

# LA PROBLEMÁTICA DEL AGUA EN LA COMUNIDAD DE SANTA MARTHA, MUNICIPIO DE BERRIOZÁBAL CHIAPAS: ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

## ALTERNATIVE SOLUTIONS OF THE LACK WATER ON SANTA MARTHA IN BERRIOZABAL, CHIAPAS

Mundo Molina Martín D. <sup>1</sup>; Pérez Díaz José L. <sup>2</sup>

### RESUMEN

*Al igual que la cabecera municipal de Berriozábal, Chiapas, Santa Martha (16o 47' 30.37" N y 93o 21' 59.85" W) no tiene suficientes fuentes de agua superficiales y subterráneas para suministrar a su población. La fuente más cercana es una pequeña represa sobre el arroyo el Porvenir (situada a pocos kilómetros de Santa Martha), cuyo caudal es insuficiente en la época de estiaje. Existen dos pequeños manantiales cercanos a Santa Martha, sin embargo, uno de ellos está en una propiedad privada y su caudal es muy pequeño, el otro se ubica en una demarcación territorial distinta, en la comunidad de Berlín, a pocos kilómetros de ésta, pero el agua está contaminada porque recibe los efluentes cloacales de una granja de cerdos. En este documento se analizaron cuatro alternativas de solución para el suministro de agua a la comunidad de Santa Martha y son las siguientes: 1. Diseño de una línea de conducción con una red abierta de agua potable, 2. Extracción de agua a través de un pozo profundo, 3. Colección de agua de niebla y 4. Colección de agua de lluvia, mostrando que esta última es la más factible desde el punto de vista técnico y económico.*

**Palabras Clave:** Colección de agua de lluvia, Suministro de agua potable, Tecnologías Alternativas.

### ABSTRACT

Like the head municipality Berriozabal Chiapas, Santa Martha lacks enough water sources to supply its population. The closest one is a small dam over El Porvenir stream (located a few kilometers away from Santa Martha), whose flow is insufficient in drought season. Close to Santa Martha are two water sources, however, one is in private property and lacks enough water flow and the other, located in the neighbor community of Berlin, it's being contaminated with the sewer discharges from a pig farm. This paper analyzes various techniques to supply water for the Santa Martha community, and it strongly suggests the rainwater collection method through cylindrical brick tanks, which are the most economical and technically viable option. In this paper is analyzed the different alternative solution in order to water drinking supply to Santa Martha community.

**Keywords:** Rain water collection, Drinking water supply, Alternatives technologies.



Figura 1. Ubicación de la comunidad respecto a la cabecera municipal (Google Earth, 2019)

<sup>1</sup> Integrante del Grupo Académico Ciencia e Ingeniería. Centro de Investigación de la Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Chiapas. ic\_ingenieros@yahoo.com.mx

<sup>2</sup> Integrante del Grupo Académico Ciencia e Ingeniería de la Facultad de Ingeniería-Universidad Autónoma de Chiapas.

## INTRODUCCIÓN



Figura 2. Santa Martha, municipio de Berriozábal, Chiapas (Google Earth, 2019)

La comunidad de Santa Martha se localiza en el municipio de Berriozábal Chiapas, en las siguientes coordenadas geográficas:  $16^{\circ} 47' 30.37''$  N y  $93^{\circ} 21' 59.85''$  W (figura 1). La comunidad se ubica a 10 km en línea recta de la cabecera municipal y a 25 km del centro de la capital del estado de Chiapas y tiene un total de 48 casas dispersas.

En la Figura 2 se puede observar una parte del conjunto de las 48 casas de Santa Martha.

Santa Martha es una comunidad rural con casas dispersas cuyas familias son de recursos económicos bajos. La población adulta se dedica a diversas actividades: los padres de familia y los hijos varones se ocupan principalmente en las actividades agrícolas y de forma esporádica a la albañilería; también realizan diversas labores en los ranchos cercanos y en general se emplean en las actividades agropecuarias que se ofrecen en la zona. La mayoría de las madres laboran en las actividades domésticas y algunas de ellas realizan tareas bajo contrato con algunas familias en la cabecera municipal. El monto salarial devengado varía entre 100 y 300 pesos por día y la media es de 250 pesos aproximadamente (Mundo et al, 2019).

Un poco más del 93% de las casas tiene techos de lámina, muy pocas de teja y tres de ellas tienen techos de concreto; existen algunas construidas con bajareque, sin embargo, la mayoría fueron edificadas

con tabicón. Existen familias numerosas compuesta por más de 5 integrantes (siete de las 48 familias pertenece a este caso), y una sola tiene 11 miembros viviendo en dos casas adjuntas. Hay tres viviendas reportadas con un solo habitante y 8 casas con dos personas. Sin embargo, el promedio de la comunidad es de 4 integrantes por casa. No existe transporte público para arribar a la comunidad, las familias que carecen de motocicletas o motonetas recorren a pie una distancia de 8 km aproximadamente para entrar o salir de Santa Martha hasta el entronque con la carretera internacional Tuxtla Gutiérrez-Cosoleacaque. Todas las familias tienen luz eléctrica pero carecen de servicios médicos; cuando las personas se enferman generalmente recurren a las farmacias y médicos de la cabecera municipal. No tienen agua potable ni alcantarillado (Mundo et al, 2019).

## ANTECEDENTES

Desde su fundación hasta el año 2015 no hubo un proyecto formal para proveer de agua potable a la comunidad de Santa Martha. Desde su creación la población se auto suministra de dos formas: a través de la compra del líquido vital, que es transportada hasta el pueblo en carros-tanque (pipas) de 3000, 6000 y 10,000 litros; el costo de 1000 litros es de 1000 pesos mexicanos (52. 12 USD), a razón de 1 peso por cada litro entregado. La otra forma de suministro es a través de la "colección de agua de lluvia rudimentaria"; es común encontrar en cada casa diversos tipos de receptáculos que se utilizan como colectores de agua de lluvia, entre otros: depósitos de plástico de diversos tamaños (menores a 200 l), recipientes cilíndricos metálicos de 200 l, tanques tipo rotoplas de 450, 1100 y 2600 litros, tanques de ladrillo repellados con mortero de 5000 hasta 7000 litros (se localizaron 4 tanques de este tipo). Sin embargo, los problemas relacionados con esta forma de acopio rudimentario son los siguientes: todas las bajadas de aguas pluviales (BAP) son inapropiadas, muchas de ellas se realizan con canaletas mal construidas, sin el área hidráulica necesaria para conducir el caudal de una lluvia promedio, éstas no están sólidamente colocadas al techo colector, se mueven con el viento o con el impulso del agua; las tuberías que están sujetadas a las canaletas, son estructuras "hechizas" que no cumplen con las normas hidráulicas de dise-

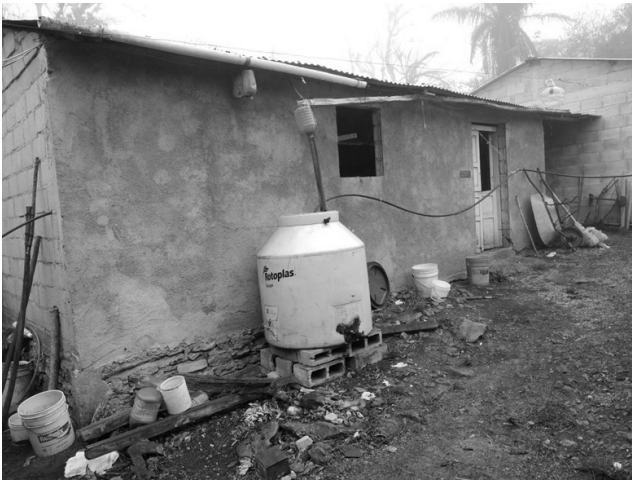


Figura 3. Colección de agua de lluvia de forma rudimentaria en Santa Martha

ño; así, no se explotan a su máxima capacidad las superficies de colección que cada familia posee en el techo de su casa. De acuerdo a la encuesta realizada, el 99% de las casas son aptas para coleccionar el agua de lluvia no solo por la superficie expuesta sino porque el estado de los techos es muy bueno (sin roturas ni agujeros) y con la pendiente adecuada.

Por otra parte, en la gestión municipal 2015-2018 se construyó un tanque de concreto de 40 m<sup>3</sup>, sin embargo, el proyecto fue inapropiado desde su planeación hasta su edificación, debido a que fue incorrectamente diseñado y su construcción mal ejecutada, por ejemplo: 1. Se construyó en un sitio geográficamente mal ubicado respecto a la distribución espacial del caserío, 2. Carece de un sistema para coleccionar el agua de lluvia y por lo tanto debe ser llenado con pipas, 3. Se le instaló una tubería de conducción-distribución que solo proporcionó agua durante un corto periodo de tiempo a una pequeña parte de la población, porque la dispersión no permite que la línea aproxime el agua a todas las casas. Poco tiempo después de ser construido el tanque, dejó de utilizarse porque se fracturó y las fugas se infiltraban al subsuelo. En la actual administración municipal 2019-2021 se está planeando un proyecto sólido para suministrar agua a la comunidad de Santa Martha.

## ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

### Materiales

Para establecer las alternativas de solución se utilizaron los siguientes materiales: 1. Estudios de gabinete (rutas de acceso, fotos satelitales de Google Earth, determinación preliminar del número total de casas en la comunidad, número preliminar de habitantes), 2. Elaboración de las encuestas, realizado por un equipo preparado exprofeso con el fin de determinar el conjunto de datos técnicos, sociales y económicos necesarios para la elaboración del anteproyecto. Los datos técnicos más relevantes de las encuestas fueron: número de habitantes por cada casa y su consumo promedio diario de agua per cápita), 3. Programación de las rutas de los recorridos de campo y 4. Revisión bibliográfica exhaustiva sobre los diversos métodos de suministro de agua a poblaciones rurales pequeñas. A continuación, se describen los más relevantes.

*Encuestas.* Las encuestas permitieron conocer el número de casas, el número de personas por casa y el total de individuos en la comunidad, así como la cantidad de agua diaria consumida por cada habitante. Como ya se enunció en Santa Martha existen 48 casas y un total de 197 personas. El consumo promedio de cada habitante es de 30 l/d.

*Estudios de gabinete y recorridos de campo.* Los estudios de gabinete se realizaron con las cartas topográficas de suelo y vegetación de INEGI a escala 1:50,000. Las cartas posibilitaron la delimitación teórica de la zona de estudio, la delimitación de la subcuenca de aporte, el conocimiento de la red hidrográfica, los tipos de suelo y el clima de la región. Se revisó con detalle y se consultó con expertos las características geológicas de la zona de estudio. Por su parte, los recorridos de campo permitieron reconocer los datos estudiados en gabinete y ajustar otros con la experiencia obtenida en cada recorrido.

*Revisión bibliográfica.* Ésta posibilitó ver el tipo de tecnologías que se usan en México y otros países del mundo para solucionar la problemática del suministro de agua a pequeñas comunidades rurales (PCR). Así, en las PCR concentradas (no dispersas) que disponen de fuentes superficiales de suministro (manantiales, arroyos o ríos) la opción más viable (desde la perspectiva técnica y económica), son los sistemas de agua potable convencionales, es decir, aquellos constituidos por una obra de toma, línea de conducción, tanque regulador, tanque de cloración y red de distribución cerrada. En los casos similares,



pero con casas con cierta dispersión espacial, la solución es semejante, pero con redes abiertas. Existen muchas poblaciones donde no hay manantiales ni fuentes superficiales de suministro, pero cuentan con acuíferos (agua subterránea), entonces la opción contrastable es la construcción de pozos semi profundos o profundos. La colección de agua de niebla es una opción muy limitada en zonas donde ésta no contiene mucha agua, pero se está utilizando para dotar de agua potable a pequeñas comunidades del Perú y con mucho éxito en la comunidad de Chungungo en Antofagasta, en el norte de Chile (Cereceda et al, 1998). Por otra parte, en varias latitudes del mundo se está colectando el agua de lluvia para suministrar con agua de buena calidad a pequeñas poblaciones rurales, como es el caso de algunas comunidades en los Altos de Chiapas (Mundo, 2016).

### Métodos

Se utilizaron dos criterios técnicos a los cuales se sumó el análisis económico para sugerir la mejor alternativa para suministrar agua a la comunidad de Santa Martha. El primero de ellos fue el criterio hidrológico asociado al clima. Este criterio permitió analizar el ciclo del agua en la región, es decir, la red hidrográfica, su circulación, su distribución espacial, así como la ocurrencia temporal del ciclo, esto incluyó las precipitaciones, la escorrentía y la presencia de aguas subterráneas. El segundo criterio técnico fue el geológico, que permitió analizar la posibilidad de existencia de agua subterránea en la zona de estudio.

*Hidrología y clima.* El municipio pertenece a la región hidrológica (RH) Grijalva-Usumacinta, cuya cuenca es el río Grijalva-Tuxtla Gutiérrez; a una parte de esta RH corresponde la sub cuenca del río Sabinal y otras partes de su territorio concierne a las siguientes sub cuencas: El Chapopote (57.88%), Tuxtla Gutiérrez (36.05%), R. Netzahualcóyotl (4.31%), R. Suchiapa (0.95%), R. Alto Grijalva (0.69%) y R. de la Venta (0.12%). Sin embargo, la red hidrográfica de la sub cuenca donde se ubica Santa Martha es muy pobre en cuanto a la presencia de ríos y arroyos, los pocos que hay tienen caudales pequeños; el más importante está a pocos kilómetros de Santa Martha, es un arroyo perenne que se utiliza para abastecer a la cabecera municipal, pero su caudal es pequeño especialmente en la época de estiaje, el arroyo se de-

nomina "El Porvenir".

El clima de Santa Martha es fresco casi todo el año, tiene una temperatura promedio anual que oscila entre 22 °C y 28 °C, mientras que la distribución de los climas entre la llanura, el lomerío y la sierra de la región son como sigue: 1. Cálido subhúmedo con lluvias en verano, con una humedad relativa media de 42.45%; 2. Cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (31.51%) y 3. Cálido subhúmedo con lluvias en verano (26.04%), respectivamente. Así, Santa Martha se ubica en la zona de lomeríos, por lo tanto es una zona húmeda con presencia de niebla en las mañanas de la temporada de lluvias, y más abundante aun en la etapa invernal donde la temperatura puede ser de hasta 10 °C; la época de lluvia en Santa Martha es en el estío y normalmente son abundantes, en una zona donde sus bosques (en forma de reductos), tienen cierto grado de conservación. Por otra parte, el promedio anual de precipitación en el municipio de Berriozábal varía entre los 900 mm y 2000 mm y en la zona donde se ubica Santa Martha es de 900 mm anuales. Como puede verse este promedio anual de lluvias es apropiado para la colección de agua de lluvia.

*Aspectos geológicos.* En las capas geológicas más superficiales, la zona de Santa Martha tiene similitudes con la geología de la reserva "La Pera", compuesto de rocas calizas con numerosas grietas, cavidades y cavernas, que en conjunto forman un paisaje kárstico, razón por la cual los escurrimientos superficiales se infiltran a estratos profundos, como lo enuncia Lazcano et al (1999) y Mullerried (1982). En las capas más profundas la zona de estudio es una extensión de la Formación Ocozocoautla, así se designa al miembro arenoso conglomerático que aflora al W de la cabecera municipal de Ocozocoautla de Espinosa (OE). De acuerdo a ARTSICPPC (2010) al oriente de OE aflora una secuencia sedimentaria terrígena cuya característica principal es la gran cantidad de cambios laterales que descansan sobre las calizas de la Sierra Madre; en su parte inferior se presentan gravillas que subyacen a 190 metros de areniscas calcáreas, bien estratificadas, sobre éstas se presenta un espesor de 140 metros de lutitas arenosas con intercalaciones de areniscas calcáreas y calizas-arenosas en capas de 10 a 20 cm de espesor (ARTSICPPC, 2010). Dentro de la serie Ocozocoautla existe en su cima un cuerpo de 60 metros de areniscas-calcáreas.

Hacia la capital del estado existe una inter digitalización de los depósitos de la Formación Angostura con los de la Formación Ocozocoautla. La Formación Angostura es una secuencia de sedimentos del Cretácico Superior que afloran en la depresión central y en el altiplano chiapaneco. Así, por las razones expuestas en este apartado es muy difícil encontrar agua subterránea en el municipio de Berriozábal, su existencia es posible, pero en estratos muy profundos (ARTSICPPC, 2010), como se puede implicar de la breve descripción geológica realizada.

## ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PARA EL SUMINISTRO DE AGUA A SANTA MARTHA

### Red cerrada de agua potable

No es posible diseñar un sistema cerrado de agua potable por dos razones: 1. Porque las casas de la comunidad están dispersas y 2. Porque no existen escurrimientos superficiales con el caudal suficiente.

### Red abierta de agua potable

Del mismo modo que la red cerrada, no es posible diseñar un sistema abierto de agua potable porque no hay fuentes de suministro con el caudal suficiente para suministrar el vital líquido a la población demandante.

### Pozos profundos

La zona donde se ubica Santa Martha se localiza en una zona kárstica y se estima que en capas profundas haya presencia de gravillas y lutitas arenosas con probable presencia de agua, pero es necesario realizar pruebas geohidrológicas a través de sondeos eléctricos para determinar al menos tres puntos probables, es decir "los tres mejores sitios" que pudieran presentar posibilidades de encontrar una fuente subterránea. Sin embargo, en caso de encontrar la fuente subterránea no se garantiza (una vez hecho el pozo de prueba) que el caudal de la fuente o acuífero sea el suficiente para suministrar agua a la población objetivo.

### Colección de agua de niebla

En el año 1998 el primer autor realizó dos tipos distintos de pruebas experimentales para determinar

si las poblaciones con problemas de agua en los municipios de Berriozábal y Ocozocoautla (en los límites del aeropuerto de Llano San Juan), se les podría suministrar agua potable a través de la colección de agua de niebla. La primera prueba consistió en la instalación de un neblinómetro, con el fin de medir el volumen de agua de niebla diaria que se podría producir en la zona. La segunda prueba experimental tuvo como principal objetivo estimar la cantidad de agua que tiene cada gota de niebla, por tal razón se utilizó un equipo de espectrometría móvil de alta precisión. A continuación, se describen de forma breve las dos pruebas experimentales.

Para evaluar la cantidad de agua diaria que produce la niebla de la zona, se construyó e instaló un neblinómetro en las cercanías del aeropuerto (García et al, 1998 y Mundo et al, 1998). El colector se construyó con malla tipo mosquitero con una superficie aproximada de 4 m<sup>2</sup>, sujeta a un marco metálico. En la base inferior del marco se colocó una canaleta de media caña de PVC conectada a un recipiente de 50 litros (colocado debajo de la canaleta). Adjunto al neblinómetro se instaló una estación meteorológica automatizada que midió de forma diaria las siguientes variables: precipitación, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento. Este experimento se realizó durante un año en la Ranchería el Edén (García et al, 1998 y Mundo et al, 1998).

Por otro lado, se midió el tamaño de las partículas de niebla y la cantidad de agua contenida en cada una de ellas. Estas pruebas experimentales se realizaron con un equipo móvil especializado denominado "Forward Scattering Spectrometer Probe (PMS-FSSP-100; 1 to 1000  $\mu$ m droplet diameter range)" del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, capaz de medir, no solamente el tamaño de cada partícula de niebla, sino además, la cantidad de agua que cada una de ellas tiene. El equipo se montó en un móvil que se desplazó a velocidad constante sobre la pista del aeropuerto Llano San Juan. Así, a través de sondas ópticas las gotas de nubes pasan a través del volumen de muestra, donde dispersan un rayo láser. La luz dispersada captada por los detectores permite determinar el tamaño de cada partícula de niebla. De ese modo se pueden estimar las cantidades a granel, las concentraciones totales del número de gotas, el radio efectivo de cada gota y la cantidad de agua líquida de cada una de ellas.

Ambos trabajos de investigación fueron publicados en la "1<sup>st</sup> International conference on fog and fog collection" llevado a cabo en julio de 1998 en Vancouver, Canada (García et al, 1998 y Mundo et al, 1998), y concluyeron que por el diámetro de las partículas (de una micrometría muy baja), los bancos de niebla de la zona no tienen la cantidad de agua suficiente para coleccionar volúmenes que permitan ser usados como fuente de suministro para las pequeñas comunidades rurales adjuntas o cercanas al aeropuerto "Llano San Juan", observaciones que fueron corroboradas por las pruebas de campo insitu con el neblinómetro.

### Colección de agua de lluvia

Como ya se ha enunciado Santa Martha tienen un promedio de precipitación anual de 900 mm. Este promedio de precipitación anual es suficiente para llenar un tanque de geometría "cilíndrica recta" de hasta 50, 000 l para satisfacer las necesidades básicas de una familia compuesta por 9 personas durante toda la temporada de estiaje (que dura 6 meses) con una dotación de 30 l/d/persona. La ecuación que determina el volumen (V) del tanque arriba enunciado es su versión integral (para un caudal constante), es la siguiente:

$$\int \dot{V} = [\dot{Q} \int dt] \quad (1)$$

Cuya versión diferencial es:

$$\frac{V}{dt} = Q \frac{t}{dt} \quad (2)$$

Sabiendo que Q es el caudal en l/d, t es el tiempo en días y que la dotación D es:

$$D = \frac{Q}{NP} \quad (3)$$

entonces, sustituyendo la ecuación (3) en la (2) y re escribiéndola en forma general, se deduce que el volumen del tanque de geometría cilíndrica recta depende de la dotación (D), del número de personas (NP) y del tiempo de almacenamiento (t) en días:

$$V = (D)(NP)(t) \quad (4)$$

Tabla 1. Comparación de costos

Tipo de tecnología	Costos (pesos mexicanos)
Pozo profundo	3, 300 000.00
49 colectores domiciliarios de agua de lluvia	3, 414 000.00

El volumen V de la ecuación (4) y sus materiales constitutivos determinan el costo de cada colector de agua de lluvia que se resume en la tabla 1.

Así, dos de las opciones técnicamente posibles para suministrar agua a la comunidad de Santa Martha son: la colección de agua de lluvia (49 colectores de diferentes volúmenes) y la construcción de pozos profundos. El costo de cada opción se puede ver en la Tabla 1.

### CONCLUSIONES

Las opciones para suministrar agua de buena calidad a Santa Martha no son muchas, la principal razón de esta circunstancia es que no existen fuentes superficiales que permitan realizar un proyecto convencional. En este documento se analizaron otras opciones, como la colección de agua de niebla, la colección de agua de lluvia y la construcción de pozos profundos. La colección de agua de niebla tampoco es factible, porque los bancos de niebla que se forman en las mañanas o en las tardes (en la temporada de lluvias y en la época invernal) no tienen ni el diámetro ni la cantidad de agua suficiente (comparada con las nieblas costeras de Baja California, México, Perú o el norte de Chile), como para abastecer a una pequeña población. Una opción técnica y económicamente factible es la colección de agua de lluvia, cuyo costo es similar a la construcción de un pozo profundo, pero sin la incertidumbre de este último, es decir, la inseguridad de localizar una fuente que garantice el caudal suficiente como para suministrar agua a una comunidad de casi 200 habitantes.

## REFERENCIAS

- ARTSICPPC. (2010). Estudio regional forestal UMAFOR 0701 centro. Asociación Regional Tuxtla de Silvicultores Indígenas, Campesinos y Pequeños Propietarios de Chiapas, A.C (ARTSICPPC). Informe técnico. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
- Cereceda, P., Schemenauer, R.S. (1998). Fog water collection at El Tofo, Chile and other coastal sites in South America and Arabia. 1st International conference on fog and fog collection. Vancouver, Canada. 405-408.
- García, G.F., Virafuentes, U., Montañez, R.A. (1998). Fog microphysical characteristics in a rural site in Chiapas, México. 1st International conference on fog and fog collection. Vancouver, Canada. 325-328.
- Google Earth (2019). Mapa de Santa Martha, Berriozábal, Chiapas. Recuperado el 30 de mayo, 2019 de: <https://www.google.com/maps/@16.7924505,-93.3352051,10324m/data=!3m1!1e3>
- Lazcano, B. M., Johnson, J.D. (1999). Ficha Técnica para la Conservación de El Pozo, Municipio de Berriozabal, Chiapas, México. Informe técnico, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
- Mullerried, F. K. (1982). La Geología de Chiapas. Gobierno Constitucional del Estado de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 180 pp.
- Mundo, M.M., Martínez, A.P. (1998). Fog collection as a source for rural communities in Chiapas, México. 1st International conference on fog and fog collection. Vancouver, Canada. 405-408.
- Mundo-Molina, M. (2016) Supplying System for Drinking Water to Small Rural Communities with Zero Greenhouse Gasses: Sixteen Years of Experiences in Mexico. *Journal of Water Resource and Protection*, 8, 1044-1052.
- Mundo, M.M., Ponce, M.M. (2019). Proyecto ejecutivo para la construcción de colectores de agua de lluvia domiciliarios (CALLD), para el suministro de agua potable a la comunidad de Santa Martha, municipio de Berriozábal, Chiapas. Informe técnico inédito. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.