

Agua de lluvia para consumo humano y uso doméstico en San Miguel Tulancingo, Oaxaca*

Rainwater for human consumption and domestic use in San Miguel Tulancingo, Oaxaca

Aurora Pérez Hernández^{1§}, Oscar Luis Palacios Vélez¹, Manuel Anaya Garduño¹ y Jorge Leonardo Tovar Salinas¹

¹Posgrado de Hidrociencias y Edafología. *Campus* Montecillo-Colegio de Postgraduados. Carretera México Texcoco km 36.5, Texcoco, México. Tel. (595) 9520200. (opalacio@colpos.mx; anayam@colpos.mx; jtovar@colpos.mx). [§]Autora para correspondencia: perez.aurora@colpos.mx.

Resumen

El estudio se realizó en el municipio de San Miguel Tulancingo, Oaxaca donde los habitantes usan para sus necesidades de agua de consumo humano y uso doméstico 30 L habitante⁻¹ día⁻¹. El objetivo fue diseñar un sistema de captación del agua de lluvia para dotar con agua de calidad, en cantidad y de manera continua a los habitantes del municipio. El diseño del sistema consistió en: la localización del sistema a nivel macro y micro, calcular la demanda de agua, la precipitación pluvial neta, el área efectiva de captación, los diámetros de las tuberías, el volumen del sedimentador, los almacenamientos y la bomba solar, para finalmente diseñar el tren de tratamiento para potabilizar y purificar el agua de lluvia.

Palabras clave: balance hídrico, captación de lluvia, cisterna, demanda de agua, planta purificadora, precipitación pluvial neta.

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE, 2012) pronostica que para 2050 la demanda mundial de agua aumentará 55%. La agricultura seguirá siendo el mayor consumidor de agua a nivel mundial, lo que representa en muchos países a menudo 70% o más de

Abstract

The study was conducted in the municipality of San Miguel Tulancingo, Oaxaca where people use for their needs of water for human consumption and domestic use 30 L inhabitant⁻¹ day⁻¹. The goal was to design a system to capture rainwater to provide quality water, venough and in a continuous way to the inhabitants of the municipality. The design of the system consisted of: the location of the system at macro and micro level, the calculation of water demand, net rainfall, effective capture area, pipe diameters, sedimentation volume, storage and solar pump, to finally design the treatment train to purify the rainwater.

Keywords: water balance, rainwater collection, tank, water demand, water purification plant, net rainfall.

The Organization for Economic Co-operation and Development (OECD, 2012) predicts that by 2050 global water demand will increase by 55%. Agriculture will continue to be the world's largest consumer of water, which in many countries often accounts for 70% or more of supplies from rivers, lakes and aquifers (FAO and WWC, 2015). By 2014, nearly 800 million people had no access

* Recibido: julio de 2017
Aceptado: agosto de 2017

los suministros procedentes de ríos, lagos y acuíferos (FAO y WWC, 2015). En 2014, cerca de 800 millones de personas no tenían acceso al agua potable, y de 6 a 8 millones de seres humanos fallecían cada año debido a los desastres y las enfermedades relacionadas con el agua (UN-Water 2013 citado por Jiménez-Cisneros, 2014).

En México toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible (SEGOB, 2012), actualmente los habitantes del municipio de San Miguel Tulancingo cuentan con 5 475 m³ año⁻¹ de agua para satisfacer sus necesidades de consumo y domésticas (CONAGUA, 2015), esto equivale a 30 L persona⁻¹ día⁻¹, menos de lo recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), que recomienda al menos 50 L persona⁻¹ día⁻¹ de agua para asegurar toda la higiene y alimentación básica (Howard, 2003).

Anaya (2006, 2014), menciona que la captación y purificación del agua de lluvia representa una alternativa viable, efectiva, eficiente y sustentable para proporcionar agua en cantidad, calidad y de forma continua a poblaciones que no tienen acceso al agua entubada.

El objetivo del estudio es elaborar un proyecto de sistema de captación del agua de lluvia (SCALL) que permita abastecer de agua para consumo humano y uso doméstico a los habitantes del municipio de San Miguel Tulancingo, que presenta alto nivel de degradación en sus suelos, altas limitaciones del recurso agua y alta marginación; ya que seis de las trece localidades se catalogan con grado alto y una con grado muy alto de marginación (SEDESOL, 2010).

El SCALL se diseñó siguiendo la metodología planteada por el Centro Internacional de Investigación, Demostración, Capacitación y Servicio en Aprovechamiento del Agua de Lluvia, (CIDECALLI) del Colegio de Postgraduados (CP) (Anaya *et al.*, 2013; Anaya y Chacón, 2015). El municipio de San Miguel Tulancingo, se localiza entre los paralelos 17°42' y 17°48' de latitud norte y los meridianos 97°24' y 97°29' de longitud oeste, a una altura promedio de 2 200 msnm (INEGI, 2010).

Sistema de captación del agua de lluvia

El sitio seleccionado para establecer el SCALL se localiza en la parte central del municipio, se encuentra afectada en 35% de su superficie por erosión hídrica (SEMARNAT y

to safe drinking water, and 6 to 8 million people died each year from disasters and water-related diseases (UN-Water 2013 quoted by Jiménez-Cisneros, 2014).

In México everyone has the right to access, provision and sanitation water for personal and domestic consumption as sufficient, safe, acceptable and affordable (SEGOB, 2012), the inhabitants of the municipality of San Miguel Tulancingo currently have 5 475 m³ year⁻¹ of water to meet their consumption and domestic needs (CONAGUA, 2015), this equates to 30 L person⁻¹ day⁻¹, less than what is recommended by the World Health Organization (WHO), which recommends at least 50 L person⁻¹ day⁻¹ of water to ensure hygiene and basic food (Howard, 2003).

Anaya (2006, 2014) mentions that the collection and purification of rainwater represents a viable, effective, efficient and sustainable alternative to provide water in quantity, quality and continuously to populations that do not have access to piped water.

The objective of this research is to develop a rainwater collection system (SCALL) project to supply water for human consumption and domestic use to the inhabitants of the municipality of San Miguel Tulancingo, which shows a high level of degradation in its soils, high water resource constraints and high marginalization; since six of the thirteen localities are classified with high degree and one with very high degree of marginalization (SEDESOL, 2010).

The SCALL was designed following the methodology proposed by the Centro Internacional de Investigación, Demostración, Capacitación y Servicio en Aprovechamiento del Agua de Lluvia (CIDECALLI) of the Colegio de Postgraduados (CP) (Anaya *et al.*, 2013; Anaya and Chacón, 2015). The municipality of San Miguel Tulancingo, is located between the parallels 17° 42' and 17° 48' north latitude and the meridians 97° 24' and 97° 29' west longitude, at an average height of 2 200 masl (INEGI, 2010).

Rainwater collection system

The site selected to establish the SCALL is located in the central part of the municipality, is affected in 35% of its surface by water erosion (SEMARNAT and CP, 2002), with the lowest category of susceptibility to: instability of slopes, generation of flows, sinkings and landslides (CENAPRED, 2014).

CP, 2002), con la categoría más baja de susceptibilidad a la: inestabilidad de laderas, generación de flujos, hundimientos y deslizamientos (CENAPRED, 2014).

El SCALL se diseñó para una población de 500 habitantes, con una dotación diaria de agua de 3.4 L para consumo humano y 20 L para uso doméstico, requiriéndose 4 270.5 m³ (638.75 m³ para consumo humano y 3 631.75 m³ para uso doméstico) para completar los 50 L persona⁻¹ día⁻¹.

En el cálculo de la precipitación pluvial neta (PN) se consideró un coeficiente de captación del 0.9 y un coeficiente de escurrimiento de 0.9 ya que el área de captación será cubierta con geomembrana de PVC (Anaya, 2011; FAO, 2013), una cisterna de concreto resulta de cuatro a cinco veces más costosa que una recubierta con geomembrana (Hernández, 2005). La precipitación pluvial mensual histórica en el municipio es de 544.7 mm (SMN, 2012) y la PN es de 412 mm.

Con una demanda de 4 270.5 m³ año⁻¹ y 0.412 m de precipitación pluvial anual, el área efectiva de captación (Aec) para obtener 23.4 L de agua por habitante día⁻¹, considerando una pendiente de 13%, es de 10 452 m². Por las condiciones de relieve en la zona, se dividió el Aec en dos secciones, sección A de 6 388 m² y sección B de 4 065 m² (Figura 1).

Para conducir el agua captada en la sección A se calculó una tubería de 0.219 m de diámetro (8”) y de 0.168 m (6”) en la sección B. Para obtener las dimensiones de los sedimentadores se siguió la metodología del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (OPS y CEPIS, 2005), el sedimentador de la sección A debe tener 1.3 m de ancho, 7.57 m de largo y 1.5 m de alto en el interior y el sedimentador de la sección B debe tener 1.1 m de ancho, 5.8 m de largo y 1.1 m de alto en el interior.

Para determinar el volumen mínimo de almacenamiento se realizó el balance hídrico (Cuadro 1), en este se obtuvo que se necesita un contenedor con capacidad para almacenar 1 891 m³ de agua.

Se propone almacenar el agua de lluvia en seis cisternas, cuatro para el agua de lluvia captada en la sección A y dos para la sección B. Para determinar las dimensiones de las cisternas se utilizó la fórmula del United States Department of Agriculture (USDA). La ventaja de esta fórmula se debe a que a partir de ella se pueden aproximar volúmenes donde existen formas irregulares del relieve (Tuttle *et al.*, 1982). En el Cuadro 2 se muestran las dimensiones de cada cisterna.

The SCALL was designed for a population of 500 inhabitants, with a daily water supply of 3.4 L for human consumption and 20 L for domestic use, requiring 4 270.5 m³ (638.75 m³ for human consumption and 3 631.75 m³ for domestic use) to complete the 50 L person⁻¹ day⁻¹.

For the calculation of net rainfall (PN), a catch coefficient of 0.9 and a runoff coefficient of 0.9 were considered, since the catchment area will be covered with PVC geomembrane (Anaya, 2011; FAO, 2013). A concrete cistern is four to five times more expensive than a geomembrane sheath (Hernández, 2005). The historical monthly rainfall in the municipality is 544.7 mm (SMN, 2012) and the PN is 412 mm.

With a demand of 4 270.5 m³ year⁻¹ and 0.412 m of annual rainfall, the effective catchment area (Aec) to obtain 23.4 L of water for each inhabitant day⁻¹, considering a 13% slope, is 10 452 m². For the land reliefs conditions in the area, Aec was divided into two sections, section A of 6 388 m² and section B of 4 065 m² (Figure 1).

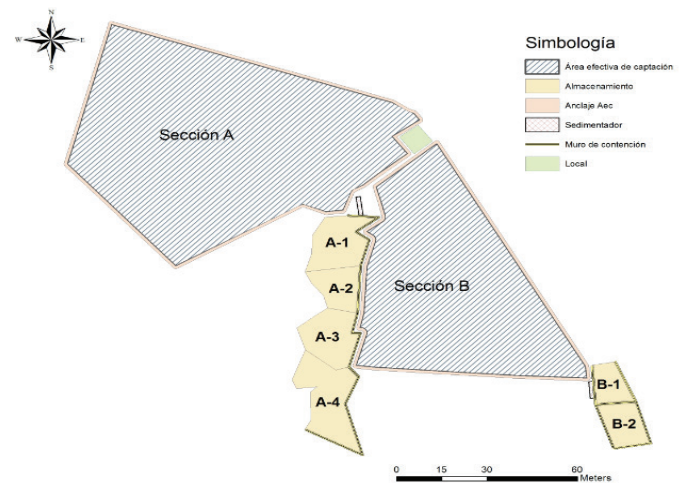


Figura 1. Elementos del sistema SCALL en el municipio de San Miguel Tulancingo, Oaxaca.
Figure 1. Elements of the SCALL system in the municipality of San Miguel Tulancingo, Oaxaca.

To conduct the water collected in section A, a pipe of 0.219 m in diameter (8”) and of 0.168 m (6”) was calculated for section B. In order to obtain the dimensions of the settlers, the methodology of the Pan American Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences (PAHO and CEPIS, 2005), the settler of section A must be 1.3 m wide, 7.57 m long and 1.5 m high in the interior and the settler of section B must have 1.1 m wide, 5.8 m long and 1.1 m high in the interior.

Aprovechando la pendiente natural del terreno, las cisternas se diseñaron de forma escalonada para propiciar el proceso de decantación, el agua llenará la cisterna A-1, a la A-2, hasta llegar a la A-4, posteriormente será bombeada a la planta de tratamiento. Las cisternas requieren de un equipo de bombeo solar, el potencial de la bomba para extraer el agua de las cisternas de la sección A es de 0.332 HP y para la sección B es de 0.276 HP.

Finalmente, para determinar el tren de tratamiento terciario y purificar el agua de lluvia para que sea apta para consumo humano se realizó el análisis de los escurrimientos del agua de lluvia ocurrida en el mes de julio. La mayoría de los parámetros de calidad del agua resultaron por debajo de los límites permisibles establecidos en la NOM-127-SSA1-1994 a excepción del sabor, color, turbiedad y la presencia de aluminio (Al), fierro (Fe) y mercurio (Hg), (Cuadro 3).

El primer tratamiento, por la posición de las cisternas escalonadas, será la decantación de las partículas finas, posteriormente el agua depositada en la cisterna de menor nivel se bombeará a un dosificador de cloro para finalmente enviarse a un tinaco de 5 000 L de capacidad, después se conectará a la red de distribución del agua potable del municipio y a la planta purificadora del agua de lluvia.

To determine the minimum storage volume a water balance was performed (Table 1), obtaining that it was necessary a container with capacity to store 1 891 m³ of water.

Cuadro 1. Oferta y demanda de agua en el municipio de San Miguel Tulancingo, Oaxaca.

Table 1. Water supply and demand in the municipality of San Miguel Tulancingo, Oaxaca.

Mes	Nd _j	Oferta (m ³)	D _j (m ³)	Balace cisterna (m ³)
Mayo	31	558.26	362.7	195.56
Junio	30	997.32	351	841.88
Julio	31	651.45	362.7	1 130.63
Agosto	31	580.93	362.7	1 348.86
Septiembre	30	893.22	351	1 891.08
Octubre	31	323.2	362.7	1 851.58
Noviembre	30	0	351	1 500.58
Diciembre	31	0	362.7	1 137.88
Enero	31	0	362.7	775.18
Febrero	28	0	327.6	447.58
Marzo	31	0	362.7	84.88
Abril	30	266.12	351	0
Anual		4 270.5	4 270.5	Max= 1 891.1

Cuadro 2. Volumen de las cisternas para el SCALL en San Miguel Tulancingo, Oaxaca.

Table 2. Volume of cisterns for SCALL in San Miguel Tulancingo, Oaxaca.

Cisterna	Área (m ²)			Altura (m)	Volumen (m ³)
	Plano a	Plano b	Plano c		
A-1	350	310	272	1	310.3
A-2	227	196.5	168	1	196.8
A-3	340	303.8	269.8	1	304.2
A-4	490	432.9	378	1	433.3
B-1	169	155.8	143	1.6	249.4
B-2	225	210	195.5	2.5	525.2

Plano a= área de la excavación en la superficie del terreno (m²); plano b= área de la excavación en el punto medio (m²); plano c= área de la excavación en el fondo del estanque (m²).

El tratamiento de purificación, consistirá en un sistema de tren terciario con: filtro tamiz, filtro de carbón activado, filtros pulidores, ozono, y rayos ultravioleta. El carbón activado adsorbe gases e iones metálicos de mercurio (Colpas *et al.*, 2016); así como, pequeñas cantidades de hierro y manganeso (McFarland y Dozier, 2015). Los rayos UV dañan las moléculas de ADN de microorganismos como algas, parásitos, hongos, bacterias y virus (Escobedo *et al.*, 2006).

It is proposed to store the rainwater in six cisterns, four for the rainwater captured in section A and two for section B. The United States Department of Agriculture (USDA) formula was used to determine the dimensions of the cisterns. The advantage of this formula is that there volumes can be approximated where there are irregular landforms (Tuttle *et al.*, 1982). Table 2 shows the dimensions of each tank.

Cuadro 3. Propiedades del agua de lluvia en San Miguel Tulancingo, Oaxaca, que exceden los límites permisibles por la NOM-127-SSA1-94.

Table 3. Properties of rainwater in San Miguel Tulancingo, Oaxaca, that exceed the limits allowed by NOM-127-SSA1-94.

Parámetro	Norma mexicana de análisis	Límites máximos permisibles (NOM-127-SSA1-94).	Resultados obtenidos
Sabor	NOM-127-SSA1-A994	Agradable	Desagradable
Turbiedad	NMX-AA-038-SCFI-2001	5 UTN	15 UTN
@Aluminio	NMX-AA-051-SCFI-2001	0.20 mg L ⁻¹	3.65 mg L ⁻¹
@Fierro	NMX-AA-051-SCFI-2001	0.30 mg L ⁻¹	2.44 mg L ⁻¹
@Mercurio	NMX-AA-051-SCFI-2001	0.001 mg L ⁻¹	0.003 mg L ⁻¹

El agua purificada se envasará en garrafones de 19 L, serán necesarios 92 garrafones para cubrir los 1 750 L día⁻¹ que demanda la población de 500 habitantes. La continuidad del proyecto se asegurará, organizando talleres de participación comunitaria y capacitación al personal seleccionado para operar y dar mantenimiento al SCALL.

Conclusiones

El agua de lluvia como fuente alterna, tendrá una calidad adecuada para su consumo, siempre y cuando se siga, desde su captación, almacenamiento, tratamiento y disposición, las normas básicas de higiene. El SCALL asegura que los habitantes del municipio de San Miguel Tulancingo tengan agua en cantidad, calidad y de forma continua para satisfacer sus necesidades de consumo humano y uso doméstico.

Agradecimientos

Un amplio agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo económico para el diseño del proyecto, a los doctores Manuel Anaya Garduño, Oscar L. Palacios Vélez y Jorge L. Tovar Salinas, académicos del Colegio de Postgraduados, por su invaluable asesoramiento en este trabajo de investigación y a los habitantes de San Miguel Tulancingo por la calidez y entusiasmo de participación en pro de su municipio.

Taking advantage of the natural slope of the land, the cisterns were designed in a staggered way to promote the decantation process, the water will fill the cistern A-1, the A-2, until reaching the A-4, later it will be pumped to the treatment plant. The tanks require a solar pumping equipment, the pump’s potential to extract the water from the cisterns of section A is 0.332 HP and for section B is 0.276 HP.

Finally, to determine the tertiary treatment stream and to purify the rainwater to be fit for human consumption, the rainwater runoff analysis was carried out in July. Most of the water quality parameters were below the allowable limits established in NOM-127-SSA1-1994 except for flavor, color, turbidity and the presence of aluminum (Al), iron (Fe) and mercury (Hg) (Table 3).

The first treatment, by the position of the stepped cisterns, will be the decanting of the fine particles, later the water deposited in the lower level cistern will be pumped to a chlorine doser and finally sent to a 5 000 L capacity tank, then it will be connected to the drinking water distribution network of the municipality and to the rainwater purification plant.

The purification treatment will consist of a tertiary train system, which has: sieve filter, activated carbon filter, polish filters, ozone, and ultraviolet rays. Activated carbon adsorbs gases and metal ions of mercury (Colpas *et al.*, 2016.); as well as small amounts of iron and manganese (McFarland and Dozier, 2015). UV rays damage DNA molecules of microorganisms such as algae, parasites, fungi, bacteria and viruses (Escobedo *et al.*, 2006).

Literatura citada

- Anaya, G. M. 2006. Manual del participante. *In: I diplomado internacional sobre aprovechamiento del agua de lluvia*. Colegio de Postgraduados. Montecillos, Estado de México. 350 p.
- Anaya, G. M. 2011. Captación del agua de lluvia: solución caída del cielo. Biblioteca básica de agricultura. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 130 p.
- Anaya, G. M.; Arvizu, L. G.; Martínez, N. J. D.; Arévalo, M. V.; Martínez, C. B. E.; Martínez, P. M. I. and Chacón, R. J. 2013. Rainwater harvesting experiences of the cidecalli and cfe. *In: 7th International conference on river basin management including all aspects of hydrology, ecology, environmental management, flood plains and wetlands*. New Forest, UK. 177-178 pp.
- Anaya, G. M. 2014. Manual del participante. *In: XXI diplomado internacional sobre aprovechamiento del agua de lluvia*. Colegio de Postgraduados, Montecillos, Estado de México. 618 p.
- Anaya, G. M. and Chacón, R. J. 2015. Rainwater harvesting to reverse land degradation, to mitigate drought effects and to increase food production. *In: 3rd Scientific Conference UNCCD: book of abstracts*. Ed. Agropolis International. México. 167-168 pp.
- CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres). 2014. Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México. Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana. Versión electrónica. México, D. F. 85-101 pp.
- Colpas, F. T.; Arnulfo, A. y Fon, W. 2016. Adsorción de mercurio utilizando carbones activados modificados con peróxido de hidrogeno y calentamiento. Cartagena, Colombia. *Información tecnológica*. 5(27):69-76.
- Escobedo, P. M.; Salas, P. M. y Muños, M. G. 2006. Evaluación de los procesos de purificación de una despachadora de agua potable en Ciudad Juárez. Ciudad Juárez, Chihuahua. *CULCyT// Cultura Científica y Tecnológica*. 3(13):17-25.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2013. Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe. Santiago, Chile. 272 p.
- FAO y WWC (Food and Agriculture Organization and the World Water Council). 2015. Towards a water and food secure future. *Critical Perspectives for Policy-makers*. Roma. 76 p.
- Hernández, M. F. 2005. Captación de agua de lluvia como alternativa para afrontar la escasez del recurso. Manual de capacitación para la participación comunitaria. GEM TIES cuencas sanas y modos de vida sustentable. Series de manuales de capacitación. 21 p.
- Howard, G. and Bartram, J. 2003. Domestic water quantity, service level and health. *Publications on water, sanitation and health*. Geneva, World Health Organization. Geneva, Suiza. WHO reference number: WHO/SDE/WSH/03.02. English only. 33 p.
- Jiménez, C. 2014. Responding to the challenges of water security: the eighth phase of the international hydrological programme 2014-2021. *Hydrological Sciences and water security: past, present and future*. Proceedings of the 11th Kovacs Colloquium. Paris, France. 10-19 pp.

Purified water will be packed in 19 L jugs, 92 jugs will be needed to cover 1 750 L day⁻¹ demanded by the 500 inhabitants population. The continuity of the project will be ensured by organizing community participation workshops and training of selected personnel to operate and maintain SCALL.

Conclusions

Rainwater as an alternative source, will have a quality suitable for consumption, as long as the basic hygiene standards are followed from its collection, storage, treatment and disposal. The SCALL ensures that the inhabitants of the municipality of San Miguel Tulancingo have water in quantity, quality and of continuous way to satisfy their human consumption and domestic use needs.

End of the English version



- Monty, D. and McFarland, M. L. 2015. Drinking water problems: iron and manganese. Texas A&M AgriLife Extension Service. Water Education Resource ID: L-5451. 6 p.
- OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico). 2012. OECD Environmental Outlook to 2050. The Consequences of inaction. OECD publishing. 340 p.
- OPS y CEPIS (Organización Panamericana de la Salud y Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente). 2005. Guía de para el diseño de desarenadores y sedimentadores. Oficina regional de la Organización Mundial de la Salud. Lima, Perú. 34 p.
- SEGOB (Secretaría de Gobernación). 2012. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, artículo 4. Diario Oficial de la Federación. México, D. F. 8 p.
- SEMARNAT Y CP (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Colegio de Postgraduados). 2002. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana. Memoria Nacional. Estado de México, México. 68 p.
- SMN (Sistema Meteorológico Nacional). 2012. Normales climatológicas. Base de datos del portal del Sistema Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua.
- Tuttle, R. W. and Highfill, G. 1982. Agriculture handbook 590. Ponds - planning, design, construction. U.S. Department of Agriculture. EUA. 58-59 pp.