Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas
ISSN: 2007-0934
revista_atm@yahoo.com.mx
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
México

López-Hernández, Nuria Aide; Palacios-Vélez, Oscar Luis; Anaya-Garduño, Manuel; Chávez-Morales, Jesús; Rubiños-Panta, Juan Enrique; García-Carrillo, Mauricio

Diseño de sistemas de captación del agua de lluvia: alternativa de abastecimiento hídrico

Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, vol. 8, núm. 6, agosto-septiembre, 2017, pp. 1433-1439
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Estado de México, México

Disponible en: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263153306016

Cómo citar el artículo
Número completo
Más información del artículo
Página de la revista en redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.8 Núm.6 14 de agosto - 26 de septiembre, 2017 p. 1433-1439

Diseño de sistemas de captación del agua de lluvia: alternativa de abastecimiento hídrico*

Rainwater harvesting systems design: an alternative for water supply

Nuria Aide López-Hernández[1§], Oscar Luis Palacios-Vélez[1], Manuel Anaya-Garduño[1], Jesús Chávez-Morales[1], Juan Enrique Rubiños-Panta[1] y Mauricio García-Carrillo[2]

[1]Colegio de Postgraduados-*Campus* Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. CP. 56230. (opalacio@colpos.mx; anayam@colpos.mx; chavezje@colpos.mx; jerpkike@colpos.mx). [2]Postgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Estado de México. México. CP. 56230. (mauricio@correo.chapingo.mx). [§]Autora para correspondencia: lopez.nuria@colpos.mx.

Resumen

Los sistemas de captación del agua de lluvia constituyen una alternativa para reducir la explotación de los acuíferos. El objetivo de este trabajo fue diseñar tres sistemas, para destinar el agua a uso doméstico de un hogar de cuatro integrantes, a consumo humano en una institución educativa de mil personas y al riego de *Stevia rebaudiana* en un invernadero de media hectárea; y comparar, el costo de la captación del agua de lluvia con el de extracción del subsuelo. Los tres sistemas fueron propuestos para el municipio de Calpulalpan, Tlaxcala. El desarrollo del trabajo consistió en generar una metodología de diseño considerando la estimación de la precipitación con una probabilidad 75% de ocurrencia y el dimensionamiento del sistema de almacenamiento, empleando el método de balance de masas. Adicionalmente se comparó el costo por metro cúbico del agua de lluvia captada contra el agua subterránea. Los resultados sugieren que el agua lluvia puede ser económicamente mas viable que la extracción del agua subterránea cuando la demanda es baja, además representa una contribución al desarrollo sostenible del municipio.

Abstract

Rainwater harvesting systems are an alternative to reduce aquifers exploitation. The aim of this research was to design three systems to allocate water for domestic use of a household of four, for human consumption in an educational institution of thousand people and irrigation of *Stevia rebaudiana* in a greenhouse of half a hectare; and to compare the cost of rainwater harvesting with that of subsoil extraction. The three systems were proposed for the municipality of Calpulalpan, Tlaxcala. The development of the research consisted in generating a design methodology considering the rainfall estimation from a 75% occurrence probability and the sizing of the storage system using the mass balance method. In addition, the cost per cubic meter of rainwater captured against that of groundwater was compared. The results suggest that the use of rainwater may become economically more viable than groundwater extraction when water demand is low, besides representing a contribution to sustainable development of the municipality.

* Recibido: julio de 2017
Aceptado: agosto de 2017

Palabras clave: alternativas sustentables, aprovechamiento de la precipitación, viabilidad económica.

Introducción

Aunque en algunas regiones del mundo el agua abunda, en general se torna cada vez más escasa, tanto en el aspecto cuantitativo como en calidad (Quispe, 2008), tanto que hay cifras que muestran que alrededor de 1 100 millones de personas en el mundo no tienen de acceso a fuentes de agua de buena calidad.

La principal fuente aprovechable de agua dulce es el agua subterránea (Neri, 2009). Desde 1940, la extracción mundial de agua ha aumentado entre 2.5% y 3% por año, en comparación con el crecimiento anual de la población que ha variado de 1.5% a 2%. Este problema ha traído consigo la explotación desmedida de muchos acuíferos.

En México, de los acuíferos se extrae aproximadamente 60% del volumen total concesionado para usos consuntivos y 106 están sobreexplotados. La mayor parte de la población rural depende de manera significativa del agua subterránea, y en algunas zonas áridas la dependencia es total (CONAGUA, 2012). La situación actual del recurso hídrico en el estado de Tlaxcala, México, es crítica debido al aumento en la demanda, al abatimiento del manto acuífero y a la contaminación del agua (Magaña, 2006). El municipio de Calpulalpan depende totalmente del agua subterránea.

Se propone la captación del agua de lluvia como una alternativa para hacer frente al problema de abastecimiento de agua y para reducir la explotación de los acuíferos. El objetivo de esta investigación fue diseñar tres sistemas de captación y aprovechamiento pluvial, uno para destinar el agua a consumo humano en una escuela de 1 000 usuarios (as), otro para uso potable en un hogar de cuatro integrantes y; un tercer sistema, para el riego de un invernadero de *Stevia revaudiana* de media hectárea. La hipótesis planteada es que la captación del agua de lluvia para destinarla a consumo humano, uso doméstico y riego, resulta económicamente viable.

La región de estudio se ubica en la parte noroeste del estado de Tlaxcala (19° 38’ y 19° 27’ latitud norte, y 98° 25’ y 98° 42’ longitud oeste) (INEGI, 2009), en la localidad de Calpulalpan. La metodología consistió de un análisis de los datos de precipitación y del diseño de los sistemas. Los datos

Keywords: economic viability, sustainable alternatives, use of rainwater.

Introduction

Although water is abundant in some regions of the world, it is generally becoming increasingly scarce, both in terms of quantity and quality (Quispe, 2008); so much so that there are figures showing that about 1.1 billion people in the world do not have access to good quality water sources.

The main source of freshwater is groundwater (Neri, 2009). Since 1940, global water extraction has increased by 2.5% to 3% per year, compared with annual population growth ranging from 1.5% to 2%. This problem has led to the excessive exploitation of many aquifers.

In México, about 60% of the total volume levied for consumptive uses is extracted from aquifers, and 106 are overexploited. Most of the rural population depends significantly on groundwater, and in some arid areas the dependence is total (CONAGUA, 2012). The current state of the water resource in the state of Tlaxcala, México, is critical due to the increase in demand, the reduction of the aquifer and water pollution (Magaña, 2006). The municipality of Calpulalpan depends entirely on groundwater.

Rainwater harvesting is proposed as an alternative to address the problem of water supply and to reduce the exploitation of aquifers. The objective of this research was to design three rainwater harvesting systems, one to allocate water for human consumption in a school of 1,000 users, another for drinking water in a four-member household; and a third system to irrigate a half a hectare greenhouse of *Stevia revaudiana*. The hypothesis is that the capture of rainwater to be used for human consumption, domestic use and irrigation, is economically viable.

The study region is located in the northwestern part of Tlaxcala state (19° 38’ and 19° 27’ north latitude, and 98° 25’ and 98° 42’ west longitude) (INEGI, 2009), in the town of Calpulalpán. The methodology consisted of an analysis of rainfall data and the systems design. The rainfall data were taken from the registry of the 29035 Calpulalpan weather station, as it is the operating station

de precipitación fueron tomados del registro de la estación climatológica 29035 Calpulalpan, por ser la estación actualmente operando más cercana al sitio de estudio. Los datos faltantes se estimaron con el método US. National Weather Service (Aparicio, 2010).

La precipitación registrada puede ajustarse a una función de distribución, lo que permite conocer la probabilidad de lluvia. De acuerdo con Aparicio (2010), las funciones de distribución de probabilidad más usadas en hidrología aplicada son la Normal, Log-Normal, Pearson y Gumbel. Para elegir la distribución a la que mejor se ajustan los datos de precipitación se emplean las pruebas de bondad de ajuste. En el presente trabajo se emplearon la prueba de Kolmogorov-Smirnov, definida por Aparicio (2010) y la prueba de Smirnov, reportada por Ortiz (2011).

Para el diseño de los sistemas, se estimó la precipitación neta de diseño a partir de la precipitación media mensual con probabilidad 75% y aplicar la siguiente expresión:

$$PN_j = P_j^{75} \times Ce \qquad 1)$$

Donde: PN_j = precipitación neta del mes j (1,2,3,...,12), (mm); P_j^{75}= precipitación total del mes *j* (1,2,3,...,12) con una probabilidad de 75%, (mm); y Ce= coeficiente de escurrimiento (adimensional).

El coeficiente de escurrimiento depende del material de la superficie de captación y los presenta Anaya (2011). La precipitación neta de diseño es la suma de las precipitaciones probables de cada mes.

Para estimar la demanda de agua anual de uso doméstico y consumo humano, considerando un requerimiento de 100 y 1.5 litros diarios por persona, respectivamente; se multiplica el número de beneficiarios por el requerimiento de agua por día y por el número de días a cubrir la demanda. Para el cálculo de la demanda de agua en el invernadero de estevia se multiplica la lámina de riego anual por el área a regar, para este último se consideró riego por goteo con una eficiencia de 90% y un área efectiva de riego de 362 m^2. Para el diseño de las canaletas se propusieron rectangulares de PVC y pendiente de 2%.

Para obtener el valor de la lámina de riego se divide la evapotranspiración de cultivo (Etc) por la eficiencia de riego (Er). La evapotranspiración de cultivo (Etc) se obtiene al multiplicar la evapotranspiración de referencia (Eto) por el coeficiente de cultivo (Kc), mismo que depende de sus

currently closer to the study site. Missing data were estimated using the US National Weather Service method (Aparicio, 2010).

The recorded rainfall can be adjusted to a distribution function, which allows to know the probability of rainfall. According to Aparicio (2010), the most commonly used probability distribution functions in applied hydrology are Normal, Log-Normal, Pearson and Gumbel. The goodness of fit tests are used to choose the distribution that best matches rainfall data. In this paper the Kolmogorov-Smirnov test, defined by Aparicio (2010) and the Smirnov test, reported by Ortiz (2011) were used.

For the systems design, net design precipitation was estimated from the mean monthly precipitation with 75% probability and the following expression was applied:

$$PN_j = P_j^{75} \times Ce \qquad 1)$$

Where: PN_j= j month's net precipitation (1,2,3,...,12), (mm); P_j^{75}= total precipitation of the j month (1,2,3,...,12) with a probability of 75%, (mm); and Ce= coefficient of flow, (dimensionless).

The runoff coefficient depends on the material of the catchment area and is presented by Anaya (2011). The net rainfall of design is the sum of the probable rainfall of each month.

In order to estimate the annual water demand for domestic use and human consumption, considering a requirement of 100 and 1.5 liters daily per person, respectively, the number of beneficiaries is multiplied by the water requirement per day and by the number of days to cover the demand. For the calculation of water demand in the stevia greenhouse, the annual irrigation sheet is multiplied by the surface to be irrigated. In the latter case, drip irrigation with an efficiency of 90% and an effective irrigation area of 362 m^2 were considered. For the design of the gutters, rectangular PVC and slope of 2% were proposed.

In order to obtain the value of the irrigation sheet, the crop evapotranspiration (Etc) is divided by the irrigation efficiency (Er). The crop evapotranspiration (Etc) is obtained by multiplying the reference evapotranspiration (Eto) by the crop coefficient (Kc), which depends on its phenological stages. To estimate the reference evapotranspiration inside a greenhouse the methodology proposed by Zamarripa *et al.* (2013) was used.

etapas fenológicas. Para estimar la evapotranspiración de referencia dentro de un invernadero se empleó la metodología propuesta por Zamarripa *et al*. (2013).

A partir del cociente de la demanda de agua anual y la precipitación neta de diseño se determinó el área de captación requerida. Para el diseño del sistema de conducción, en primer lugar se diseñan las canaletas y para conocer el gasto que deberán ser capaces de transportar, basta con multiplicar la intensidad de precipitación por el área efectiva de captación e igualar dicho gasto al obtenido de la ecuación de continuidad, donde la velocidad del caudal se obtiene empleando la expresión de Manning y el área proponiendo las dimensiones de las secciones. Posteriormente se diseña la tubería de bajada a partir de la expresión 2, presentada por Anaya (2011).

$$D = 2\sqrt{\frac{Q}{\pi v}} \qquad 2)$$

Donde: D= diámetro de las tuberías de bajada en m; Q= gasto que debe conducir la canaleta en (m^3); v= velocidad del agua ($m\ s^{-1}$).

El sistema de almacenamiento es la parte del sistema de captación del agua de lluvia más costosa, por lo que su dimensionamiento debe realizarse con sumo cuidado. En el método de balance de masas se obtienen las diferencias acumuladas de las entradas (precipitación neta) y salidas (demanda mensual) y el máximo valor se toma como el volumen mínimo requerido para el sistema de almacenamiento. Para obtener el costo por metro cúbico del agua, tanto subterránea como de lluvia, se empleó la metodología presentada por Cruz (2009), a partir de la expresión 3.

$$(\$\ m^{-3}) = \frac{\text{Costos totales } (\$)}{\text{Volumen extraído o captado } (m^3\ \text{año}^{-1})} \qquad 3)$$

Los costos totales son la suma de los costos fijos y los costos variables, para el cálculo de los primeros se consideró que el pozo que abastece a la región opera 365 días al año 22 h diarias, extrayéndose un volumen anual de 520 344 m^3. Para los costos variables se consideró un trabajador que labora todo el año con salario de $238.63, 10% del costo de equipamiento como gastos de mantenimiento, y el costo por consumo anual de energía eléctrica se obtuvo de los recibos emitidos a la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado (CAPAM) del municipio.

From the quotient of the annual water demand and the net design rainfall, the required catchment area was determined. For the design of the conduction system, the gutters are designed first and to know the expense that they must be able to transport, it is enough to multiply the rainfall intensity by the effective area of capture and to equal that expense to the one obtained from the continuity equation, where the flow velocity is obtained using the expression of Manning and the area proposing the sections dimensions. Subsequently, the downstream pipeline is designed from expression 2, presented by Anaya (2011).

$$D = 2\sqrt{\frac{Q}{\pi v}} \qquad 2)$$

Where: D= diameter of the downstream pipes in m; Q= gutter flow (m^3); v= wáter velocity ($m\ s^{-1}$).

The storage system is the most expensive part of the rainwater collection system, so its dimensioning must be done carefully. In the mass balance method the accumulated differences of the inputs (net rainfall) and outputs (monthly demand) are obtained and the maximum value is taken as the minimum volume required for the storage system. In order to obtain the cost per cubic meter of water, both underground and rainfall, the methodology presented by Cruz (2009) was used, using expression 3.

$$(\$\ m^{-3}) = \frac{\text{Total costs } (\$)}{\text{Volume extracted or collected } (m^3\ \text{year}^{-1})} \qquad 3)$$

Total costs are the sum of fixed costs and variable costs, to calculate the first it was considered that the well that supplies for the region operates 365 days a year 22 hours per day, extracting an annual volume of 520 344 m^3. For variable costs, a worker who worked the entire year with a salary of $ 238.63, 10% of the cost of equipment as maintenance expenses, and the cost per annual consumption of electric energy was obtained from the receipts issued to the Comisión de Agua Potable y Alcantarillado (CAPAM) of the municipality.

Results and discussion

With the normal function rainfall was obtained with a 75% occurrence probability, and is shown in Table 1.

Resultados y discusión

Con la función normal se obtuvo la precipitación con una probabilidad de ocurrencia 75%, y se muestra en el Cuadro 1.

From the information in Table 1 and applying Equation 1, a total net precipitation of 324.1 mm was obtained, being 50% of the average precipitation, according to INEGI (2009), 650 mm, which implies greater security of obtaining the estimated water. A runoff coefficient of 0.85 corresponding to metal surfaces was considered.

Cuadro 1. Precipitación media mensual con probabilidad de ocurrencia 75% en mm.
Table 1. Average monthly rainfall with 75% occurrence probability in mm.

Variables	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Media	13.9	13.4	16.4	33.3	62.3	117.9	117.7	116.1	99.4	50.8	18.5	7.1
Desv estand	32.4	25.7	16.8	23.7	31.2	59	40	54.8	52	34.4	27	10.9
Precipitación	0	0	5.1	17.3	41.3	78.1	90.7	79.2	64.4	27.6	0.3	0

A partir de la información registrada en el Cuadro 1 y aplicando la ecuación 1 se obtuvo una precipitación pluvial neta total de diseño de 324.1 mm, siendo asi 50% de la precipitación media, que de acuerdo al Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informatica (INEGI, 2009), es de 650 mm, lo que implica una mayor seguridad de tener el agua estimada. Se consideró un coeficiente de escurrimiento de 0.85 correspondiente a superficies de metal.

La capacidad de la cisterna se obtuvo considerando dos condiciones: una para abastecer de agua todo el año la cisterna y la otra para abastecer el agua solamente en época de lluvias. Con respecto al diseño de las canaletas el resultado fue que las dimensiones de las canaletas deben ser mínimo de 10×15 cm. Los resultados de los tres diseños de sistemas de captación del agua de lluvia se presentan en el Cuadro 2.

Se observa que la capacidad requerida de la cisterna es considerablemente menor cuando solo se capta y usa el agua de lluvia en época lluviosa. La captación del agua sólo en época de lluvias se recomienda cuando el sistema no se pueda construir debido a razones económicas, pues tal como lo indica Palacio (2010), la inversión inicial de los sistemas es muy alta, lo que puede volver al sistema inaccesible.

En el Cuadro 3 se ejemplifica el cálculo de la capacidad de la cisterna para el agua destinada a consumo humano, considerando captarla y usarla únicamente en época lluviosa.

The capacity of the cistern was obtained considering two conditions: to supply water all year round and to supply only during rainy season. Regarding the design of the gutters the result was that its dimensions should be at least 10 x 15 cm. The results of the three designs of rainwater harvesting systems are shown in Table 2.

Cuadro 2. Resultados del diseño de los tres sistemas de captación del agua de lluvia.
Table 2. Results of the design of the three rainwater harvesting systems.

Sistema de captación	Demanda total (m^3)	Área de captación (m^2)	Núm. de bajadas (adim.)	Capacidad de la cisterna	
				Anual (m^3)	Época de lluvia (m^3)
Escuela	330	929	9	136	29
Doméstico	146	450	5	74	11
Riego	1 575	4 588	50	597	104

It is shown that the required capacity of the cistern is considerably lower when only rainwater is captured and used in rainy season. Rainwater harvesting only in rainfall season is recommended when the system can not be built due to economic reasons, as indicated by Palacio (2010), the initial investment of the systems is very high, which can render it inaccessible.

Table 3 illustrates the calculation of the cistern capacity for water intended for human consumption, considering capturing and using it only during the rainy season.

Cuadro 3. Cálculo de la capacidad de la cisterna para consumo humano.
Table 3. Calculation of the cistern capacity for human consumption.

Época	Oferta (m^3)	Oferta acumulada (m^3)	Demanda (m^3)	Demanda acumulada (m^3)	Oferta-demanda acumuladas (m^3)	Balance de la cisterna (m^3)
Volumen inicial de la cisterna (m^3):						11
Mayo	18.7	19	30	30	-11	0
Junio	35.3	54	30	60	-6	5
Julio	41	95	22.5	82.5	13	24
Agosto	35.8	131	30	112.5	18	29
Septiembre	29.1	160	30	142.5	17	28
Octubre	12.5	173	30	172.5	0	11
Volumen de la cisterna (m^3):						29

Para obtener el costo por metro cúbico de agua extraída del pozo el costo fijo fue de $369 881.6, el costo variable de $1 267 608.19 y el costo por consumo anual de energía eléctrica de $975 848.05. Finalmente el costo de extracción resultó de $3.15 m^{-3} considerando todo el volumen extraído por el pozo; sin embargo, si sólo se considerara construir un pozo para consumo humano; es decir, extraer 300 m^3 $año^{-1}$ calculados en la demanda, el costo sería de $2 199.1 m^{-3}. Desde luego económicamente no es viable construir y operar un pozo para extraer un volumen bajo, la comparación se hace para demostrar que la captación del agua de lluvia es una opción económicamente viable para volúmenes pequeños.

En el caso del agua extraída para riego, el volumen considerado de 1 575 m^3 $año^{-1}$, el costo total resultó de $668 882.23, con un costo de $424.69 m^{-3}. El costo por metro cúbico del agua captada se obtuvo empleando el mismo método económico y los resultados se muestran en el Cuadro 4. Los resultados muestran que extraer agua subterránea es económicamente viable cuando se trata de volúmenes grandes lo que a su vez incide en la explotación desmedida de los acuíferos, mientras que la captación del agua de lluvia es económicamente más viable para volúmenes pequeños y como indica Palacio (2010) son proyectos que apuntan a la sostenibilidad.

In order to obtain the cost per cubic meter of water extracted from the well, the fixed cost was $369 881.6, the variable cost of $1 267 608.19 and the cost per annual consumption of electric energy of $975 848.05. Finally, the extraction cost was $3.15 m^{-3} considering all the volume extracted by the well; however, if it was only considered building a well for human consumption, ie extract 300 m^3 $year^{-1}$ as calculated on the demand, the cost would be $ 2 199.1 m^{-3}. Of course economically it is not feasible to build and operate a well to extract such a low volume, the comparison is made with the intention of demonstrating that rainwater harvesting is an economically viable option for small volumes.

In the case of extracted water for irrigation, the considered volume of 1 575 m^3 $year^{-1}$, the total cost was $ 668 882.23, meaning a $ 424.69 per $m^{3.}$ The cost per cubic meter of captured water was obtained using the same economic method and the results are shown in Table 4. The results show that extracting groundwater is economically viable when dealing with large volumes which in turn affects the excessive exploitation of aquifers, while rainwater harvesting is economically more viable for small volumes and as indicated by Palacio (2010) those are projects that aim at sustainability.

Cuadro 4. Costo de los sistemas de captación y del agua por metro cúbico.
Table 4. Cost of collection systems and water per cubic meter.

Uso del agua	Costo del sistema ($)	Volumen captado (m^3 $año^{-1}$)	Volumen cisterna (m^3)	Área con geomembrana (m^2)	Costo ($ m^{-3})
Escuela	94 765.00	300	136	171.5	42.10
Doméstico	46 207.50	146	74	84.8	40.30
Riego	329 810.00	1 575	597	370	26.00

El costo de los sistemas de captación es alto por la inversión inicial pero se compensa por el bajo costo por metro cúbico de agua.

Conclusiones

Captar el agua de lluvia resulta más económico que extraer el agua del subsuelo cuando se trata de volúmenes relativamente pequeños, entre 146 y 1 575 m^3. Además de que con la lluvia del lugar es suficiente para abastecer de agua todo el año en los casos estudiados. La implementación de sistemas de captación del agua de lluvia se recomienda ampliamente.

Agradecimientos

La autora principal agradece al CONACYT por el apoyo económico brindado.

Literatura citada

Anaya, G. M. 2011. Captación del agua de lluvia: solución caída del cielo. Biblioteca básica de agricultura. 1ra. edición. Texcoco, Estado de México, México. 133 p.

Aparicio, M. F. J. 2010. Fundamentos de hidrología de superficie. Limusa. 1ra. edición. México. 304 p.

Cruz, H. C. 2009. Determinación de costos de extracción de agua subterránea en Chapingo. Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Texcoco, Estado de México, México.

INEGI. 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. INEGI. México. 9 p.

CONAGUA. 2012. Atlas del agua en México 2012. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Tlalpan, D. F., México. 133 p.

The cost of catchment systems is high due to the initial investment but is offset by the low cost per cubic meter of water.

Conclusions

Capture rainwater is more economical than extracting groundwater when it comes to relatively small volumes, between 146 and 1 575 m^3. Besides that the rainfall of the area is enough to supply water all year round in the studied cases. The implementation of rainwater harvesting systems is widely recommended.

End of the English version

Magaña, V. 2006. Adaptación al cambio climático. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)-Instituto Nacional de Ecología (INECOL). México, D. F., 23 p.

Neri, F. I. 2009. Agua subterránea: el agua que no vemos. México. Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de la Universidad Veracruzana. 22(1):13-18.

Ortiz, S. C. A. 2011. Elementos de agrometeorología cuantitativa con aplicaciones en la república mexicana. Edición del autor. México. 327 p.

Palacio, C. N. 2010. Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia. Colombia. Gestión y Ambiente. 13(2):25-39.

Quispe, L. A. 2008. Captación de agua de lluvia para la agricultura familiar, una experiencia en comunidades rurales de Tlaxcala. México. Boletín del Archivo Histórico el Agua. 13(1):82-91.

Zamarripa, R. J.; López, C. I. L.; Castillo, S. J. A. y Ramírez, A. J. A. 2013. Comparación de tres modelos para estimar la transpiración del cultivo de jitomate en invernadero. México. Terra Latinoam. 31(1):9-21.