



Cosechas de agua lluvia para recarga de acuíferos locales en Honduras

Rainwater harvesting to recharge local aquifers in Honduras

T. PEÑA¹, M. CHIRINOS-ESCOBAR², K. ALMENDARES³, S. GARCIA-SANTOS⁴

Recibido: 14 de marzo de 2022 / Aceptado: 18 de abril de 2022

RESUMEN

La iniciativa del proyecto nace con la problemática del agua en toda la zona periurbana de la ciudad de Tegucigalpa, que se encuentra en la parte alta de la cuenca del río Choluteca, donde estas comunidades se abastecen de pequeños manantiales, provenientes en su mayoría de rocas volcánicas fracturadas de bajos-medios caudales. El crecimiento urbano de la ciudad de Tegucigalpa llega cada vez más a las partes más altas tanto en urbanización como en agricultura, teniendo procesos de degradación de tierras en las zonas de recarga de estos manantiales.

Los procesos climáticos provocan sequías más extensas y lluvias más intensas que hacen que estos manantiales se vean cada vez más impactados en su recarga. La propuesta nace para propiciar la infiltración con galerías, previa a procesos de restauración con árboles resilientes y con raíces pivotantes que a largo plazo pueda aumentar la infiltración. Las galerías de infiltración son una opción que en la siguiente época lluviosa se puede aprovechar.

Se escogió la comunidad periurbana de La Bodega del municipio de Santa Ana, al sur de la ciudad de Tegucigalpa; esta comunidad de 390 familias, cuenta con un sistema de manantiales que son aprovechados en conjunto para abastecerse. Se construyeron 4 sistemas de galerías de infiltración en conjunto con la comunidad y la Junta de Agua y que actualmente se sigue monitoreando tanto los caudales de los manantiales como la pluviometría y temperaturas de la zona, difundiendo esta relación a través de capacitación y enseñanza de la relación entre las comunidades y la academia.

ABSTRACT

The initiative of the project was born with the problem of water in the peri-urban area of the city of Tegucigalpa, which is located in the upper part of the Choluteca River basin where communities are supplied with small springs, coming mostly from fractured volcanic rocks of low-medium flow. In addition, the urban growth of the city of Tegucigalpa is increasingly reaching the highest parts for both urbanization and agriculture, facing processes of land degradation in the recharge areas.

Changing climate impacts with more extensive droughts and more intense rains make these springs increasingly impacted in their recharge. The proposal intends to promote infiltration with galleries, prior to restoration processes with resilient trees with pivoting roots that in the long term can increase the infiltration. Infiltration galleries are an option that can be used in the following rainy season.

¹Centro Experimental y de Innovación del Recurso Hídrico (CEIRH) del Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra (IHCIT), Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH), Tegucigalpa, Honduras. email: tania.pena@unah.edu.hn

²Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra (IHCIT), Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH), Tegucigalpa, Honduras. email: marcio.chirinos@unah.edu.hn

³Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra (IHCIT), Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH), Tegucigalpa, Honduras. email: kelly.almendares@unah.edu.hn

⁴Centro Experimental y de Innovación del Recurso Hídrico (CEIRH) del Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra (IHCIT), Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH), Tegucigalpa, Honduras. email: saul.garcia@unah.edu.hn

* Esta obra está bajo una licencia Creative Commons Reconocimiento - NoComercial 4.0 Internacional ©(cc) (i) (nc) (by) (sa)

* This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License. ©(cc) (i) (nc) (by) (sa)

The peri-urban community of La Bodega in the municipality of Santa Ana, south of the city of Tegucigalpa, was chosen, this community of 390 families has a system of springs that are used jointly for water supply. Four systems of infiltration galleries were built in conjunction with the community and the Junta de Agua, and the flow of the springs, rainfall and temperatures in the area are still monitored. The community of the winery is monitored by several actors to disseminate and train in water and adaptation to climate change topics as a pilot relation between community and academy.

PALABRAS CLAVES

Recarga de acuíferos, galerías de infiltración, cosecha de lluvia, participación comunitaria, adaptación al cambio climático

KEYWORDS

Aquifer recharge, infiltration galleries, local aquifers, rainwater harvesting, community participation, adaptation to climate change.

I | INTRODUCCIÓN

La iniciativa del proyecto nace con la problemática de calidad de agua evidenciada en el estudio hidrogeoquímico de la parte alta de la cuenca del río Choluteca que desarrolló el IHCIT/UNAH, MiAmbiente y el Proyecto del Fondo de Adaptación, donde se expone que en dicha área se tiene una pluma de hierro, plomo y manganeso que baja hacia la ciudad de Tegucigalpa; además que estudios complementarios indican que la zona del Cerro de Hula es parte de la zona de recarga de los acuíferos donde se abastece los más de 1000 pozos ubicados en Tegucigalpa capital de Honduras (IHCIT-UNAH, 2014).

El Cerro de Hula cuenta con elevaciones de más de 1800 msnm, con (Basaltos andesíticos) del cuaternario que forman pequeños manantiales de acuíferos colgados los cuales son el inicio del río Choluteca y que son aprovechados por las pequeñas poblaciones que componen políticamente tres municipios: Santa Ana, Ojozona y San Buenaventura.

Estos manantiales que en su mayoría son permanentes por los procesos expansión de la urbanización y agricultura, que deriva en la deforestación de la vegetación han sufrido la disminución de sus caudales según lo informan los miembros de las Juntas de Agua de estas comunidades. Además, en términos de calidad del agua se ven afectados específicamente por metales pesados y otros elementos como nutrientes y bacteriológicos.

El objetivo del estudio es implementar buenas prácticas entorno a la adaptación al cambio climático en el sector recursos hídricos a través de galerías de infiltración que propicien la recarga de los acuíferos locales. Por lo que se localizó una de las comunidades del municipio de Santa Ana, La Bodega que cuenta con más de 390 familias que se abastecen de estos manantiales y de un pozo que han perforado a una profundidad de más de 60 m, siempre en el mismo acuífero volcánico de basaltos fracturados con un área de 0.60 km² (Figura 1), con elevadas concentraciones de manganeso y plomo; además de intervención de la agricultura en la parte alta de los manantiales, contando con menos de 20% de cobertura de bosque y matorrales donde se desarrollarían estas estructuras en conjunto con las comunidades.

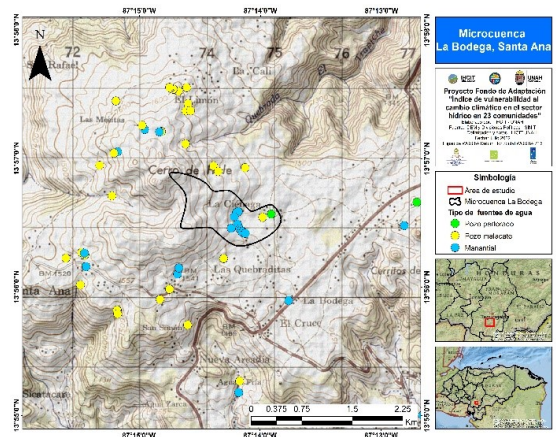


Figura 1: Ubicación de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia para el proyecto, con datos del SINIT-2019, datos del proyecto y base de la cartografía oficial de Naciones Unidas.

II | MATERIALES Y MÉTODOS

Este proyecto forma parte de las iniciativas que la UNAH-IHCIT, la Secretaria de Recursos Naturales Ambiente y Minas (MiAmbiente) y el Proyecto del Fondo de Adaptación (PFA) que realizaron en el marco del proyecto “Enfrentando riesgos climáticos en recursos hídricos en Honduras: Incrementando

resiliencia y disminuyendo vulnerabilidades en áreas urbanas pobres”, donde uno de sus componentes era la implementación de medidas de adaptación al cambio climático. Se escogió la zona del Cerro de Hula por ser zona de recarga para los acuíferos de los que se abastece el Distrito Central que es donde se encuentran las ciudades de Tegucigalpa y Comayagüela con más de 1.2 millones de habitantes, donde se encuentran los municipios de Santa Ana, Ojojona y San Buenaventura para el desarrollo de medidas de adaptación en temas de gobernanza, calidad e infraestructura del agua.

El área de estudio donde se realizó las intervenciones más específicas en temas infraestructurales (galerías de infiltración), es la comunidad de la Bodega por varios aspectos sociales, culturales y físicos (acceso).

Se inició la delimitación de lo que sería la cuenca La Bodega, que abarca la zona de recarga de estos manantiales hasta el punto donde los cauces que se forman de estos manantiales se unen y forman uno solo, que luego es encausado en un pequeño embalse para su aprovechamiento, así como el diseño y construcción de las galerías de infiltración, sistema de monitoreo y reuniones de socialización:

1. *Reuniones con la Junta de Agua y la comunidad de la Bodega*

El primer paso son reuniones con la Junta de Agua para plantear la intervención, sobre todo porque las galerías se construirían en terrenos privados que se requiere permisos. Además, la comunidad debería apoyar con la mano de obra y monitoreo de caudales, estación meteorológica y con datos de calidad del agua.

2. *Delimitación del área*

Dado que son manantiales y que estos se tienen que ver desde el punto de vista hidrogeológico su zona de recarga, se requiere de una geología muy local, datos de precipitación, intensidades, geometría de los acuíferos y algunas características hidráulicas de estos, que contribuyan a la mejor delimitación de su área de recarga y su dinámica.

3. *Diseño de las galerías de infiltración*

Para el diseño de las galerías se realizó un levantamiento topográfico que permitió la mejor ubicación de las cotas (elevaciones) donde se construirían las galerías. Los datos climatológicos fueron estudiados para determinar la intensidad de la lluvia y así la escorrentía superficial para los diseños de caudales de infiltración. Con la geología y datos de suelos se obtiene las profundidades de las galerías y el arrastre de sedimentos de las partes más altas, para poder establecer barreras vivas para los sedimentos y evitar el llenado de finos en la galería.

4. *Construcción de la galería*

Las galerías se construyeron en conjunto con la comunidad, con materiales de la zona, el proyecto proporcione algunos insumos.

5. *Instalación de sistema de monitoreo*

En la parte baja se instalaron vertederos triangulares para el monitoreo de caudales de los manantiales, así como una estación termoplumiometría en el área de influencia que es llevada por uno de los miembros de la comunidad.

6. *Delimitación física de la cuenca y procesos de restauración*

Para poder hacer procesos de restauración más eficaces con especies endémicas e infiltrantes (raíces pivotantes), en primera instancia por un inventario de plantas de la zona y luego el diseño de un plan de restauración.

7. Proceso de cierre con las comunidad y talleres de demostración

Al término de la construcción, talleres con la comunidad para explicar los resultados obtenidos e invitación de otras comunidades para visitar el proyecto.

III | RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1 | El proceso de consulta y socialización

Las primeras intervenciones con las comunidades se dieron gracias al censo que se realizó de las tomas de agua en el Cerro de Hula, donde se establecieron los contactos con las Juntas de Agua. Posteriormente, con estos directivos del agua de las comunidades se realizó un curso sobre el recurso hídrico que logró establecer relaciones entre estas Juntas de Agua, la UNAH-IHCIT, MiAmbiente y el PFA, además de ser un espacio de cogestión entre las partes, asegurando que todos los involucrados estemos enfocados en los mismos objetivos.



Figura 2: Proceso de consulta y socialización

Fuente: Foto propia de los autores

Luego de este primer acercamiento que evidenció la problemática relacionada a la gestión del agua, donde se propuso tanto a la directiva como a toda la comunidad las intenciones del proyecto y lo que implicaría el desarrollo de este.

Las reuniones eran convocadas y dirigidas por las Juntas de Agua, los estudiantes y profesores dieron las charlas de inducción desde lo conceptual al desarrollo del proyecto (Figura 2).

La comunidad en general se mostró receptiva a la idea, evidenciando la problemática del agua en la zona y que urgía hacer actividades para la restauración de la zona de recarga y contribuir a la infiltración del agua de sus nacientes.

2 | Diseño y Construcción de las galerías

El diseño de las galerías se hizo en específico para las condiciones geomorfológicas del terreno, considerando además el fracturamiento de la roca madre, su geoquímica y que la galería contendría agua en reposo por lo que el relleno no podría ser con el mismo tipo de roca, dado que esta tiene altos contenidos de minerales ferromagnesianos. Por ello, se utilizó ignimbrita para el relleno, en diferentes tamaños; asegurando de infiltrar agua fresca libre de metales (Figura 3).

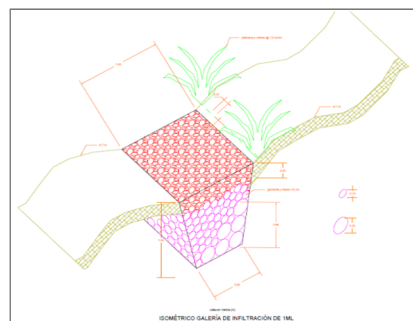


Figura 3: Diseño de las galerías.

Fuente: Elaboración propia para el estudio.

Así mismo el tema climático significó un desafío dado que en la zona no se encuentran estaciones

pluviométricas ni las Juntas de Agua han hecho aforos en los manantiales. La estación meteorológica más cercana está ubicada a 1000msnm (AHAC, 2012) y el área de estudio a 1600 msnm y entre ambas 15km de distancia, por lo que se hizo las relaciones altitudinales y extrapolación con otras estaciones. La precipitación en la zona de estudio presenta un comportamiento bimodal en un año calendario, los valores varían en un rango de 9 a 200 milímetros con un valor medio mensual de 50 milímetros, siendo al año en promedio 700 mm/año lo estimado, con una tasa de infiltración de menos del 30 % por lo que el escurrimiento que se tiene en el área genera arrastre por sus intensidades y sobre todo por las condiciones del suelo desnudo (Figura 4).

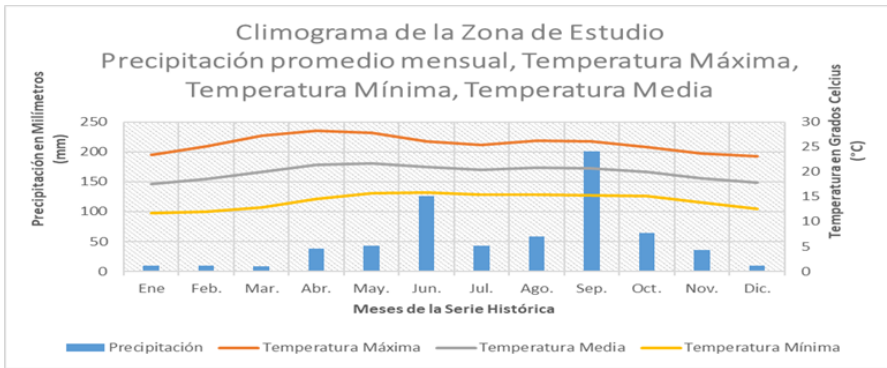


Figura 4: Climograma para la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia a partir de los cálculos de las estaciones de Toncontín (AHAC, 2012) y de la estación Nabil Kawas (UNAH, 2012)

De los datos obtenidos en el sistema de monitoreo de junio 2016 a la fecha, se evidencia una precipitación que alcanza los 2000mm/año (Figura 5), que era de esperarse dado el microclima de la zona y que las grandes diferencias de altura influirían en el cálculo realizado a tener valores muy por debajo de la precipitación real. La estación Cerro de Hula es clave para el estudio del clima en la ciudad de Tegucigalpa y la dinámica que existe entre el valle intramontano y las montañas (De 900 a 1850 msnm). Los tres años de datos que se tienen han demostrado que se tiene siempre un comportamiento bimodal en la precipitación.

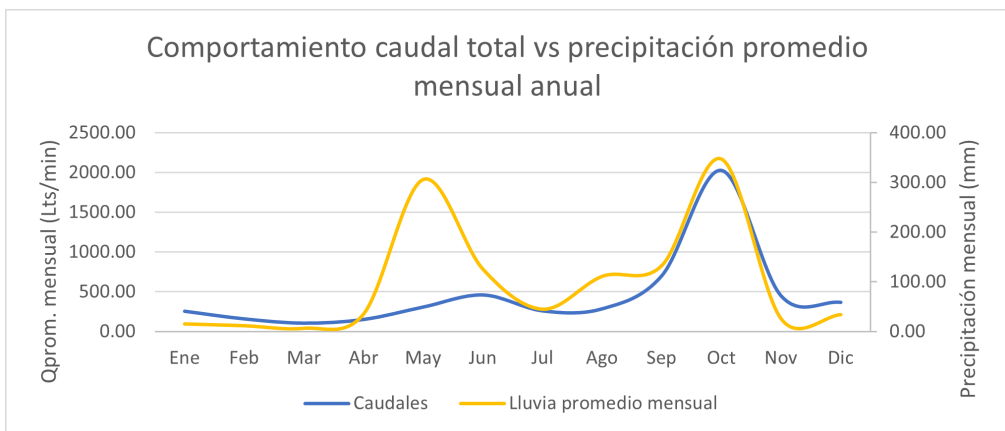


Figura 5: Datos de caudal y precipitación promedio de las estaciones comunitarias. Fuente: Elaboración propia para el estudio a partir de los datos de las estaciones de monitoreo.

El tipo de suelo fue determinante para el diseño de la capa superior y de elección de las plantas que funcionarían como barrera viva en la parte alta de la galería para el control de los sedimentos y así alargar la vida útil, seleccionándose valeriana como barrera viva, rotulando cada una de las galerías con su descripción y función (Figura 6). La etapa de diseño evidenció también la colocación de la roca de gruesos a finos, así como las dimensiones de la base, altura y ancho superior.

La construcción de galerías se realizó con el apoyo de los miembros de la comunidad, con materiales locales y con la dirección de estudiantes y profesores de la UNAH-IHCIT.



Figura 6: . Proceso de construcción de las galerías. Fuente: Foto propia para el estudio

3 | Sistema de monitoreo

Dado la ausencia de información en la zona se instalaron equipos de monitoreo, tales como una estación termoplumiometría de la que un miembro de la comunidad de manera sistemática recolecta los datos de precipitación, temperatura y humedad relativa, desde el 2016 a la fecha.

Además actualmente se ha instalado también una estación isotópica para lluvia y se está cambiando a instrumentos de transmisión. Estación de monitoreo de caudal: se instaló un vertedero triangular donde de forma diaria se mide el caudal.



Figura 7: Estaciones de monitoreo de caudal, termoplumiométrica e isotópica. Fuente: Fotos propias para el estudio

4 | Proceso de restauración

Como parte de las medidas dadas a la comunidad se realizó un inventario de plantas de la zona donde se estudió tanto la resiliencia a la sequía de estas, como su estructura radicular que potencia la infiltración (Tabla 1).

Nombre científico	Nombre Común	Donde se pueden solicitar
<i>Cedrela odorata</i>	Cedro	ICF y Banco de semillas de ESNACIFOR
<i>Pinus oocarpa</i>	Pino ocote	ICF y Banco de semillas de ESNACIFOR
<i>Pinus tecunumanii</i>	Pino ocote	ICF y Banco de semillas de ESNACIFOR
<i>Cupressus lusitanica</i>	Ciprés	ICF
<i>Swietenia macrophylla</i>	Caoba del Atlántico	ICF y Banco de semillas de ESNACIFOR

Tabla 1: Lista de plantas recomendadas para reforestación de la zona de recarga del Cerro de Hula, F.M. mayo 2016, según datos de altura, precipitación, temperatura, suelo y plantas nativas. (Barrance A. y cols., 2003)

Así mismo el sistema de plantaciones que se propone es en curva de nivel que es un sistema utilizado en pendientes pronunciadas. La distribución de las plantas debe ser en tresbolillo para favorecer el efecto positivo del control de la erosión, pero siempre siguiendo el sentido de las curvas de nivel. La plantación se debe llevar a cabo al comenzar del invierno según recomendaciones (temporada de lluvia).

Se hizo todo el programa desde la selección de las plantas, siembra, monitoreo, raleo, deshierbe y demás, así como en la comunidad se acordó tener huertos caseros asegurando que cada familia que se abastece en la zona siembre al menos 5 árboles según el plan diseñado.

IV | DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Existe evidencia del uso y manejo de las galerías filtrantes en diversas partes del mundo y de América Latina desde tiempos remotos, donde de acuerdo el país recibe distintos nombres, pero cuya finalidad es la misma donde se busca captar las aguas subterráneas. El éxito de este tipo de sistemas radica en que estos sistemas no dependen de algún tipo de energía externa, ya que el sistema fluye de manera natural y sustentable tal y como describen (Roberto Montes-Hernández, Alejandro Romero-Contreras, Carlos Solís-Morelos, María Gladys Rivera-Herrejón, y Sergio Zamorano-Camiro, 2010) las galerías de filtración son un sistema que ha dado solución a la escasez del agua en más de 11 municipios de cuenca Alta del Río Lerma en México.

Por su parte (Jara, 2018) detalla que para el Distrito De Pomahuaca - Jaén – Cajamarca en Perú estas galerías representan un sistema de costo económico, y además es un proceso igual de eficiente para el tratamiento del agua potable debido a que se garantiza una captación subsuperficial de agua libre de turbidez ya sea en épocas de lluvias o de sequía. Así mismo (Aderaldo de Souza Silva, Everaldo Rocha Porto, y Henrique de Oliveira Lopes, 2000) comentan que en regiones de Brasil las galerías son utilizadas para aprovechar racionalmente, parte del volumen de agua de lluvia que escurre anualmente sobre la superficie del suelo en las carreteras y caminos para incrementar el contenido de humedad en la zona del sistema radicular de los cultivos arbóreos por un período más prolongado.

La construcción de las galerías fue una experiencia comunitaria- académica, donde el principal producto fue el trabajo conjunto y las relaciones creadas entre las partes. El IHCIT-UNAH puede tener esta zona como un laboratorio en campo para los estudiantes, desde la gestión de información (con las estaciones de monitoreo), la infraestructura instalada (las galerías) y todo el proceso de gobernanza que se requirió para su implementación; y la comunidad cuenta con información que sirve para la toma de decisiones desde la restauración de la zona de recarga, declaratorias y control de volúmenes de agua para suplir la demanda.

Los datos iniciales de caudales y precipitación son clave para ver no solo el impacto generado por las galerías en el aumento de los caudales, sino también por el diseño de estas, que requieren considerar la sedimentación y volúmenes de recarga.

Para el caso de los caudales es muy difícil estimar si ha tenido cambios significativos, primero porque no se tenían datos para comparar, segundo porque estos dos últimos años han sido en relación con el promedio histórico de la zona como muy secos, sin embargo, se puede evidenciar una recarga relativamente rápida (Relaciones caudales – precipitación), teniendo un pico en los meses de sept. – oct., y en junio un pequeño aumento. Con esto la Junta de agua encargada cuenta con datos con los que pueden ir estableciendo relaciones con el comportamiento del recurso hídrico en la zona y como los diferentes procesos de restauración, construcción de nuevas galerías de infiltración o en el peor de los casos degradación de la tierra en la zona tienen influencia en la recarga, por ende, en la oferta del recurso.

Los datos de suelo y el tipo de roca son esenciales para el diseño de las galerías, ya que las rocas fracturadas dada su permeabilidad alta pueden muy fácilmente aprovechar la recarga por medio de las galerías, además de poder hacer a través de las galerías diferentes pruebas para medir la transmisividad del acuífero y tiempos de residencia del agua subterránea.

Las galerías de infiltración son parte de una solución a corto plazo para propiciar la recarga, sin embargo, la restauración con árboles resilientes a la sequía y con raíces pivotantes son una solución a largo plazo más efectiva. La combinación de estas dos actividades puede asegurar desde el corto-largo la recarga de los acuíferos y la vida útil de los manantiales para su aprovechamiento.

V | RECONOCIMIENTOS

Los estudios de línea base y la implementación de estas medidas fueron ejecutados por un equipo técnico del Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra (IHCIT) con el apoyo financiero del proyecto Fondo de Adaptación al Cambio Climático: Enfrentando riesgos climáticos en recursos hídricos en Honduras: Incrementando resiliencia y disminuyendo vulnerabilidades en áreas urbanas pobres que la Secretaria de Recursos Naturales Ambiente y Minas (MiAmbiente) implementó con el apoyo del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Sin embargo, el principal reconocimiento es para la comunidad de la Bodega y su Junta de Agua, que de la forma más proactiva implementaron cada una de las actividades y qué a la fecha se continua con el monitoreo de los datos hídricos.

I | REFERENCIAS

Aderaldo de Souza Silva, Everaldo Rocha Porto, y Henrique de Oliveira Lopes. (2000). *Galerías filtrantes para subirrigación, brasil*. Brasil. (Manual de captacion y aprovechamiento del agua lluvia. Experiencias en América Latina FAO, Santiago (Chile). Oficina Regional para America Latina y el Caribe Zonas Aridas y Semiaridas (FAO))

- AHAC, A. H. d. A. C. (2012). *Datos de la estación meteorológica de toncontín*. Tegucigalpa, Honduras.
- Barrance A., Beer J., Boshier D., Chamberlain J., Cordero J., Detlefsen G., ... Pennington T. (2003). *Árboles de centroamérica. un manual para extensionistas*. Turrialba, Costa Rica.
- IHCIT-UNAH. (2014). *Estudio hidrogeoquímico para la parte alta de la cuenca del río choluteca*. Tegucigalpa, Honduras.
- Jara, W. (2018). *Mejoramiento del sistema de abastecimiento de agua potable utilizando captaciones subsuperficiales - galerías filtrantes del distrito de pomahuaa-jaén-cajamarca*. Perú.
- Roberto Montes-Hernández, Alejandro Romero-Contreras, Carlos Solís-Morelos, María Gladys Rivera-Herrejón, y Sergio Zamorano-Camiro. (2010). *Las galerías filtrantes del alto lerma: usos y manejos sociales*. México.
- UNAH. (2012). *Datos de la estación meteorológica experimental nabil kawas*. Tegucigalpa, Honduras.