de insumos mensual por planta

Planta Potabilizadora	Insumos (\$)	Potabilización (\$)	TOTAL (\$)
Mintzita	176,320	187,142	363,462
Vista Bella	332,590	1,089,472	1,422,062

El costo mensual total de producción generado anteriormente, se dividió por la producción de cada planta y se obtuvo el costo de producción por litro para cada planta potabilizadora, lo cual se muestra en la Tabla 8, asimismo se muestra el costo de producción por litro total (suma de los costos por planta).

Tabla 8: Costo de producción por litro por planta y total

Planta Potabilizadora	Producción mensual (l)	Costo de producción mensual	Costo de producción por litro
Mintzita	363,462	3,888,000,000	9.3483×10^{-5}
Vista Bella	1,422,062	1,632,960,000	87.0849×10^{-5}
TOTAL	1,785,524	5,520,960,000	96.4332×10^{-5}

Reducción de emisiones

Los datos obtenidos para realizar los cálculos de reducción de emisiones fueron: la cantidad y potencia de las bombas requeridas para el proceso de transporte del agua (Tabla 9), y la cantidad de energía utilizada en cada planta potabilizadora para el proceso de potabilización (Tabla 10).

Tabla 9: Número de bombas (con potencia) utilizadas para el transporte del agua

No. De bombas	Potencia (HP)
3	75
2	300
4	400

Tabla 10: Energía eléctrica utilizada mensualmente para el proceso de potabilización

Planta Potabilizadora	Energía utilizada	
	kWh	MWh
Mintzita	140,000	140
Vista Bella	839,796	840
TOTAL	979,796	980

ANÁLISIS Y RESULTADOS

Con la cantidad de agua por habitante al día que se recolecta mediante un sistema de recolección de agua, es decir, los 65 l/hab/día que se tienen, se cubre el 130% del requerimiento máximo recomendado por la OMS; y el 57% del requerimiento señalado por los expertos. Si se aprovechara toda la superficie del lote, se podrían obtener 96 l/hab/día, cubriendo así el 192% del requerimiento señalado por la OMS y 83% del señalado por los expertos. Sin embargo, al utilizar toda la superficie del terreno se desvía el agua que sirve de riego para las zonas verdes de las casas, por lo que es necesario mencionar que los porcentajes de cobertura del requerimiento de agua disminuyen ya que se utilizará parte de lo obtenido para riego.

El volumen de agua enviado a la colonia en cuestión es de 984 m³/día, es decir 29'522,400 l/mes. Sin embargo, si se toma en cuenta una pérdida del 25% por transporte y distribución del agua (Alatorre et.al., 2005), en realidad se reciben 22'141,800 l/mes. Al dividir este volumen recibido entre el número de habitantes de la colonia que menciona el H. Ayuntamiento de Morelia (S/A) (5,038 habitantes), el resultado es de 4,395 l/hab/mes, es decir 147 l/hab/día. Esta cifra es mayor que la recomendada tanto por la OMS (2010b) como por los expertos regionales.

En cuanto a la reducción de emisiones de CO_{2eq}, se obtuvieron los siguientes resultados:

1. Uso de bombas para el transporte del agua. En total se utilizan 9 bombas con diferente potencia (3 de 75 HP; 2 de 300 HP; 4 de 400 HP). Estas potencias se

multiplicaron por las horas de uso para obtener unidades de energía o trabajo (kWh), y de esta manera obtener las toneladas de CO_{2eq} emitidas por MWh con el siguiente factor de conversión: 1MWh = 0.498 ton CO_{2eq}.⁴ De esta manera se calculó que por el uso de dichas bombas se emiten 7,180 ton CO_{2eq} al año. En la Tabla 11 se muestra lo anterior.

Tabla 11: Toneladas de CO_{2eq} emitidas por el uso de bombas

Potencia (HP)	No. De máquinas	Uso (hr/día) ⁵	Potencia (kW)	Consumo eléctrico por bomba		Emisiones por bomba (ton CO _{2eq})	
				kWh	MWh	Diarias	Anuales
75	3	24	56	1,342	1	2	732
300	1	24	224	5,369	5	3	976
	1	20	224	4,474	4	2	813
400	2	24	298	7,159	7	7	2,602
	1	20	298	5,966	6	3	1,084
	1	18	298	5,369	5	3	976
TOTAL						20	7,183

2. Energía eléctrica utilizada para el proceso de potabilización. En esta parte únicamente se utilizó el factor de conversión antes descrito para obtener las emisiones de CO_{2eq}. El resultado fue que las dos plantas potabilizadoras en conjunto emiten 97.08 ton CO_{2eq} al año por el uso de energía para potabilizar el agua que es enviada a la colonia Chapultepec Sur. En la Tabla 12 se muestran los resultados encontrados.

⁴ Cálculo basado en el Balance Nacional de Energía 2007.

⁵ Información obtenida por comunicación personal con el Ing. Francisco J. Barboza Ornelas, Jefe del Departamento de Potabilización de la Planta Potabilizadora Vista Bella de la OOAPAS.

Tabla 12: Emisiones de CO_{2eq} por uso de energía para potabilizar

Planta Potabilizadora	Energía utilizada		Energía utilizada para la Colonia Chapultepec Sur	Emisiones de CO _{2eq} (ton)	
	kWh	MWh	MWh	Mensuales	Anuales
Mintzita	140,000	140	1	0.53	6.35
Vista Bella	839,796	840	15	7.56	90.73
TOTAL	979,796	980	16	8.09	97.08

Con los datos anteriores se sabe que se emiten 7,281 toneladas de CO_{2eq} anuales por producir y enviar 29'522,400 l/mes a la colonia. Sin embargo, con el sistema de recolección de agua sólo se captura un porcentaje de esta agua (32%), con lo que sólo se deja de emitir el CO_{2eq} correspondiente a este porcentaje. Lo anterior significa que con el uso de los sistemas de recolección de agua en la colonia Chapultepec Sur se mitigan 2,308 ton CO_{2eq}. No obstante se debe tomar en cuenta en esta parte también el factor de pérdidas por fugas, por lo que en realidad se dejan de emitir 2,885 ton CO_{2eq} al año. Esto debido a que si se sustituye el agua recolectada por el agua que envían las plantas potabilizadoras se necesitarían poco más de 11.5 millones de litros para que lleguen a la colonia los 9 millones de litros recolectados debido a las pérdidas en el sistema.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En cuanto a las discrepancias encontradas en la búsqueda de información para este estudio, se encontraron diferencias entre las recomendaciones de los requerimientos diarios de agua por habitante. Se mostró lo que la OMS y expertos regionales mencionan; sin embargo, la diferencia entre ambos valores es considerable. Lo anterior se cree que es debido a que el dato que menciona la OMS está basado en datos mundiales, es decir que promedia los requerimientos de países desarrollados con países en vías de desarrollo. Asimismo, estos datos pueden estar basados en un consumo mínimo indispensable (como para casos de desastre), pero que para nuestros hábitos estarían fuera del confort. En cambio, los expertos en la ciudad de Morelia, de acuerdo a los usos y costumbres de los pobladores de la misma, basan el cálculo del consumo diario por persona en 115 litros, ya que estos cubren el consumo-ingesta, limpieza y servicios sanitarios, asimismo se mencionó que esa recomendación está basada en un uso responsable y consciente.

Durante la revisión de los diseños con expertos en el tema se llegó a la conclusión de que el único diseño viable (en términos de costo y factibilidad) para casas ya construidas, es el Diseño 1, por lo que se invita a la implementación del mismo. Cabe señalar que para ninguno de los diseños propuestos se hizo un estudio del costo de instalación, debido a que no fue parte de los objetivos de este estudio. No obstante, si se quisiera implementar el diseño elegido como el más viable (Diseño 1), sí se recomienda hacer el análisis de costo de instalación.

Los diseños propuestos se hicieron para aplicarse a casas ya construidas, pero para futuras construcciones se recomienda el diseño de techumbres a dos aguas, dado que su

superficie será ligeramente mayor, el desplazamiento de agua es más rápido y la acumulación de polvo, hojas y basura serán menores. De igual manera se recomienda la instalación de la cisterna con la capacidad recomendada desde el inicio de la construcción.

La instalación de un sistema de recolección de agua pluvial en las casas busca crear una consciencia en los habitantes referente al consumo de agua. El uso de estos sistemas corresponde a un abastecimiento del recurso *in situ* que permite la disminución del gasto energético por bombeo del recurso y de los insumos para la potabilización. También se pretendió un ahorro económico para las viviendas que implementaran estos sistemas. Sin embargo, esto no pudo ser reflejado ya que según la estructura tarifaria que maneja OOAPAS (2010) es obligatorio pagar la tarifa correspondiente al rango comprendido entre 0-8 m³ de consumo. Esto quiere decir que, aunque sólo se utilicen por ejemplo 1,000 litros al mes (1 m³), el consumidor está obligado a pagar el precio que comprende dicho rango, estos son \$158.21, independientemente de lo consumido. A partir del noveno m³ se pagaría una tarifa por cada m³ de acuerdo al rango de consumo en que se encuentre, precio que no sobrepasa los \$18/m³ como puede observarse en la Tabla 13.

Tabla 13: Estructura tarifaria para uso doméstico en zona residencial (OOAPAS, 2010)

Rango de consumo en m ³		Tarifa por m ³ en zona residencial (\$)
Desde	Hasta	
0	8	158.21 ⁶
9	30	16.36
31	45	16.52
46	60	16.69
61	75	17.35
76	90	17.35
91	En adelante	17.35

⁶ Tarifa obligada independiente del consumo

El no necesitar de energía para bombear el agua a las casas, ni para potabilizarla, significa dejar de emitir 2,885 toneladas de CO_{2eq} a la atmósfera. Este CO_{2eq} que deja de emitirse puede entrar al mercado de bonos de carbono y ser un incentivo para el país para usar y expandir el uso de tales sistemas recolectores porque puede ser un ingreso económico. Se estima un precio de 13.54 euros por tonelada de CO_{2eq} en el mercado de bonos de carbono (Kruppa, 2010), por lo que se obtiene que por la mitigación de las 2,885 toneladas de CO_{2eq} debido al uso de sistemas de recolección de agua se pueden obtener 659,069 pesos mexicanos al año.⁷ Si se considera que este valor es sólo para una colonia de la ciudad de Morelia, puede pensarse en el gran alcance que esta propuesta tendría si se difundiera e implementara en lugares del país en donde sea posible la instalación, pues debe tomarse en cuenta la precipitación media del lugar.

⁷ Precio del Euro: 16.8720 pesos mexicanos, según la sección de divisas y metales de Banamex para el día 1º de Septiembre del 2010 www.banamex.com/esp/finanzas/divisas/divisas.html Fecha de consulta: 1/09/2010

REFERENCIAS

- Abdulla, F.A., y Al-Shareef, A.W. 2009. Roof Rainwater Harvesting Systems for Household Water Supply in Jordan. *Desalination*, 243, 195-207
- Alatorre F., C.; Aguillón M., J.E.; Cruickshank V., C.; Gamiño, B.; Martínez P., J.L.; Mendoza R., R.; Monje R., I.; Solís C., R.; Tripp R., M. 2005. *Diagnóstico documental energético e hidráulico del estado de Michoacán*. Instituto de Ingeniería de la UNAM, México.
- Antaramián, E., y García, E.O. 2006. Distribución Espacial de los Cuerpos de Agua en Michoacán. **En:** Ávila García, P. (coord.), *Agua y lagos. Una Mirada Desde lo Global hasta lo Local*. Colección Biblioteca Michoacana. México, 129-139
- Arias Chávez, J. 1979. Cartilla no. 2. *Sistema de captación y almacenamiento del agua pluvial*. Dirección General de Ecolodía Urbana, SAHOP, México, 49 p.p.
- Ávila García, P. 1991. Estudio Preliminar sobre el Deterioro Socioambiental en la Ciudad de Morelia: el caso del agua. **En:** López Castro, G. (coord.), 1991, *Urbanización y Desarrollo en Michoacán*, El Colegio de Michoacán: Michoacán, México, 233-259
- Barboza Ornelas, Francisco J. 2010. Comunicación personal.
- Bettelheim, E.C., y d'Origny, G. 2002. Carbon Sinks and Emissions Trading under the Kyoto Protocol: A Legal Analysis. *Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Science*, 360(1797) (Aug. 15, 2002), The Royal Society. 1827-1851.
- Bueno Soria, J.; López Aguado, J.B.; Marquéz Mayaudón, C. 1981. Consideraciones preliminares sobre la ecología de los insectos acuáticos del Río Lerma. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, 1(8), UNAM.
- CEPIS/OPS. 2003. *Especificaciones Técnicas. Captación de Agua de Lluvia para Consumo Humano*. Lima, Perú
- CEPIS/OPS. 2004. *Guía de Diseño para Captación del Agua de Lluvia* Lima, Perú
- Chacón, A.; Rosas, C.; Rendón, M.B. 2006. El Deterioro Ecológico de los Lagos de Cuitzeo, Pátzcuaro y Zirahuén. **En:** Ávila García, P. (coord.), *Agua y lagos. Una Mirada Desde lo Global hasta lo Local*. Colección Biblioteca Michoacana. México, 141-155
- Chang, M.; McBroom, M.W.; Scott Beasley, R. 2004. Roofing as a Source of Nonpoint Water Pollution. *Journal of Environmental Management*, 73, 307-315
- Chavarría, Mónica. 2000. Fortalecer política de población, reto demográfico de México: Conapo. CIMAC. 11 de Julio del 200. Disponible en: <http://www.cimac.org.mx/noticias/00jul/00071108.html> Fecha de consulta: 10/09/2010
- Chiu, Y.; Liaw, C.; Chen, L. 2009. Optimizing Rainwater Harvesting Systems as an Innovative Approach to Saving Energy in Hilly Communities. *Renewable Energy*, 34, 492-498
- COEEO. S/A. *Agenda 21 del Municipio de Morelia*, Michoacán, México

- De la Torre, A.; Fajnzylber, P.; Nash, J. 2009. *Desarrollo con Menos Carbono. Respuestas Latinoamericanas al Desafío del Cambio Climático*. Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/Banco Mundial: Washington, D.C.
- Development Education Program. 2002. Access to Safe Water. Learning Modules: Environmental. . Disponible en: <http://www.worldbank.org/depweb/english/modules/environm/water/index.html> Fecha de consulta: 2/06/2010
- Dillaha, T.A., y Zolan, W.J. 1985. Rainwater Catchment Water Quality in Micronesia. *Water Research*, 19(6), 741-746
- Dirección de Catastro del Estado de Michoacán. S/A. Cartografía Digital de Catastro del Estado. Michoacán
- Evaluación Exhaustiva del Manejo del Agua en Agricultura. 2007. *Agua para la Alimentación, Agua para la Vida*. Londres: Earthscan y Colombo: Instituto Internacional del Manejo del Agua.
- Evans, C.A.; Coombes, P.J.; Dunstan, R.H. 2006. Wind, Rain and Bacteria: The effect of Weather on the Microbial Composition of Roof-harvested Rainwater. *Water Research*, 40, 37-44
- Farahbakhsh, K.; Despina, C.; Leidl, C. 2009. Developing Capacity for Large-Scale Rainwater Harvesting in Canada. *Water Quality Research Journal*, 44(1), 92-102
- Fernández Cirelli, A. S/A. Situación del agua potable en América Latina. Universidad de Buenos Aires. CYTED. <http://www.cnea.gov.ar/xxi/ambiental/agua-pura/presentaciones-encuentro/Present%20Dra%20Fernandez%20Cirelli%20Situacion%20Agua%20Potable.pdf> Fecha de consulta: 2/06/2010
- Gleick, P.H. 1993. Chapter 6: Water and energy. **En su:** *Water in crisis. A guide to the World's Fresh Water Resources*. Oxford University Press: New York, United States. 67-79
- H. Ayuntamiento de Morelia. S/A. *Plan de Desarrollo Municipal 2008-2011*. Morelia, Michoacán.
- Hatibu, N.; Mutabazi, K.; Senkondo, E.M.; Msangi, A.S.K. 2006. Economics of Rainwater Harvesting for Crop Enterprises in Semi-arid Areas of East Africa. *Agricultural Water Management* 80, 74-86
- Hidalgo, J. 2009. Módulo 2. *Curso a Distancia: Nociones Generales sobre Cambio Climático ¿Qué Pasará en Copenhage?*
- Huerta Mendoza, L. S/A. Métodos para purificar agua. *Revista del consumidor*. Marzo, pp. 40-43, México.
- IDRC. 1990. *Sistema para Recolección de Agua de Lluvia*. El IDRC Informa 18(4), 20-21. Canadá. Disponible en: <http://idrinfo.idrc.ca/archive/ReportsINTRA/pdfs/v18n4s/111607.pdf> Fecha de consulta: 10/02/2010
- INA. 2005. Cartilla Educativa N° 3. *Ciclo del agua*. Argentina. Disponible en: http://www.ina.gov.ar/cartillas_edu/cartilla_3.htm#d Fecha de consulta: 25/04/10
- INEGI. 2008. Michoacán de Ocampo. *México y sus Municipios*. México
- INEGI. S/A. *Agua potable y alcantarillado*. Información para niños y no tan niños. Disponible en: <http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/agua/dispon.aspx?tema=T> Fecha de consulta: 2/06/2010

- Instituto de Geografía-UNAM. S/A. Atlas Nacional de México, Tomo II, Capítulo IV, *Temperatura Media*. 1ª ed. UNAM, México.
- IPCC. 2001. *Cambio Climático 2001: Informe de síntesis. Resumen para Responsables de Políticas*.
- Jaime P., A.; Mejía Maravilla, E. 1999. Los Retos del Siglo XXI. **En:** Cházaro L., S. (coord.), *Uso Sustentable del Agua en México. Reto de Nuestro Tiempo*. Ed. México, 1a ed. México, 193-222
- Jasrotia, A.S.; Majhi, A.; Singh, S. 2009. Water Balance Approach for Rainwater Harvesting Using Remote Sensing and GIS Techniques, Jammu Himalaya, India. *Springer Science*. 23, 3035-3055
- Kerr, R.A. 2000. Can the Kyoto Climate Treaty Be Saved from Itself? *Science. New Series*, 290(5493), Nov. 3, 2000, American Association for the Advancement of Science, 920-923.
- Kruppa, Marton. 2010. Russia wants clarity on JI's future. *Carbon Market Daily. A Point Carbon News Publication*. 161(06). 7 de Septiembre de 2010.
- Li, X.; Xie, Z.; Yan, X. 2004. Runoff Characteristics of Artificial Catchment Materials for Rainwater Harvesting in the Semiarid Regions of China. *Agricultural Water Management*, 65, 211-224
- Meera, V., y Mansoor Ahammed, M. 2006. Water Quality of Rooftop Rainwater Harvesting Systems: a Review. *Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA*, XX
- Naciones Unidas. 1998. *Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*
- OMS. 2010a. La ampliación del acceso al agua potable progresa, pero es necesario redoblar los esfuerzos en el saneamiento. Comunicados de prensa. 15 de Marzo de 2010. Disponible en: http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2010/water_20100315/es/index.html Fecha de consulta: 2/06/2010
- OMS. 2010b. *Water Services for Health*. Disponible en: <http://www.who.int/globalchange/ecosystems/water/en/> Fecha de consulta: 17/06/2010
- OOAPAS. 2008. *Planta Potabilizadora La Mintzita*.
- OOAPAS. 2009. *Planta Potabilizadora Santa María*.
- OOAPAS. 2010. *Decreto que contiene las tarifas para el cobro de los servicios que presta el Organismo Operador del Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Morelia, para el ejercicio fiscal de año 2010*. Morelia, Michoacán.
- OOAPAS. S/A. *Esquema General de Bombeo Manantial de Mintzita a Planta Potabilizadora Vista Bella*. Proporcionada por el Ing. Jesús Camacho Pérez, Jefe de Departamento de Distribución.
- Perló, M. 2006. Crisis Hidráulica y Políticas Públicas en México: Problemas y Alternativas. **En:** Ávila García, P. (coord.), *Agua y lagos. Una Mirada desde lo Global hasta lo Local*. Colección Biblioteca Michoacana. México, 49-63
- Rel-UITA. S/A. El agua en números. Disponible en: <http://www.rel-uita.org/agricultura/ambiente/agua/agua-en-numeros.htm> Fecha de consulta: 2/06/2010

- Saldívar, A. 2001. Seminario Internacional. Mesa: "Políticas Públicas ante el Cambio Climático". Ponencia: Mitigación, vulnerabilidad y adaptabilidad ante el Cambio Climático. Versión digital proporcionada por el autor.
- Sazakly, E.; Alexopoulos, A.; Leotsinidis, M. 2007. Rainwater Harvesting, Quality Assessment and Utilization in Kefalonia Island, Greece. *Water Research*, 41, 2039-2047
- Sehgal, J.D. 2008. Roof-top Harvesting of Rainwater –A sustainable Water Resource in S.E. Asia. *4th International Conference on Sustainable Water Environment: Innovative Technologies and Energy Efficient Solution*. Singapore, 17-19 November 2008
- Servicio Meteorológico Nacional. S/A. Normales Climatológicas 1971-2000. Estado de Michoacán. Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/normales/estacion/mich/NORMAL16080.TXT>
Fecha de consulta: 16/05/2010
- Song, J.; Han, M.; Kim, T.; Song, J. 2010. Rainwater Harvesting as a Sustainable Water Supply Option in Banda Aceh. *Desalination*, 251, 233-240
- The Lady Bird Johnson Wildflower Center. S/A. *Rainwater Harvesting*. The University of Texas at Austin. United States. Disponible en: <http://www.wildflower.org/howto/show.php?id=15&frontpage=true>
Fecha de consulta: 10/02/2010
- Treviño Arjona, B., y Cázares Rivera, E. 1999. Contaminación del agua. **En:** Cházaro L., S. (coord.) *Uso Sustentable del Agua en México. Reto de Nuestro Tiempo*. Ed. México, 1ª ed. México, 135-158.
- UNEP. S/A. *An Environmentally Sound Approach for Sustainable Urban Water Management: An Introductory Guide for Decision-Makers*. Disponible en: <http://www.unep.or.jp/ietc/publications/urban/urbanenv-2/2.asp> Fecha de consulta: 17/05/2010
- UNESCO. 2003. *Agua para todos, agua para la vida. Resumen*. UNESCO-WWAP.
- Valero, F. 2005. Kioto y las nuevas tecnologías. *Tribuna Complutense*. Universidad Complutense Madrid. Madrid, España.
- Varillas, G., y Hernández, P. 2009. Módulo 1. *Curso a Distancia: Nociones Generales sobre Cambio Climático ¿Qué Pasará en Copenhage?*
- Vázquez, A.; Costoya, M.; Peña, R.M.; García, S.; Herrero, C. 2003. A Rainwater Quality Monitoring Network: A Preliminary Study of the Composition of Rainwater in Galicia (NW Spain). *Chemosphere*, 51, 375-386.
- WHO/UNICEF. 2010. *Progress on Sanitation and drinking-water. 2010 Update*. WHO Press
- Zhang, D.; Gersber, R.M.; Wilhelm, C.; Voigt, M. 2009. Decentralized Water Management: Rainwater Harvesting and Greywater Reuse in an Urban Area of Beijing, China. *Urban Water Journal*, 6(5), 375-385
- Zhu, K.; Zhang, L.; Hart, W.; Liu, M.; Chen, H. 2004. Quality Issues in Harvested Rainwater in Arid and Semi-arid Loess Plateau of Northern China. *Journal of Arid Environments*, 57, 487-505