



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**ESPECIALIDAD EN ECONOMÍA AMBIENTAL Y
ECOLÓGICA**

FACULTAD DE ECONOMÍA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**COLECTA DE AGUA PLUVIAL COMO MEDIDA PARA EL USO
EFICIENTE DE LA ENERGÍA Y REDUCCIÓN DE EMISIONES DE
 CO_{2e}
ANÁLISIS ECONÓMICO Y AMBIENTAL**

ENSAYO

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
**ESPECIALISTA EN ECONOMÍA AMBIENTAL Y
ECOLÓGICA**

PRESENTA
TANIA ISABEL ARROYO-ZAMBRANO

TUTORA: M.C. KARINA CABALLERO GÜENDULAIN

MÉXICO, D.F.

JUNIO, 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.

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	5
2. SITUACIÓN DEL AGUA EN MORELIA, MICHOACÁN	7
3. COLECTA DE AGUA PLUVIAL	8
3.1 COMPONENTES DEL SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE AGUA PLUVIAL.....	9
3.2 CALIDAD DEL AGUA DE LLUVIA.....	11
4. OBJETIVO	12
4.1 OBJETIVOS PARTICULARES	12
5. METODOLOGÍA	13
5.1. PRECIPITACIÓN EN MORELIA	13
5.2 AGUA PLUVIAL OBTENIDA	14
5.3 CAPACIDAD NECESARIA DE LA CISTERNA.....	16
5.4 FUENTES DE ABASTECIMIENTO Y TRANSPORTE.....	19
5.5 INSUMOS REQUERIDOS PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA	20
5.6 COSTO DE ENERGÍA POR POTABILIZACIÓN.....	21
5.7 SISTEMA DE BOMBEO	22
5.8 COSTO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA APLICADA AL BOMBEO.....	23
6. ANÁLISIS Y RESULTADOS	25
6.1. OBTENCIÓN DE LOS COSTOS	25
6.2. OBTENCIÓN DE LOS BENEFICIOS.....	26
6.2.1. <i>Costos evitados</i>	26
6.2.2. <i>Estimación de las emisiones de CO_{2e}</i>	28
7. MÉTODOS DE EVALUACIÓN	32
7.1 CASH FLOW	32
7.2 VALOR PRESENTE NETO	32
8. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	34
ANEXO 1. RESUMEN DE LOS CRITERIOS EVALUADOS CON SUS CIFRAS EXACTAS	38
REFERENCIAS	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Precipitación promedio mensual en Morelia para el periodo 1976-2010 .	14
Tabla 2: Litros de agua recolectados por casa con diferentes áreas de superficie de captura	15
Tabla 3: Requerimiento de agua mensual por hogar con consumos de 115 L/hab/día y 150 L/hab/día.....	16
Tabla 4: Faltante/excedente de agua con base a diferentes consumos por persona y diferentes áreas de recolección.....	18
Tabla 5: Productos químicos utilizados en cada planta potabilizadora en el año 2011 con su respectivo costo	21
Tabla 6: Consumo anual (2011) de energía y costo para cada planta potabilizadora	22
Tabla 7: Potencia y número de equipos de bombeo utilizados para el transporte del agua	23
Tabla 8: Consumo y costo de la energía consumida en el Cárcamo de Mintzita, y costo correspondiente al agua enviada a la PPVB (2011)	24
Tabla 9: Costos anuales relacionados a productos químicos, potabilización y consumo de energía para bombeo en cada planta potabilizadora (expresado en millones de pesos)	27
Tabla 10: Emisiones anuales de CO _{2e} de las plantas potabilizadoras.....	28
Tabla 11: Emisiones de CO _{2e} en el Cárcamo de Mintzita	28
Tabla 12: Emisiones de CO _{2e} por el bombeo de agua.....	29
Tabla 13: Emisiones de CO _{2e} anual por proceso de potabilización y bombeo	30
Tabla 14: Emisiones CO _{2e} correspondientes al porcentaje de agua recolectado por los RWHS en la colonia.....	30
Tabla 15: <i>Cash Flow</i> estimado	32
Tabla 16: Cálculo del Valor Presente Neto con una tasa de descuento del 1%	33
Tabla 17: Cálculo del Valor Presente Neto con una tasa de descuento del 3%	33
Tabla 19: Estructura tarifaria para uso doméstico en zona residencial (OOAPAS, 2011)	34

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Componentes de un sistema de captación de agua pluvial	10
Ilustración 2: Proceso de transporte del agua desde el manantial de la Mintzita hasta la Colonia Chapultepec Sur, Morelia	20
Ilustración 3: Demanda de agua con diferentes consumos y oferta dada por la recolección de agua con diferentes áreas de recolección.....	37

COLECTA DE AGUA PLUVIAL COMO MEDIDA PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA Y REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO_{2e} ANÁLISIS ECONÓMICO Y AMBIENTAL

Resumen: El objetivo del presente estudio es realizar el análisis costo-beneficio de un proyecto sobre captación de agua de lluvia en una colonia de la ciudad de Morelia, Michoacán; así como calcular el valor presente neto del mismo para verificar la viabilidad económica del mismo. Para estimar los costos del proyecto se estimó el costo de instalación de los sistemas de captación de agua de lluvia. En cuanto a los beneficios, o costos evitados, se estimó el costo de producción del agua que es enviada a la zona de estudio y se reportó el costo proporcional que es evitado por el uso de los sistemas propuestos. Asimismo, un factor importante dentro de los beneficios fue el ingreso potencial por venta de bonos de carbono debido a la mitigación de CO_{2e} en que se incurre por la reducción en el consumo de energía para potabilizar y transportar el agua anteriormente enviada a la zona de estudio. Utilizando una tasa de descuento del 1 y 3% se obtuvo un VPN positivo, con lo que se demuestra que el proyecto es económicamente viable para su implementación.

Palabras clave: captación de agua de lluvia, eficiencia energética, análisis costo-beneficio, mitigación de CO_{2e}, cambio climático, valor presente neto.

Abstract: The main objectives of this study are the cost-benefit analysis of a rainwater harvesting project in a zone of Morelia city in Michoacán, México; and the estimation of the net present value of the project. To estimate the project's costs I took into account the installation cost of the rainwater harvesting systems. As what it comes for the benefits, or avoided costs, I estimated the production cost that is avoided due to the usage of the proposed systems. Furthermore, an important factor within the benefits was the carbon credits' potential income due to the CO_{2e} mitigation from the energy reduced from the purification and transportation (pumping) originally sent to the study zone. Using a discount rate of 1 and 3% the net present value obtained was positive, meaning that the project is economically viable.

Key words: rainwater harvesting, energy efficiency, cost-benefit analysis, CO_{2e} mitigation, climate change, net present value.

1. INTRODUCCIÓN

Las transformaciones sociales y económicas de los últimos 40 años han convertido a México en un país hegemónicamente urbano, en el 2010 la población residente en ciudades ascendió a 78% (ECLAC, 2010). Debido a esta centralización resulta un gran reto brindar los servicios básicos a toda la población urbana, sobre todo porque la subsistencia de este sector se basa en transportar servicios provenientes de otros lugares (e.g. agua, alimentos). Para la provisión diaria de los recursos que las ciudades requieren es necesaria, además de una fuerte inversión económica, un gasto constante de energía, con sus respectivos impactos ambientales tanto a escala local como global. En México, el 90.5% de la oferta de energía proviene de hidrocarburos fósiles (SENER, 2010) como el petróleo; de tal manera que el abasto de recursos hacia las viviendas urbanas representa también una magnitud significativa de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera.

El agua, en particular, es un recurso muy valioso y a la vez escaso. Si se pensara qué sucedería si el día de hoy no se contara con ella, actividades cotidianas, y a las que se está completamente acostumbrado serían muy difícil de realizar. De la totalidad de agua que abunda en la Tierra sólo el 2.5% es dulce y de éste porcentaje menos del 1% está disponible para consumo humano (INA, 2005).

Es por lo anterior que este recurso representa una gran preocupación a futuro. De acuerdo con el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) la falta de agua potable es uno de los mayores desafíos que la humanidad deberá enfrentar en este siglo. Aunado a ello se estima que los efectos del Cambio Climático (CC), como el aumento de temperatura y la disminución de la precipitación media anual, serán factores que influirán para que la escasez de agua a nivel global se incremente aproximadamente en un 20% (Perló, 2006; IPCC, 2001). A nivel nacional, esto representaría una disminución en

la disponibilidad del recurso, provocando un incremento sobre la vulnerabilidad hídrica a nivel de entidades (SEMARNAT, 2010: 145).

En México, a pesar de que la cobertura de abastecimiento de agua ha ido en aumento¹, la disponibilidad es deficiente e intermitente, por lo que el contar con agua entubada dentro de la vivienda no garantiza un abastecimiento suficiente para las actividades diarias, en especial por el esquema de tandeo² con el que se cuenta en muchas entidades del país.

La distribución asimétrica del agua es otro factor importante que dificulta el acceso al recurso, ya que existen grandes contrastes debido a la accidentada topografía del territorio, por ejemplo, en la región sureste existe una alta disponibilidad, mientras que en el norte se tiene una disponibilidad baja (Chacón et al., 2006; Perló, 2006). A esta distribución asimétrica se le deben añadir otros dos factores que dificultan el acceso al agua: el aumento de la población y la contaminación de gran parte de los cuerpos de agua dulce. Por todo lo anterior es imprescindible generar nuevas alternativas de obtención de agua y mejorar la eficiencia en el manejo del recurso.

En cuanto a la relación del agua y la energía, dichos recursos se encuentran 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, potabilizar y transportar el agua requiere de grandes cantidades de energía. Por lo tanto, ahorrar agua debería tener como resultado un ahorro de energía (Gleick, 1993; Chiu et al., 2009). No obstante, 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 (Chiu et al., 2009).

¹ En 1990 se tenía el 83% de cobertura y en 2010 esta cifra se incrementó al 91.5% (OMS, 2010; INEGI, 2011).

² El tandeo es la distribución del agua a los sectores de la ciudad sólo cierto número de horas al día.

Como se mencionó anteriormente la obtención y potabilización del agua, así como su distribución hasta los hogares, además de representar un gran consumo de energía, también representa pérdidas por fugas en los sistemas de agua potable; en México éstas pérdidas alcanzan, en promedio, un 36.7% (CONAGUA, 2012).

2. 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. La mayor parte de la población habita en zonas templadas, es decir a una altura mayor a los 1,500 msnm. Sin embargo, el mayor volumen de agua está a menos de 500 msnm, lo que implica un gasto en energía para elevarla (Antaramián y García, 2006).

La capital del estado, Morelia, se localiza en la región hidrográfica Lerma-Santiago (Ibid.) y se encuentra a una altitud de 1,920 msnm, cuenta con un clima predominantemente templado sub-húmedo, con lluvias en verano; una precipitación entre 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 4,351,037 con una tasa de crecimiento del 0.9 (INEGI, 2010).

Las fuentes actuales de agua potable para la ciudad de Morelia se dividen en superficiales (una presa y 16 manantiales) y subterráneos (67 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 con el correspondiente costo de energía eléctrica (COEECO, S/A).

La mayoría de los manantiales se encuentran sobre explotados (Ibid) pero subaprovechados (Ávila García, 1991), la demanda es mayor a la oferta y se considera que en los próximos años habrán problemas de abastecimiento debido al crecimiento de la población y la acelerada pérdida de cobertura vegetal, que conlleva a 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).

3. COLECTA DE AGUA PLUVIAL

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

Además de promover significantes ahorros de agua en residencias (Abdulla y Al-Shareef, 2009), la colecta de agua pluvial es una alternativa para el abastecimiento del recurso hídrico en la vivienda. Mediante ella, los usuarios pueden independizarse total o parcialmente de la red pública de agua potable (dependiendo de la zona), en muchas ocasiones insuficiente. La instalación de sistemas de recolección de agua pluvial (RWHS por sus siglas en inglés) ofrece beneficios muy valiosos en áreas donde, aunque haya mucha precipitación, el agua es escasa debido a la inexistencia de mecanismos permanentes de abastecimiento. En este caso puede representar grandes ahorros económicos al evitar el gasto en la obtención de agua mediante pipas o, por otro lado, hacerla accesible a quienes no puedan pagar por ella.

La recolección de agua de lluvia consiste en capturar el agua que precipita en techos y otras superficies duras (e.g. superficies impermeables terrestres, carreteras) para luego poder ser utilizada. Actualmente estos sistemas han sido utilizados 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).

Los objetivos y técnicas para la recolección de agua pluvial 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). Esto quiere decir que al diseñar los sistemas se debe tomar en cuenta el contexto de la zona donde se pretende implementar dichos sistemas.

3.1 Componentes del sistema de recolección de agua pluvial

Como ya se mencionó anteriormente, un RWHS consiste básicamente en interceptar el agua de lluvia, recolectarla, y almacenarla para su uso posterior. La intercepción del agua se realiza generalmente en los techos de las viviendas; la recolección se lleva a cabo mediante canaletas; y el almacenamiento se hace mediante tanques exclusivos para este fin (e.g. cisternas, tambos). Con lo anterior puede inferirse que cada sistema debe contener los siguientes subsistemas (Ilustración 1):

1. Sistema de captura o superficie de captura. Generalmente este sistema es el techo de las viviendas y por lo tal, está limitada al área del mismo.
2. Sistema de recolección de agua o de distribución. Consiste en canales o tubos adheridos al borde del techo que dirigen el agua recolectada a la cisterna o tanque de almacenamiento. El tamaño de las canaletas depende del área del techo y de la cantidad de lluvia.
3. Sistema de almacenamiento del agua. Es el mayor componente del sistema, el más importante y el de mayor costo. Asimismo, este sistema puede influir en la calidad del agua ya que debe los materiales utilizados para su construcción no deben ser contaminantes o soltar residuos, debe estar completamente oscuro para prevenir el crecimiento de organismos, debe estar bien cerrada para evitar la entrada de contaminantes y/o animales.

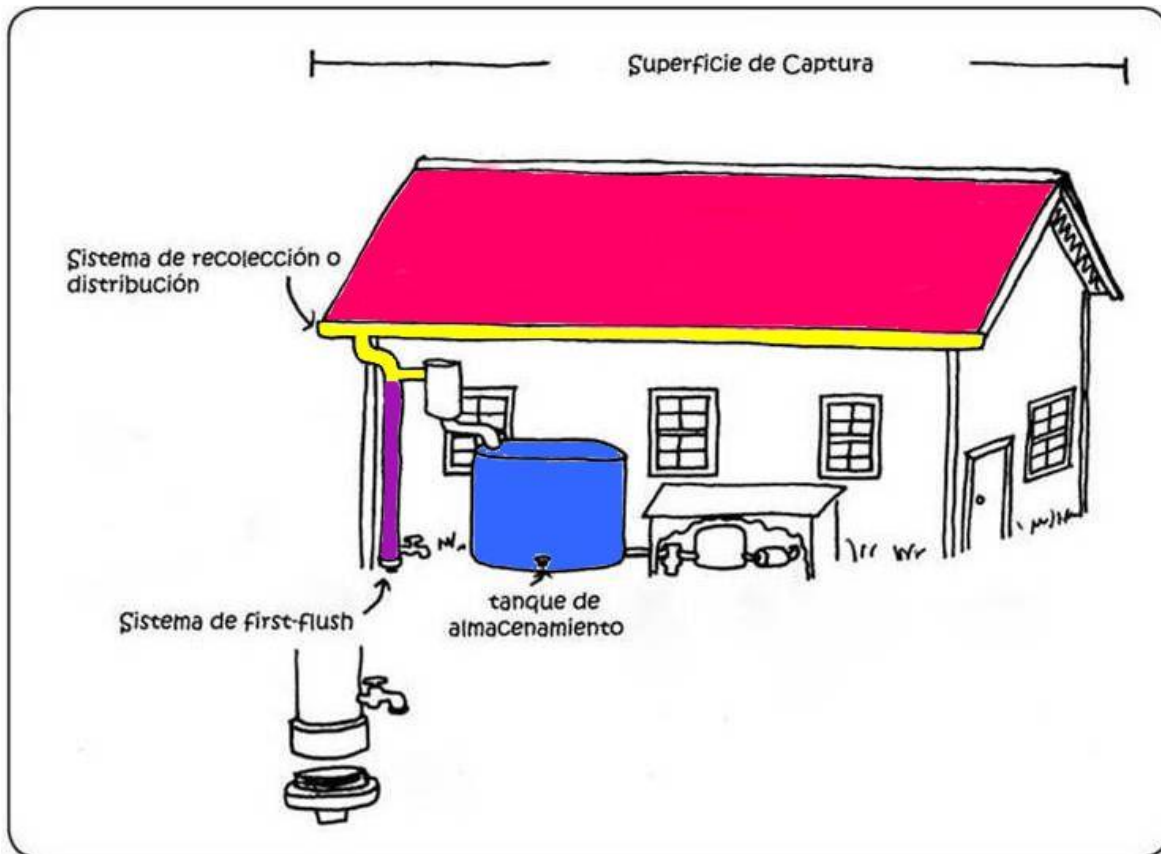


Ilustración 1: Componentes de un sistema de captación de agua pluvial. Fuente: Modificado de Stephen and Rebekah Hren (2008).

Aunado a los subsistemas antes mencionados, un cuarto componente debe ser considerado para aumentar la calidad del agua recolectada: un sistema desviador de primeras aguas o *first flush*. Dicho sistema consiste en un contenedor donde son captadas las primeras aguas de cada evento de lluvia, que son las que lavan el techo y por lo tanto contienen contaminantes (e.g. polvo, hojas de árboles, escombros). Este sistema debe desviar al menos 1 litro por m² de superficie de recolección para aumentar la calidad del agua; pero es recomendable que sean 2 litros por m² de superficie en zonas urbanas, para así reducir el 75% de contaminación.³

³ Información obtenida directamente de Enrique Lomnitz, Director de Isla Urbana en la IV Asamblea de IRCSA México celebrada el 10 y 11 de marzo del 2012 en la Ciudad de México.

3.2 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 para aplicaciones no potables (Meera y Mansoor Ahammed, 2006; Zhang et al., 2009), por lo que la filtración es usualmente el único proceso necesario antes de su almacenamiento (Zhang et al., 2009). 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).

Debido al ciclo hidrológico, el agua que precipita ya tiene un proceso de destilación, por lo que los contaminantes que hubiese podido tener estando en un cuerpo de agua o en la superficie terrestre son eliminados. Cuando el agua precipita puede absorber contaminantes en el aire que la pueden acidificar; no obstante, para que el agua se considere ácida debe tener un pH de 4⁴ (EPA, S/A), por esto, el agua de lluvia sigue siendo de buena calidad para usos no potables. En caso que se detectara que el agua que se obtiene está más ácida de lo normal, se podrían añadir químicos neutralizadores como bicarbonato de sodio para ajustar el pH de ácido a básico. Asimismo, si se quisiera utilizar el agua para usos potables, bastaría con usar técnicas de desinfección de agua (e.g. uso de cloro, hervir el agua antes del uso, filtros de carbón activado, purificación por ozono, desinfección por rayos ultravioleta -UV-).

⁴ El agua pura tiene un pH neutro, es decir, de 7; el agua limpia tiene un pH de 5.6 (EPA, S/A)

4. OBJETIVO

El objetivo principal de este estudio es realizar el análisis costo-beneficio de la implementación de sistemas de recolección de agua pluvial utilizando datos de un estudio previo⁵ sobre dichos sistemas en una colonia de la ciudad de Morelia, Michoacán.

4.1 Objetivos particulares

- Estimar la cantidad de agua que se puede obtener con un sistema de recolección de agua pluvial con base en datos de precipitación actualizados de la ciudad de Morelia.
- Conocer el costo de la potabilización, uso de energía para la misma y el bombeo del agua desde la fuente del recurso hasta la zona de estudio.
- Calcular las emisiones de CO_{2e} como resultado del transporte y potabilización del agua.
- Calcular el costo de instalación de los sistemas de recolección de agua pluvial.
- Estimar el potencial de ingreso por la venta del CO_{2e} mitigado en mercados de bonos de carbono.

⁵ Estudio titulado “Colecta de agua pluvial como medida para el aprovechamiento sustentable de la energía” realizado por Arroyo (2010).

5. METODOLOGÍA

La zona de estudio elegida es la Colonia Chapultepec Sur debido a que gracias a un estudio previo (Arroyo, 2010) ya se cuenta con una base de datos con la siguiente información:

- Superficies de construcción de las viviendas localizadas en la zona de estudio.
- Proceso de potabilización y transporte del agua enviada a la zona de estudio.
- Fuente de abastecimiento del recurso enviado a la zona de estudio.
- Etapas de transporte del recurso desde la fuente hasta la zona de estudio, así como la cantidad de recurso enviado.
- Número total de viviendas localizadas en la zona de estudio (excluyendo edificios y terrenos sin construcción).

Con base en los datos que ya se tienen de la colonia, este estudio se enfocará en la actualización de los mismos; adicionalmente se realizará el análisis costo beneficio del proyecto propuesto.

5.1. Precipitación en Morelia

Para obtener la precipitación media de la ciudad de Morelia se utilizó la base de datos del Observatorio Meteorológico de Morelia la Comisión Nacional de Agua (S/A) que comprende el periodo 1976-2010. En la Tabla 1 se muestra la precipitación promedio mensual y total anual para Morelia.

Tabla 1: Precipitación promedio mensual en Morelia para el periodo 1976-2010

Precipitación mensual Morelia Periodo 1976-2010	
Mes	Promedio (mm)
Enero	16.69
Febrero	14.28
Marzo	8.9
Abril	13.72
Mayo	43.34
Junio	138.67
Julio	178.41
Agosto	169.74
Septiembre	131.97
Octubre	52.89
Noviembre	12.25
Diciembre	7.09
TOTAL ANUAL	787.95

Fuente: Comisión Nacional del Agua, S/A.

Observatorio Meteorológico de Morelia, Michoacán.

5.2 Agua pluvial obtenida

Para calcular cuánta agua de lluvia puede ser recolectada es necesario conocer la precipitación promedio de la zona y la superficie de recolección. El primer dato se obtuvo en el apartado anterior, mientras que para el segundo se utilizará la superficie media de la colonia, que es de 125.33 m²; asimismo se estimarán resultados con base en el límite inferior (LI=124.53 m²) y el límite superior (LS=127.13 m²).⁶

Para estimar el agua que puede ser recolectada mensualmente por vivienda, es necesario tomar en cuenta las diferentes superficies de construcción de la colonia, los promedios de precipitación mensual, y la siguiente relación:

$$1mm \times 1m^2 = 1litro$$

⁶ La superficie media y los límites tanto superiores como inferiores se estimaron a partir de la base de datos elaborada en el estudio previo (Arroyo 2012)

De igual forma, es necesario incluir un factor de pérdida relacionada al material de la superficie de captura; en este caso se utilizará una eficiencia del 75% utilizada para techos de concreto.⁷ Asimismo, se incluye en la relación un factor de eficiencia del dispositivo (colector) de 80%⁸, quedando de la siguiente manera:

$$L = mm \times m^2 \times \text{Eficiencia del material} \times \text{Eficiencia de dispositivo}$$

En la Tabla 2 se observan los resultados del cálculo antes descrito.

Tabla 2: Litros de agua recolectados por casa con diferentes áreas de superficie de captura

Precipitación mensual Morelia Periodo 1976-2010		Litros de agua captados por casa dependiendo del área de superficie de captura (L)		
Mes	Promedio (mm)	Media	LI	LS
		125.33 m2	124.53 m2	127.13 m2
Enero	16.69	1,255.05	1,247.04	1,273.08
Febrero	14.28	1,073.83	1,066.97	1,089.25
Marzo	8.9	669.26	664.99	678.87
Abril	13.72	1,031.72	1,025.13	1,046.53
Mayo	43.34	3,259.08	3,238.28	3,305.89
Junio	138.67	10,427.71	10,361.15	10,577.47
Julio	178.41	13,416.08	13,330.44	13,608.76
Agosto	169.74	12,764.11	12,682.63	12,947.43
Septiembre	131.97	9,923.88	9,860.53	10,066.41
Octubre	52.89	3,977.22	3,951.84	4,034.34
Noviembre	12.25	921.18	915.30	934.41
Diciembre	7.09	533.15	529.75	540.81
TOTAL ANUAL	787.95	59,252.26	58,874.05	60,103.25

⁷ La eficiencia del material se obtuvo directamente de Enrique Lomnitz, Director de Isla Urbana, en el Curso de Captación de Agua de Lluvia los días 31 de marzo y 1º de Abril de 2012 en el DF. Dicha eficiencia es del 70-80% por lo que se tomó el dato promedio de ambos valores.

⁸ La eficiencia de dispositivo, en este caso de un sistema de recolección de agua pluvial, fue obtenida en la IV Asamblea de IRCSA México celebrada los días 10 y 11 de marzo de 2012 en la Ciudad de México.

5.3 Capacidad necesaria de la cisterna

Para calcular la capacidad de la cisterna necesaria para almacenar el agua que se recolecta, se debe conocer primero la demanda de agua por vivienda, para esto se utilizarán dos requerimientos de agua por habitante al día: 115⁹ y 150¹⁰ litros. Tomando en cuenta que cada vivienda está conformada por 4 integrantes (INEGI, 2010; PROFECO, 2011)¹¹, y la demanda de éstos, se obtiene un consumo de 460 y 600 L/día por vivienda con consumos de 115 y 150 L/hab/día respectivamente. En la Tabla 3 se muestra la estimación del requerimiento mensual de agua por vivienda con los diferentes consumos mencionados.

Tabla 3: Requerimiento de agua mensual por hogar con consumos de 115 L/hab/día y 150 L/hab/día

Requerimiento de agua por hogar con base en diferentes consumos (L)		
Mes	115 l/hab/día	150 l/hab/día
Enero	14,260	18,600
Febrero ¹²	13,800	18,000
Marzo	14,260	18,600
Abril	13,800	18,000
Mayo	14,260	18,600
Junio	13,800	18,000
Julio	14,260	18,600
Agosto	14,260	18,600
Septiembre	13,800	18,000
Octubre	14,260	18,600
Noviembre	13,800	18,000
Diciembre	14,260	18,600

⁹ Valor dado por expertos regionales considerando un consumo consciente. Asimismo, este valor es recomendado en ciudades europeas (Maceda, 2009; Alonso, 2011) e incluso se presenta como una meta dentro de los planes de Ahorro en España (Partido Castellano, 2011).

¹⁰ CONAGUA asegura que una persona necesita esta cantidad para satisfacer sus necesidades higiénicas y demás actividades del hogar (Rodríguez, 2011; Del Castillo, 2011). Asimismo, Profeco (2011) menciona que la familia promedio (integrada por cuatro miembros) consume aproximadamente dicha cantidad de agua.

¹¹ El tamaño promedio de los hogares en el Estado de Michoacán es de 4 habitantes (INEGI, 2010). PROFECO (2011) menciona que la familia promedio está integrada por cuatro miembros. Asimismo, en el Plan de Desarrollo Municipal 2008-2011 (p.112) se contemplan 5,038 viviendas y 1,425 habitantes en la colonia Chapultepec Sur, dando un total de 4 habitantes por vivienda.

¹² Se dejaron 28 días para el mes de Febrero

Una vez obtenido el consumo mensual por vivienda, este valor se le sustrae a la cantidad de litros recolectados por la superficie de captura y de esta manera se conoce el faltante o excedente de agua para cada una de las demandas mensuales. El faltante significa que no se ha cubierto al 100% el requerimiento de agua de los habitantes, por lo que sería necesario extraer agua de la red para hacerlo; mientras que el excedente indica que no sólo se ha cubierto el 100% de la demanda o requerimiento sino que existe una cantidad de agua sobrante. Es precisamente con base en los datos del excedente de agua que se calcula la capacidad de la cisterna ya que, como es agua que sobra es el agua que debe almacenarse para usos posteriores. En la Tabla 4 se observa la estimación del faltante/excedente mencionado.

Tabla 4: Faltante/excedente de agua con base a diferentes consumos por persona y diferentes áreas de recolección

Mes	Requerimiento de agua por hogar con base en diferentes consumos por persona (L)		Agua recolectada con diferentes áreas de superficie de recolección (L)			Faltante/excedente de agua con diferentes consumos por persona y áreas de recolección (L)					
						A = 125.33 m ²		A = 124.53 m ²		A = 127.13 m ²	
						115 l/hab/día	150 l/hab/día	125.33 m ²	124.53 m ²	127.13 m ²	115 l/hab/día
Ene	14,260	18,600	1,255	1,247	1,273	-13,005	-17,345	-13,013	-17,353	-12,987	-17,327
Feb	12,880	16,800	1,074	1,067	1,089	-11,806	-15,726	-11,813	-15,733	-11,791	-15,711
Mar	14,260	18,600	669	665	679	-13,591	-17,931	-13,595	-17,935	-13,581	-17,921
Abr	13,800	18,000	1,032	1,025	1,047	-12,768	-16,968	-12,775	-16,975	-12,753	-16,953
May	14,260	18,600	3,259	3,238	3,306	-11,001	-15,341	-11,022	-15,362	-10,954	-15,294
Jun	13,800	18,000	10,428	10,361	10,577	-3,372	-7,572	-3,439	-7,639	-3,223	-7,423
Jul	14,260	18,600	13,416	13,330	13,609	-844	-5,184	-930	-5,270	-651	-4,991
Ago	14,260	18,600	12,764	12,683	12,947	-1,496	-5,836	-1,577	-5,917	-1,313	-5,653
Sep	13,800	18,000	9,924	9,861	10,066	-3,876	-8,076	-3,939	-8,139	-3,734	-7,934
Oct	14,260	18,600	3,977	3,952	4,034	-10,283	-14,623	-10,308	-14,648	-10,226	-14,566
Nov	13,800	18,000	921	915	934	-12,879	-17,079	-12,885	-17,085	-12,866	-17,066
Dic	14,260	18,600	533	530	541	-13,727	-18,067	-13,730	-18,070	-13,719	-18,059

5.4 Fuentes de abastecimiento y transporte

Las etapas de que consta el transporte del agua que se suministra a la colonia Chapultepec Sur están definidas por su origen, es decir, ya que la planta Potabilizadora Vista Bella (PPVB) es la que suministra de agua a la zona de estudio, es necesario conocer de dónde viene el agua que llega a dicha planta. Dichas fuentes de abastecimiento son el manantial Mintzita y la presa de Cointzio, por lo tanto, se tienen dos trayectorias que convergen en la PPVB y es a partir de ésta que se tiene sólo una etapa en común: la colonia.

Así pues, para la trayectoria de la Mintzita a la colonia se reconocen 4 etapas que pueden enlistarse de la siguiente manera (OOAPAS, 2012) (Ilustración 2):

1. El agua se extrae del manantial de la Mintzita (MM) y abastece a la Planta Potabilizadora La Mintzita (PPM) mediante bombeo.
2. En la PPM se lleva a cabo el proceso de potabilización para luego alimentar por gravedad al Cárcamo de Mintzita (CM).
3. Del CM se bombea el agua a la PPVB mediante bombeo.¹³
4. De la PPVB, el agua se distribuye a varias colonias (entre ellas la Chapultepec Sur) por gravedad.

En cuanto a la trayectoria del transporte del agua desde la presa Cointzio a la colonia se tienen las siguientes dos etapas:

1. El agua se extrae de la Presa de Cointzio y es llevada a la PPVB por medio de gravedad.
2. De la PPVB, el agua se distribuye a varias colonias (entre ellas la Chapultepec Sur) por gravedad.

¹³ En la información recabada en 2010 para el estudio previo se dijo que el agua se potabilizaba dos veces; sin embargo, en la información que se solicitó para este estudio se dijo que el agua proveniente de la Mintzita, como ya fue potabilizada en la PPM, en la PPVB sólo se almacena y distribuye. Como la información está siendo actualizada se dejó lo dicho en el último comunicado

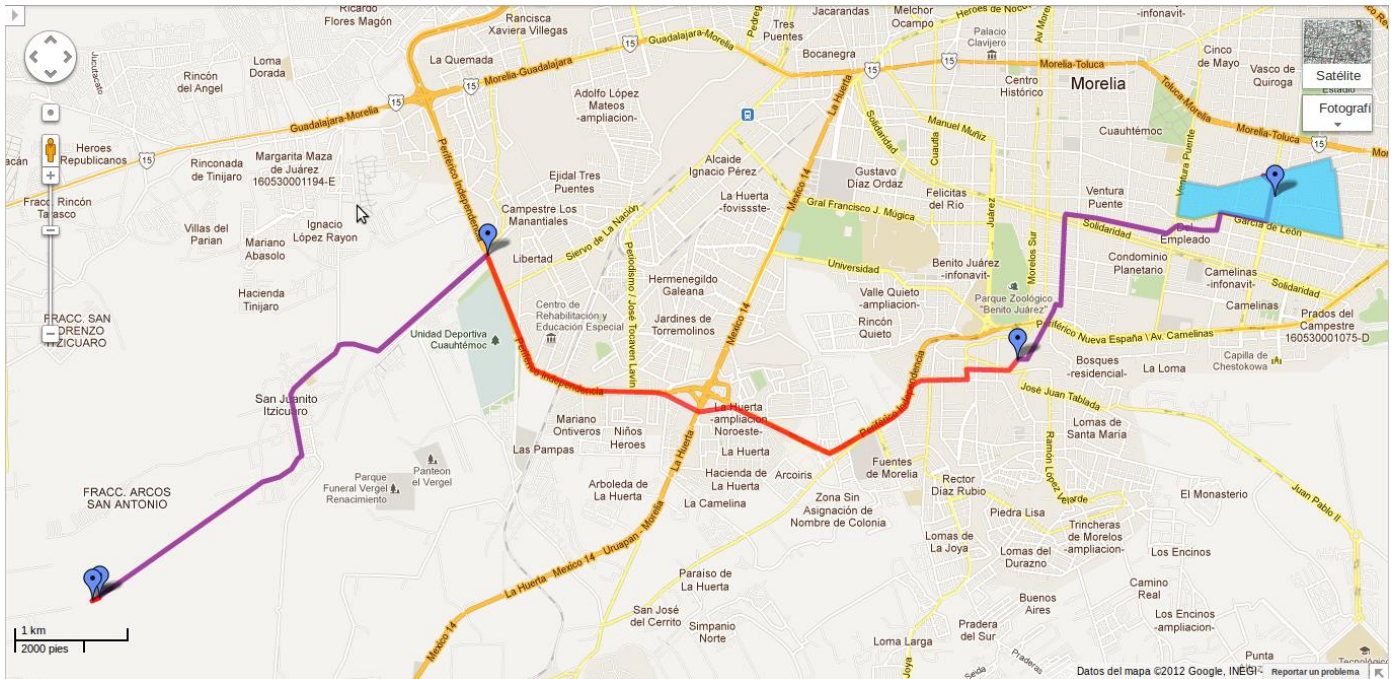


Ilustración 2: Proceso de transporte del agua desde el manantial de la Mintzita hasta la Colonia Chapultepec Sur, Morelia. Fuente: Elaboración propia. *Sitios aproximados

5.5 Insumos requeridos para la potabilización del agua

Como ya se mencionó anteriormente, una parte del agua se potabiliza en la PPM y otra en la PPVB y, aunque dicho proceso se realiza con la misma tecnología, se encontró que en la segunda se lleva a cabo una fase (*) que no se realiza en la otra. A continuación se describe el proceso de potabilización (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. Es el 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.

En la Tabla 5 se muestran productos químicos requeridos en cada planta, así como su costo:¹⁴

Tabla 5: Productos químicos utilizados en cada planta potabilizadora en el año 2011 con su respectivo costo

Producto químico	Costo (\$/ton)	Cantidad de producto utilizado por planta		Costo de productos químicos por planta (\$/año)	
		Vista Bella	Mintzita	Vista Bella	Mintzita
Sulfato de aluminio	2,924.00	954.9	229.7	2,792,128	671,643
Hidróxido de calcio	1,060.30	218.5	0	231,610	0
Silicato de sodio	4,025.10	121.9	0	490,648	0
Ácido sulfúrico	8,000.00	15.7	0	125,600	0
Cloro gas	7,200.00	30.4	55.3	218,880	398,160
Polímero	30,160.00	28.6	19.9	862,576	600,184
Algicida¹⁵	16,000.00	0	61.6	0	985,600
TOTAL ANUAL				4,721,441	2,655,587

5.6 Costo de energía por potabilización¹⁶

Debido a que la producción de agua y el uso de insumos es diferente en cada planta, el costo de producción también es distinto. Los costos de la energía

¹⁴ Datos para 2011

¹⁵ El algicida no fue mencionado la primera vez que se solicitó información a OOAPAS, sin embargo en la segunda ocasión sí.

¹⁶ Información obtenida mediante solicitud a OOAPAS con número de oficio SP/264/12

consumida en ambas plantas incluyen los propios del proceso de potabilización y los relacionados a servicios complementarios como iluminación, alimentación de oficinas e incluso el bombeo inicial utilizado en la Mintzita para trasvasar el agua del manantial hacia la planta.

Durante 2011 en la Planta Mintzita se tuvo un consumo eléctrico de 1.8 GWh con un importe de \$3 millones de pesos (MN); mientras que en la Planta de Vista Bella se tuvo un consumo eléctrico de 206 MWh con un importe de \$426 mil pesos (MN). En la Tabla 6 se muestra el consumo total durante 2011 de ambas plantas tanto en energía como en pesos, así como el total anual.

Tabla 6: Consumo anual (2011) de energía y costo para cada planta potabilizadora

Planta Potabilizadora	Energía (kWh)	Importe (\$)
Mintzita	1,817,200	3,015,860.01
Vista Bella	206,240	426,516.33
TOTAL ANUAL	2,023,440	3,442,376.01

5.7 Sistema de bombeo¹⁷

Durante el transporte del agua desde el Manantial de la Mintzita hasta la colonia Chapultepec Sur, se requiere de bombeo únicamente en dos de las cuatro etapas que se definieron anteriormente, esto es en la etapa 1) Manantial – PPM, y en la 3) CM – PPM. En las otras dos etapas el transporte es por gravedad.

El bombeo del manantial hacia la PPM está conformado por 5 equipos de 75 HP cada uno con las mismas características. La política de operación considera normalmente el trabajo simultáneo de 3 equipos y un máximo de 4 bajo condiciones de demanda/oferta específicas. El equipo restante se mantiene como respaldo.

Para el bombeo del CM hacia la PPVB se tienen 5 equipos, de los cuales, 4 son de 400 HP y 1 de 300 HP. En éste cárcamo se tiene otro conjunto de 3

¹⁷ Información obtenida mediante solicitud a OOAPAS con número de oficio SP/264/12

equipos de 200 HP cada uno que envían parte del volumen que proviene de la PPM hacia un segundo destino de distribución que es el tanque de Tzindurio. En este estudio se omitirán los últimos 3 equipos debido a que el agua que envían hacia el tanque de Tzindurio no es mencionado en las etapas de transporte del agua hacia la Colonia Chapultepec. En la Tabla 7 se presenta un resumen de los equipos utilizados.

Tabla 7: Potencia y número de equipos de bombeo utilizados para el transporte del agua

Etapas de bombeo	No. de bombas	Potencia (HP)
Manantial – PPM	3	75
CM – PPVB	1	300
	4	400

5.8 Costo de la energía eléctrica aplicada al bombeo¹⁸

Como ya se mencionó en el apartado anterior, el bombeo se presenta únicamente en la PPM y en el CM por lo que la energía eléctrica para funciones de bombeo tiene incidencia solamente en estos dos puntos. Aunque en los procesos internos de las plantas también se requiere de la aplicación de bombeo, éste se necesita en una cantidad mucho menor; por lo tanto, dicho costo se tiene en forma global, por lo que está incluido en el pago de energía eléctrica de la planta (detallado en la Tabla 6).

Asimismo, el costo del bombeo del Manantial a la PPM está incluido en el costo de potabilización mencionado en el apartado 5.6 (Ver Tabla 6), por lo que los datos de energía utilizada para bombeo, así como su costo, que hace falta sería el del CM.

En el CM se incluye el bombeo hacia la PPVB y al tanque de Tzindurio. La proporción de consumo de los dos bombeos sólo se reconoce en forma estimada y se establece en el orden del 80/20, es decir, el 80% del consumo es hacia la PPVB y el 20% restante corresponde al envío a Tzindurio. Durante 2011 se tuvo un costo de la energía eléctrica del CM de \$23.23 millones por un consumo de

¹⁸ Información obtenida mediante solicitud a OOAPAS con número de oficio SP/264/12

14.6 GWh y dadas las proporciones antes mencionadas se puede inferir que del costo total, sólo \$18.6 millones corresponden al agua que es enviada a la PPVB. De igual forma, del total de energía utilizada, únicamente 11.6 GWh corresponden al agua enviada a la PPVB. En la Tabla 8 se muestran las cifras exactas de los datos antes mencionados.

Tabla 8: Consumo y costo de la energía consumida en el Cárcamo de Mintzita, y costo correspondiente al agua enviada a la PPVB (2011)

	Total Global	Correspondiente al agua enviada a la PPVB (80%)
Consumo de energía (kWh)	14,577,979	11,662,383
Costo de la energía eléctrica (\$)	23,231,041	18,584,833

6. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Para este análisis es necesario conocer los costos y beneficios del proyecto, los cuales consisten en:

1. **Costos:** costo de la implementación del sistema de recolección de agua en las viviendas. Dicho valor es el único costo directo.
2. **Beneficios.** En este estudio, los beneficios hacen referencia a los costos evitados por la implementación y uso de los sistemas de recolección de agua pluvial. Los costos evitados están relacionados con la potabilización y bombeo necesarios para llevar el agua a la colonia Chapultepec Sur. Asimismo se estimarán las emisiones de CO_{2e} que se generan por el uso de electricidad en el proceso de transporte del agua y que se están mitigando por el uso de sistemas de captación de agua pluvial. Dicha mitigación puede entrar en los mercados de bonos de carbono y, de esta manera, se convierten en valores monetarios que representan un ingreso, por lo que entran a la contabilidad de los beneficios.

6.1. Obtención de los costos

Las casas están diseñadas de tal manera que el agua que precipita no se encharque en el techo, por lo que los techos ya tienen una inclinación y salida de las aguas pluviales, con esto se infiere que ya se tiene el sistema de recolección y distribución. La bajada de agua pluvial se encuentra en diferentes formas, la más conveniente para instalar un RWHS es la que se encuentra en la orilla del techo ya que basta con clausurarlas y abrir otras para dirigir el agua hacia el punto deseado.

En este estudio no fue posible revisar el techo de las viviendas para conocer el tipo de bajada que tienen por lo que se trabajará con el supuesto de que se cuenta con el tipo de bajada antes mencionado.

El costo de un sistema de RWHS es de entre \$6,000 - \$8,000 con mano de obra incluida y casas relativamente grandes.¹⁹ Los costos antes mencionados no incluyen la construcción de la cisterna.

Se trabajará con el supuesto de que todas las casas cuentan con una cisterna, esto porque estando en comunicación con arquitectos de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo se comentó que todas las casas de la colonia en cuestión deben tener cisternas debido a la escasez de agua. Asimismo, la empresa con la que se ha tenido comunicación y han proporcionado información, Isla Urbana, también menciona que en la actualidad, debido a la escasez, las casas deben tener si no una cisterna, al menos un contenedor donde almacenar el agua, por lo que se supone que las viviendas de la colonia ya cuentan con el sistema de almacenamiento.

El valor con el que se trabajará para el apartado de los costos es el promedio del rango de costos: **\$7,000**.

6.2. Obtención de los beneficios

6.2.1. Costos evitados

Para conocer el costo de potabilización y transporte del agua se sumarán los costos obtenidos previamente del consumo de productos químicos de ambas plantas de potabilización, los costos de energía por potabilización, y el costo de la energía eléctrica por bombeo, los cuales se resumen en la Tabla 9.

Una vez obtenido el costo de potabilización y transporte del agua, se debe calcular la proporción del mismo que corresponde al agua que es enviada a la colonia Chapultepec Sur para no sobreestimar estos valores.

¹⁹ Información obtenida directamente de Enrique Lomnitz, Director de Isla Urbana en la IV Asamblea de IRCSA México celebrada el 10 y 11 de marzo del 2012 en la Ciudad de México.

Tabla 9: Costos anuales relacionados a productos químicos, potabilización y consumo de energía para bombeo en cada planta potabilizadora (expresado en millones de pesos)

Concepto	Mintzita	Vista Bella	Cárcamo de Mintzita	TOTAL
Costo de productos químicos (\$/año)	2.66	4.72	N/A	7.38
Costo de potabilización (\$/año)	3.02	0.43	N/A	3.44
Costo de energía eléctrica por bombeo	N/A	N/A	18.58	18.58
TOTAL ANUAL	5.67	5.15	18.58	29.40

Al observar la Tabla 9 se sabe que el costo global de potabilización y transporte del agua que es tratada es de \$29.4 millones de pesos al año. Sin embargo, para estimar cuál es el costo correspondiente al agua enviada a la colonia en cuestión, es necesario primero saber cuánta agua es producida y, de ésta, cuánta es enviada a la colonia.

En comunicado personal con personal de OOAPAS se dijo que el costo por metro cúbico es de \$16.28, es decir, \$0.016/litro.²⁰ En la colonia se cuenta actualmente con un servicio continuo diario de 24 horas, con un gasto medio diario de 17.2 lps, por lo que se estima que anualmente la colonia recibe aproximadamente 542 millones de litros. Por lo tanto, al multiplicar los litros que son recibidos en la colonia por el costo de producción por litro se obtiene que se invierten alrededor de \$8.8 millones de pesos al año. No obstante, existe un factor de pérdidas por fugas del 40% (COEECO, S/A), por lo que si la colonia recibe 542 millones de litros, OOAPAS tendría que enviar un 40% más para recibir dicha cantidad de agua, es decir, cerca de **1,356 millones de litros al año**, perdiéndose así alrededor de 813 millones de L/año en el proceso de transportación. Por lo tanto, el costo de enviar agua a la colonia se incrementa, dando un total de poco más de **\$22 millones de pesos al año**.

²⁰ Comunicado personal vía correo electrónico con el Ing. Francisco Barboza (2010)

6.2.2. Estimación de las emisiones de CO_{2e}

Para poder estimar las emisiones de CO_{2e} es necesario conocer el consumo eléctrico de las plantas y del cárcamo de Mintzita, así como la energía o trabajo (MWh) consumido para el bombeo y para el proceso de potabilización. En todos los casos se utilizará el siguiente factor de conversión (The Climate Registry, 2012):

$$1MWh = 0.550 \text{ tonCO}_{2e}$$

Se tiene un consumo eléctrico de 1,817 MWh y de 206 MWh para la PPM y PPVB respectivamente por lo que, utilizando el factor de conversión antes mencionado, se estima que las dos plantas en conjunto emiten **1,113 ton CO_{2e} al año**. Como ya se explicó en el apartado del costo de la energía eléctrica aplicada al bombeo, el consumo de energía eléctrica global del CM es de 14.6 GWh, pero como sólo el 80% corresponde al agua enviada a la PPVB, únicamente se estimarán las emisiones de CO_{2e} de éste porcentaje, que son 11.7 GWh/año, dando una estimación de **6,414 ton CO_{2e} al año** (ver Tabla 10 y Tabla 11).

Tabla 10: Emisiones anuales de CO_{2e} de las plantas potabilizadoras

Planta potabilizadora	Consumo eléctrico		Emisiones CO _{2e}
	kWh	MWh	
PPM	1,817,200	1,817	999
PPVB	206,240	206	113
TOTAL			1,113

Tabla 11: Emisiones de CO_{2e} en el Cárcamo de Mintzita

	Consumo eléctrico		Emisiones CO _{2e}
	kWh	MWh	
Cárcamo de Mintzita	11,662,383	11,662	6,414

Para las emisiones por bombeo primero se obtiene la potencia (kW) de las bombas; en seguida se obtiene el trabajo o energía al multiplicar las potencias por las horas de uso; una vez que ya se tiene el trabajo que se consume por bomba,

se pueden calcular las emisiones de CO_{2e} utilizando el factor de conversión presentado al inicio de éste apartado. De esta manera se calculó que por el uso de las bombas se emiten **7,036 ton CO_{2e} al año**. En la Tabla 12 se observa el cálculo anterior.

Tabla 12: Emisiones de CO_{2e} por el bombeo de agua

Potencia (HP)	No. De bombas	Uso (hr/día)	Potencia (kW)	Consumo de energía por bomba		Emisiones por el total de bombas (ton CO _{2e})	
				kWh	MWh	Diarias	Anuales
75	3	24	55.93	1,342.28	1.34	2.21	808.39
300	1	24	223.71	5,369.13	5.37	2.95	1,077.85
400	2	24	298.28	7,158.84	7.16	7.87	2,874.27
	1	20	298.28	5,965.70	5.97	3.28	1,197.61
	1	18	298.28	5,369.13	5.37	2.95	1,077.85
TOTAL						19.28	7,035.98

Con base en los datos anteriores se sabe que en total se emiten 14,563 toneladas de CO_{2e} al año (Tabla 13) por producir y enviar 1,356,048 m³/año a la colonia. Sin embargo, tomando en cuenta el área de superficie de captura promedio de la colonia (125.33 m²) con un RWHS sólo se captura un porcentaje del agua enviada (5.2%) por lo que sólo se mitiga el CO_{2e} 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 alrededor de 757 ton CO_{2e} al año. 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 entre **1,893 ton CO_{2e} al año**. Lo anterior debido a que se están estimando las emisiones correspondientes a lo que se recolecta en la colonia, pero si OOAPAS enviara el agua que es recolectada en la misma, en realidad tendría que enviar el 40% más, correspondiente a las fugas, para asegurar que llegue a la colonia la misma cantidad de agua que se está recolectando. Los cálculos antes descritos se muestran en la Tabla 14.

Tabla 13: Emisiones de CO_{2e} anual por proceso de potabilización y bombeo

	Emisiones CO_{2e} anual
Plantas potabilizadoras	1,113
Cárcamo Mintzita	6,414
Bombeo	7,035.98
TOTAL	14,563

Tabla 14: Emisiones CO_{2e} correspondientes al porcentaje de agua recolectado por los RWHS en la colonia

Agua recolectada	Total por casa (L/año)	59,252.26
	Total en la colonia (L/año)	70,510,194.28
Porcentaje de agua captado en relación al agua enviada a la colonia (%)		5.20
Emisiones CO _{2e} correspondientes al porcentaje de agua recolectado (ton/año)		757.24
Emisiones CO _{2e} correspondientes al porcentaje de agua recolectado tomando en cuenta un factor de pérdida del 40% (ton/año)		1893.10

En un reporte del Banco Mundial (2010) se menciona que el precio medio del carbón (post-2012) estuvo en un rango de €7-7.50 por tonelada de CO_{2e}; de esta manera la mitigación de 1,893 ton CO_{2e}/año estimada previamente podría representar un ingreso por **\$238,814 MN/año**.²¹

Una vez obtenidos los gastos por instalación del sistema (\$7,000), se debe obtener el gasto para toda la colonia ya que el valor que se tiene es por vivienda. Sabiendo que hay 1,190 casas en la colonia, obtenemos que el costo de instalación de RWHS en toda la colonia sería de **\$8.9 millones MN**.

En cuanto al costo evitado que se puede cuantificar, se sabe que al año se ahorran o evitan poco más de \$22 millones de pesos por concepto de

²¹ Se utilizó el promedio del Precio del Euro Venta: 17.63 MX y Precio del Euro Compra: 17.1699 MX, según la sección de divisas y metales de Banamex para el día 25 de junio de 2012: http://www.banamex.com/economia_finanzas/es/divisas_metales/resumen.htm

potabilización y transporte del agua. No obstante, para este estudio, dicho valor está sobreestimado ya que indica el costo por potabilizar y transportar toda el agua que se produce en la PPVB, por lo que el valor que es de importancia para el estudio es el porcentaje del costo que es enviada a la colonia. Aún así, dicho costo sigue siendo sobreestimado ya que no es posible captar con un RWHS la misma cantidad de agua que es recibida/enviada a la colonia, por lo que es necesario estimar la proporción del costo que es ahorrada efectivamente por el uso de RWHS. Conociendo que OOAPAS envía anualmente aproximadamente 1,356 millones de litros a la colonia con un costo de \$22 millones de pesos, y que el potencial de captura es de 70.5 millones de litros al año (con base en la superficie promedio de captura), el costo por potabilización y transporte proporcional del agua enviada a la colonia es de **\$1.1 millones de pesos anuales.**

Por otro lado, el ingreso potencial por la venta de bonos de carbono asciende a **\$238,813 MN/año.** Es decir, en total, se tiene un beneficio económico de **\$1.4 millones de pesos al año.**

7. MÉTODOS DE EVALUACIÓN

Una vez obtenidos los costos y beneficios del proyecto, es necesario estimar el valor presente neto (VPN) del mismo. Para dicho análisis se requiere establecer el flujo de fondos (*cash flow*) esperado para luego estimar el VPN del proyecto y de esta forma determinar si la viabilidad del proyecto.

7.1 Cash Flow

La inversión del proyecto está definida por los costos del mismo, los cuales fueron estimados previamente (\$8,925,000 MN), dicha inversión se presenta en una sola ocasión. Los ingresos son anuales y por la misma cantidad. El *cash flow* se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15: *Cash Flow* estimado

Año	Inversión	Ingreso
0	- 8,925,000	
1		1,386,720
2		1,386,720
3		1,386,720
4		1,386,720
5		1,386,720
6		1,386,720
7		1,386,720
8		1,386,720
9		1,386,720
10		1,386,720

7.2 Valor Presente Neto

Para el cálculo del VPN es necesario definir una tasa de descuento. En este estudio se compararán dos tasas de descuento, 1% y 3%. Se proponen dichos valores debido a que, bajo la problemática ambiental y social en que nos encontramos, es trascendental darle importancia a la equidad intergeneracional.

De igual forma, por tratarse de un proyecto social, una baja tasa de descuento permite que el recurso pueda ser utilizado por otras generaciones. Una vez definida la tasa de descuento a utilizarse y, tomando en cuenta que la vida útil de los sistemas de recolección de agua pluvial es de 10 años, se tiene un VPN de \$4.2 y \$2.9 millones de pesos para una tasa de descuento del 1% y 3% respectivamente. El cálculo antes descrito puede observarse en la Tabla 16 y Tabla 17.

Tabla 16: Cálculo del Valor Presente Neto con una tasa de descuento del 1%

Año	Inversión	Ingreso	VP
0	-8,925,000		-8,925,000
1		1,386,720	1,372,990
2		1,386,720	1,359,396
3		1,386,720	1,345,936
4		1,386,720	1,332,610
5		1,386,720	1,319,416
6		1,386,720	1,306,353
7		1,386,720	1,293,418
8		1,386,720	1,280,612
9		1,386,720	1,267,933
10		1,386,720	1,255,379
	VPN		4,209,044

Tabla 17: Cálculo del Valor Presente Neto con una tasa de descuento del 3%

Año	Inversión	Ingreso	VP
0	-8,925,000		-8,925,000
1		1,386,720	1,346,330
2		1,386,720	1,307,116
3		1,386,720	1,269,045
4		1,386,720	1,232,082
5		1,386,720	1,196,197
6		1,386,720	1,161,356
7		1,386,720	1,127,530
8		1,386,720	1,094,689
9		1,386,720	1,062,805
10		1,386,720	1,031,850
	VPN		2,904,000

8. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Con lo anterior, se infiere que el proyecto es económicamente viable al tener un VPN positivo. Por lo tanto, el proyecto propuesto es económicamente viable. Asimismo se estima que el periodo de retorno de la inversión es de 7 y 8 años para una tasa de descuento del 1 y 3% respectivamente.

Se sabe que en Morelia el esquema tarifario del organismo operador de agua cobra una tarifa fija ya sea que se consuma 1 litro u 8 mil litros (*), y es solo a partir de los 9 mil litros de consumo que se empieza a cobrar por cada m³ extra. La Tabla 18 muestra lo antes mencionado.

Tabla 18: Estructura tarifaria para uso doméstico en zona residencial (OOAPAS, 2011)

Rango de consumo (m ³)		Tarifa en zona residencial (\$/m ³)
Desde	Hasta	
0	8	167.31*
9	30	17.30
31	45	17.47
46	60	17.65
61	75	18.35
76	90	18.35
91	En adelante	18.35

En consecuencia, el Estado no permite obtener un beneficio por el ahorro en el consumo de agua o bien por el uso de otras fuentes que signifiquen una reducción en la dependencia de los sistemas convencionales. Esto significa que no hay un incentivo para el ahorro de agua. Si el gobierno o el organismo operador de agua hicieran una modificación a la estructura tarifaria o bien, crearan alguna política que incentive el uso de sistemas de captación de agua pluvial, se podría cuantificar un beneficio monetario para el usuario.

Como el usuario no percibe un beneficio para sí mismo (debido a lo que se mencionó antes sobre las tarifas), el beneficio que se obtiene de estos sistemas

de captación de agua es para el organismo operador ya que este sí percibe tanto un ahorro por dejar de tratar y transportar el agua que llega a la colonia, como un ingreso por la venta de bonos de carbono. Es por esto que, en el supuesto de que el gobierno subsidiara el costo de instalación de los sistemas de recolección de agua pluvial en dicha colonia, a mediano plazo recupera la inversión y a largo plazo obtiene beneficios.

Existen una serie de beneficios que no tienen un costo cuantificable, a saber:

1. Ambientales

- 1.1 Se reducen las pérdidas por fugas en el sistema. Como ya se mencionó anteriormente, existe un porcentaje de fugas en el sistema de transporte, con lo que se pierden alrededor de 813 millones de litros al año. Al adaptar la fuente con el uso final se hace más eficiente el sistema ya que no se pierde agua debido al transporte.
- 1.2 Al captar el agua en las casas se deja de extraer agua de la fuente original. Con esto se deja de ejercer la actual presión sobre los cuerpos de agua de donde se obtiene el agua al menos durante la época de lluvias, con lo que se permite la recarga de los mismos.
- 1.3 Como no se puede almacenar toda el agua que llueve en temporada de lluvias, el sobrante se desvía a la red de drenaje, pero se podrían recargar mantos acuíferos y/o freáticos. En el caso de este proyecto, toda el agua recolectada es consumida (no existen excedentes), sin embargo, en el caso de que hubiesen excedentes, la recarga de acuíferos sería un beneficio.
- 1.4 La mitigación de CO_{2e} es un beneficio ambiental por el sólo hecho de dejar de emitir contaminantes a la atmósfera.

2. Energéticos

- 8.1. Al obtenerse agua en el lugar de consumo se disminuye el gasto energético por transporte y potabilización del agua.
- 8.2. Al presentarse una fuente alternativa de obtención de agua, ya no es

necesaria la expansión de fuentes artificiales (como presas), presentándose un gasto evitado por construcción, así como un ahorro en recursos porque ya no es necesario extraerlos y/o transportarlos.

3. Estructurales

3.1 Uno de los factores que causan el hundimiento de terrenos que se presenta en varias ciudades del país (como en la ciudad de México) se debe a la sobreexplotación de los mantos acuíferos. Si se infiltra el agua que es captada por los RWHS y que no puede ser almacenada, se contribuye a la recarga de los mantos y esto ayuda a evitar el hundimiento.

3.2 Durante cada evento de lluvia existe una descarga pico que es el flujo máximo de precipitación, es decir, hay un momento en el que se presenta una saturación de agua. Si no existe un adecuado sistema de drenaje, la descarga pico hace que se sature el sistema, presentándose así las inundaciones. Al estar almacenando una cantidad de agua del total que precipita mediante un RWHS, ésta deja de ser enviada al drenaje y con esto se puede coadyuvar a evitar las inundaciones.

Según la Evaluación socioeconómica del saneamiento de aguas residuales de Morelia (2007) en la ciudad existe un gran número de colonias con el servicio tandeado²², aproximadamente el 72.5%. Este punto no es válido para la colonia Chapultepec Sur ya que en ésta no se presenta el servicio de tandeo, pero para muchas otras zonas, no sólo de la ciudad de Morelia, los sistemas de captación de agua pluvial pueden coadyuvar al abastecimiento de agua.

En relación a la dimensión requerida de la cisterna, en este estudio se mostró que el agua de lluvia no es suficiente para satisfacer el 100% de los requerimientos de agua de los hogares por lo que todo lo que llueve se consume, de esta forma se observa que no hay requerimientos específicos para dimensionar la cisterna ya que, al no haber excedentes, no es necesario almacenarlos. En la Ilustración 3 se observa lo antes mencionado. No obstante, para poder almacenar

²² El tandeo es cuando se surte de agua a los diferentes sectores de la ciudad sólo cierto número de horas al día.

el agua que precipita, es necesario contar con una capacidad de al menos 13 m³, que es el dato más alto que se muestra en la Tabla 4, y que corresponde a la cantidad máxima de agua que puede ser recolectada según el LS del área de recolección.

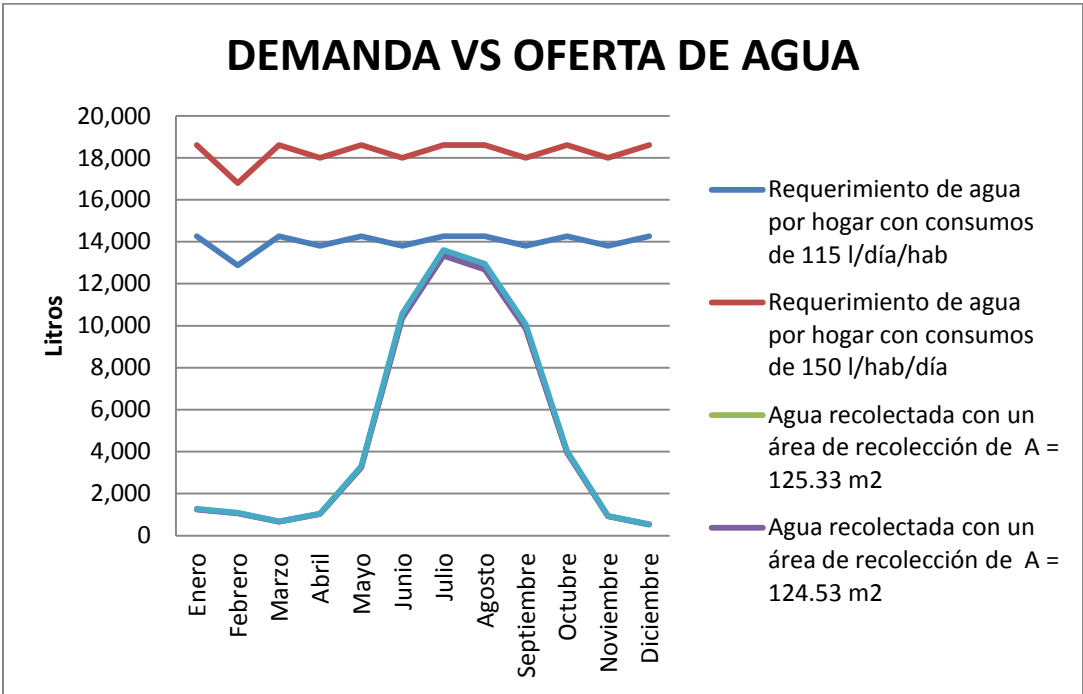


Ilustración 3: Demanda de agua con diferentes consumos y oferta dada por la recolección de agua con diferentes áreas de recolección

Aunque la recolección de agua pluvial no es la única solución a los problemas de agua, sí es una alternativa que coadyuva a la resolución del mismo. Asimismo ésta práctica, como ya se mencionó anteriormente, tiene otros beneficios que influyen en aspectos tanto económicos como ambientales y sociales.

Se espera que el uso de sistemas de captación de agua pluvial no sólo se deba a querer recibir beneficios económicos, sino a una consciencia ambiental y sobre todo de ahorro; es decir, se espera que la persona que instale dichos sistemas tenga una consciencia de ahorro y no-desperdicio del agua. Actualmente es de suma importancia de la cultura del ahorro no sólo del agua, sino de todos los recursos.

ANEXO 1. Resumen de los criterios evaluados con sus cifras exactas.

CRITERIO	CANTIDAD
Agua enviada a la colonia incluyendo el factor de pérdidas del 40% (L/año)	1,356,048,000.00
Agua perdida por fugas (L/año)	813,628,800.00
Agua recibida en la colonia por la red de distribución (L/año)	542,419,200.00
Ahorro por la potabilización y transporte del agua que deja de ser enviada a la colonia (\$/año)	1,147,905.96
Consumo de electricidad de la CM correspondiente a la colonia (80%) (kWh/año)	11,662,383.20
Consumo eléctrico de la PPM (kWh/año)	1,817,200.00
Consumo eléctrico de la PPVB (kWh/año)	206,240.00
Consumo eléctrico de la CM (kWh/año)	11,662,383.20
Costo de la electricidad consumida en el CM correspondiente al agua enviada a la colonia (80%) (\$/año)	18,584,832.80
Costo de la electricidad consumida en el CM (\$/año)	23,231,041.00
Costo de la electricidad consumida en la PPM (\$/año)	3,015,860.01
Costo de la electricidad consumida en la PPVB (\$/año)	425,516.33
Costo de la potabilización y transporte del agua enviada a la colonia (\$/año)	22,076,461.44
Costo de la potabilización y transporte del agua tratada (\$/año)	29,403,314.78
Costo de producción de agua por litro (\$/L)	0.02
Costo de un sistema de captación de agua de lluvia (\$)	7,500.00
Costo del agua recibida en la colonia (\$/año)	8,830,584.58
Costo por enviar agua a la colonia incluyendo el factor de pérdidas del 40% (\$/año)	22,076,461.44
Emisiones de CO ₂ de la PPM (ton/año)	999.46
Emisiones de CO ₂ de la PPVB (ton/año)	113.43
Emisiones totales de CO _{2e} (ton/año)	14,563.18
Ingreso potencial por venta de bonos de carbono por la mitigación de CO _{2e} (\$/año)	238,813.67
Mitigación potencial de CO _{2e} por el uso de sistemas de captación de agua pluvial (ton/año)	757.24
Mitigación potencial de CO _{2e} por el uso de sistemas de captación de agua pluvial incluyendo el factor de pérdidas (ton/año)	1,893.10
Potencial de recolección de agua en toda la colonia (L/año)	70,510,194.28
Producción de agua en la PPVB (m ³ /año)	19,595,520.00
Superficie de construcción total de la colonia (m ²)	149,148.83 ²³
BENEFICIO ECONÓMICO TOTAL (\$/AÑO)	1,386,719.63
COSTO ECONÓMICO TOTAL (\$)	8,925,000.00

²³ Dato obtenido directamente de la Dirección de Catastro, S/A. Se tienen las superficies de construcción de todas las casas de la colonia Chapultepec Sur, por lo que se sumaron para obtener la superficie de construcción total de la colonia

REFERENCIAS

- Abdulla, F.A., y Al-Shareef, A.W. 2009. Roof Rainwater Harvesting Systems for Household Water Supply in Jordan. *Desalination*, 243, 195-207
- Alonso, A.G. 2011. Bizkaia reduce su consumo de agua desde la sequía en 24,000 millones de litros al año. Disponible en <http://www.deia.com/2011/01/24/bizkaia/bizkaia-reduce-su-consumo-de-agua-desde-la-sequia-en-24000-millones-de-litros-al-ano> Fecha de consulta: 2/10/2011.
- 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
- Arroyo Z., T.I. 2010. Colecta de agua pluvial como medida para el aprovechamiento sustentable de la energía. Tesis para obtener el grado de Licenciado en Ciencias Ambientales. UNAM. México, pp. 43.
- 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
- 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
- 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

COEECO. S/A. Agenda 21 del Municipio de Morelia, Michoacán, México

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). S/A. Observatorio Meteorológico de Morelia, Michoacán.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2012. "Se emite norma para reducir fugas en sistemas de agua potable y drenajes". Comunicado de Prensa No. 062-12. México, D.F., 19 de febrero de 2012. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Comunicados/Comunicado%20de%20Prensa%20No.%20062-12.pdf> [Consulta: 25/02/12].

Del Castillo, Agustín. 2011. Habrá cortes del servicio porque falta agua en la ZMG. Milenio. 10 de marzo de 2011. Disponible en: <http://www.milenio.com/cdb/doc/noticias2011/3caab1c4736e2260b6f80d90cf89c1ea> Fecha de consulta: 2/10/2011.

Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC). 2010. 1.1.12 Population in the main metropolitan area. 1.1 Population. Statistical yearbook for Latin America and the Caribbean. Disponible en: http://websie.eclac.cl/anuario_estadistico/anuario_2010/eng/index.asp Fecha de consulta: 17/07/2012

EPA. S/A. La escala del pH. La lluvia ácida. Sitio para estudiantes. Disponible en:

http://www.epa.gov/acidrain/education/site_students_spanish/phscale.html

Fecha de consulta: 18/03/2012

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

Godínez G., R. 2007. Evaluación socioeconómica del saneamiento de aguas residuales de Morelia, Michoacán. OOAPAS. Disponible en: http://www.shcp.gob.mx/EGRESOS/ppi/Proyec_hidraulicos/saneamiento_morelia.pdf

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
- 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: 25/04/2010
- INEGI. 2010. Censo de población y vivienda 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.
- 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
- 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
- Maceda, Alberto. 2009. El agua de la discordia. Disponible en: <http://aquariofilabcn.wordpress.com/> Fecha de consulta: 2/10/2011.
- 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
- OMS. 2010. 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: 10/07/2012
- OOAPAS. 2008. Planta Potabilizadora La Mintzita.
- OOAPAS. 2009. Planta Potabilizadora Santa María.
- OOAPAS. 2011. 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 del año 2011.
- OOAPAS. 2012. Suministro de agua potable en la col. Chapultepec Sur. Resumen de variables que inciden en el servicio.
- Partido Castellano. 2011. Propuestas para Alcalá de Henares. Disponible en: <http://www.pcasmadrid.org/content/propuestas-para-alcal%C3%A1-de-henares> Fecha de consulta: 2/10/2011.
- 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.
- Profeco. 2011. Estudio de calidad: regaderas para aseo corporal. No la riegues. Revista del consumidor. Marzo 2011.
- Rodríguez, Salomón. 2011. No la riegue, mejor cuídela. El Economista. 13 de junio de 2011. Disponible en: <http://eleconomista.com.mx/finanzas-personales/2011/06/13/no-riegue-mejor-cuidela> fecha de consulta: 2/10/2011.
- Sazakly, E.; Alexopoulos, A.; Leotsinidis, M. 2007. Rainwater Harvesting, Quality Assessment and Utilization in Kefalonia Island, Greece. Water Research, 41, 2039-2047
- SEMARNAT. 2010. 3.2 Recursos hídricos. Parte 3: Los impactos económicos del cambio climático en México. La economía del Cambio Climático en México. Coord. Luis Miguel Galindo. México, D.F.
- SENER. 2010. Balance Nacional de Energía 2009. Subsecretaría de Planeación Energética y Desarrollo Tecnológico. Dirección General de Planeación Energética.
- Stephen and Rebekah Hren. 2008. *The Carbon-Free Home*. Chelsea Green Publishing. 1a ed.
- The Climate Registry. 2012. *Climate Registry Default Emission Factors 2012*.
- 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

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

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