

Evaluación de la calidad de agua en sistemas familiares de geomembrana para almacenamiento de agua lluvia

Silvana Mishell Benavides Gordon

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2017

ZAMORANO
CARRERA DE AMBIENTE Y DESARROLLO

Evaluación de la calidad de agua en sistemas familiares de geomembrana para almacenamiento de agua lluvia

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniera en Ambiente y Desarrollo en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Silvana Mishell Benavides Gordon

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2017

Evaluación de la calidad de agua en sistemas familiares de geomembrana para almacenamiento de agua lluvia

Silvana Mishell Benavides Gordon

Resumen. Los recursos hídricos se encuentran amenazados a nivel mundial debido a alteración de sus fuentes y su contaminación. Ligado a esto el crecimiento poblacional limita el acceso a fuentes de agua seguras. Honduras es uno de los países más vulnerables en Centroamérica. Su ubicación dentro del corredor seco le genera problemas en la producción agrícola e inseguridad alimentaria. Organizaciones no gubernamentales han diseñado e implementado nuevas tecnologías de almacenamiento de agua lluvia con bolsas de geomembrana de polietileno de alta densidad en comunidades del corredor seco. El objetivo del estudio es evaluar la calidad del agua almacenada en la bolsa de geomembrana y la de los sistemas de distribución. Se evaluaron cinco sistemas de almacenamiento de agua lluvia ubicada en el Departamento de Lempira y uno en Francisco Morazán. Se analizaron parámetros físico-químicos y bacteriológicos en un total de 37 muestras. Los coliformes (totales y fecales) se analizaron mediante el Número Más Probable usando el medio de cultivo Colilert®. Se reportaron cifras mayores a las esperadas para la mayor parte de parámetros de acuerdo a la normativa vigente. En las muestras analizadas de coliformes fecales se encontraron valores superiores a la normativa, tanto en la bolsa de geomembrana como en el sistema comunitario. Debido al inadecuado manejo y mantenimiento de los sistemas. Se evidenció la mezcla del agua almacenada en la bolsa con fuentes adicionales lo que altera su calidad. Se recomienda capacitar a los beneficiarios sobre mecanismos de desinfección y manejo del agua, previo a ser consumida.

Palabras clave: Coliformes fecales, cosecha de agua lluvia, desinfección Quanty-Tray.

Abstract. The hydric resources find themselves threatened globally due to the alteration of its sources and its contamination, linked to this the population growth limits the access to safe water sources. Honduras is one of the most vulnerable countries in central America, its location along the dry corridor generates issues in the agricultural production and food safety. Non gubernamental organizations have designed and implemented new rain water storage technologies with geoembrane bags and that of distribution systems. five rain water storing systems were evaluated, located in Lempira and one in Francisco Morazan. the physical-chemical parameters of a total of 37 samples were analized. The coliforms (total and fecal) were analized via most probable number using the Colilert culture substrate. Higher ciphers than expected were reported for fecal coliforms, according to the normative to date, in an 82% of the samples and the 18% showed values <1. All the parameters reflect values superior to those expected, both in the geomembrane and in the community system, as a consequence to the inadequate management and maintenance of the systems. the mixture between the water storage in the bag with additional sources was evidenced, which altered its quality. It is recommended to capacitate all the benefactors on disinfection mechanisms and water management previous to consumption.

Keywords: Disinfection, fecal coliforms, Quanty-Tray, rainwater catchment.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. METODOLOGÍA.....	4
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	7
4. CONCLUSIONES.....	16
5. RECOMENDACIONES.....	17
6. LITERATURA CITADA.....	18
7. ANEXOS.....	21

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Fechas de muestreo en el Departamento de Lempira y en la comunidad de La Ciénega.	4
2. Análisis descriptivo de las variables independientes de las muestras y el valor de significancia asintótica bilateral.	11
3. Resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos de los muestreos realizados en los sistemas de almacenamiento de agua lluvia (bolsa geomembrana).	13
4. Resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos de los muestreos realizados en el sistema de distribución (fuentes de abastecimiento de agua).	14
5. Coliformes totales y fecales del agua de filtro.	15
Figuras	Página
1. Localización de los sitios de muestreo en el Sector del Occidente de Honduras.	5
2. pH en la bolsa de geomembrana y en los sistemas de distribución.	7
3. Alcalinidad del agua de la bolsa de geomembrana y sistemas de distribución del Departamento de Lempira y Francisco Morazán.	8
4. Turbiedad en UNT en los sistemas de geomembrana y sistemas de distribución del Departamento de Lempira y Francisco Morazán.	9
5. Color Verdadero en mg/L Pt-Co del agua de la bolsa de geomembrana y sistemas de distribución del Departamento de Lempira y Francisco Morazán.	9
6. Coliformes totales (NMP/100 ml) en los sistemas de geomembrana y sistemas de distribución.	10
7. Coliformes fecales (NMP/100ml) del agua de la bolsa de geomembrana y sistemas de distribución del Departamento de Lempira y Francisco Morazán.	11
Anexos	Página

1.	Sistema de almacenamiento de agua lluvia.	21
2.	Vivienda beneficiada con la bolsa de geomembrana.	21
3.	Huerta de Don Cesar Baneza Paz, Terlaca 2.	22
4.	Bandejas con celdas positivas para coliformes totales.	22
5.	Bandejas con celdas positivas fluorescentes para coliformes fecales.	23
6.	Parámetros recomendados según la norma de calidad de agua en	
7.	Honduras	24

1. INTRODUCCIÓN

El uso insostenible de los recursos hídricos ha generado limitaciones para las poblaciones a nivel mundial. Estudios demuestran que, aunque la cantidad del agua permanece constante, el deterioro de la calidad es uno de los principales problemas para contar con abastecimientos seguros de agua. A la vez, el aumento poblacional ha generado una mayor demanda del recurso hídrico (Fernández, 1999). América Latina y el Caribe cuentan con el 35% de los recursos hídricos a nivel mundial, pero aún enfrentan problemas de escasez, principalmente por la inadecuada distribución del recurso (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2016).

Honduras es uno de los países más vulnerables en Centroamérica, esto debido a que gran parte de su territorio se ubica dentro del corredor seco. El país cuenta con el 42% de su superficie total dentro del corredor seco, lo que equivale a 2,799,376 ha. Se conoce que un 3.9% del área del país se ve afectada de forma severa (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2012). La ocurrencia de periodos prolongados sin lluvia y el fenómeno de El Niño Oscilación Sur (ENOS), generan impactos sobre la agricultura y seguridad alimentaria (FAO, 2016). Junto a condiciones climáticas desfavorables, en el corredor seco se observan problemas de pobreza y degradación de recursos, que afectan principalmente la producción agrícola de las zonas rurales (ONU, 2007).

En las zonas rurales, las mujeres y los niños son los principales encargados de abastecer de agua a la familia, recorriendo grandes distancias diariamente hasta la fuente (Franco, 2013). Debido al limitado acceso a los servicios básicos de agua y saneamiento y a la frecuente pérdida de cultivos, las familias hondureñas en zonas rurales están expuestas a mayores riesgos a la salud y desnutrición (ONU, 2007). Esta situación lleva a implementar nuevas tecnologías que permitan cubrir las necesidades de abastecimiento de agua y mejorar la calidad de vida de poblaciones rurales. Junto con el abastecimiento en cantidad, se debe promover por igual la mejora en la calidad del agua (Barkin, 2005).

A través de los años se han implementado algunas técnicas para el aprovechamiento de la precipitación *in situ*. La cosecha y almacenamiento de agua lluvia es una de las técnicas más utilizadas desde la antigüedad (Brow, Gerston y Colley, 2005). En Centroamérica se conoce su uso desde el Imperio Maya, donde los líderes construían sistemas de abastecimientos de agua de lluvia con el fin de proporcionar agua a la población y asegurar la siembra de cultivos (Ballén, Galarza y Ortiz, 2006).

La cosecha y almacenamiento de agua lluvia es una actividad milenaria de adaptación al cambio climático. Sirve como mecanismo para el buen aprovechamiento del agua, por lo

que es fundamental considerarla como una alternativa para la prevención de riesgos relacionados a la escasez, tanto en zonas urbanas como rurales (Pacheco, 2009). Según Cortes, Hernandez, Guerrero y Vega (2011), la captación de agua de lluvia tiene mayor capacidad de aprovechamiento si es captada en los techos de hogares, con un gasto económico mínimo. Dependiendo la calidad del agua, se dará un uso doméstico o de irrigación. Varios autores sostienen que es fundamental realizar análisis microbiológicos y fisicoquímicos para conocer la calidad del agua, principalmente aquella que es usada para consumo humano (Rojas, Gallardo y Martínez, 2012).

Para adaptarse a las condiciones locales, y como alternativa de solución a la problemática de disponibilidad de agua, se han implementado sistemas de cosecha y almacenamiento de agua lluvia en diferentes partes del país. CARE internacional en Honduras y la empresa MEXICHEM, mediante el proyecto PROSADE llevado a cabo en el 2013, iniciaron la implementación de bolsas de geomembrana en comunidades del corredor seco, como sistemas de almacenamiento de agua. En el departamento de Lempira se instalaron 295 bolsas, y en el año 2015 se iniciaron convenios con la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano para evaluar la tecnología con el apoyo de Global Water Partnership Centro América (GWP-CA) (Gomez, 2017).

El *kit* de cosecha de agua lluvia consta de varios componentes. Para la captura del agua se utilizan los techos de las casas o escuelas. La cantidad de agua recolectada depende del tipo de superficie y el área del techo. Posteriormente, el agua es conducida por las canaletas de Policloruro de Vinilo (PVC) instaladas en las orillas del techo, hasta el punto de almacenamiento. Previo a ser almacenada, pasa por dos etapas de filtración con las que cuenta el sistema. El primer filtro retiene el agua de lluvia que cae al inicio, con el fin de evitar el paso de sólidos y suciedad acumulados en el techo. En el segundo filtro se retiene cualquier sólido que no fue retenido en la primera etapa. Este segundo filtro está compuesto de PVC con malla de tamiz (Gomez, 2017).

El almacenamiento del agua se da en la bolsa de polietileno de alta densidad de 1 mm de espesor, la cual cuenta con protección contra rayos ultravioleta y contiene una válvula para expulsar el aire, asegurando así la captación máxima de agua (Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal, 2012). La capacidad de la bolsa se encuentra entre 10,000 hasta 50,000 litros, dependiendo del área disponible y necesidades del implementador. El sistema cuenta con una bomba manual de PVC para extraer el agua de la bolsa. La cantidad de agua extraída de la bolsa dependerá de su uso futuro, ya sea irrigación o consumo doméstico. Junto con la bolsa de geomembrana, las familias reciben un sistema de riego por goteo para un área de 200 m² (Gomez, 2017).

CARE no cuenta con estudios previos que garanticen que la calidad del agua almacenada es segura para uso doméstico. Por esta razón, el objetivo del estudio es evaluar el uso de la bolsa de geomembrana como alternativa para el almacenamiento de agua. La investigación contó con los siguientes objetivos:

- Evaluar la calidad físico-química y bacteriológica del agua almacenada en sistemas seleccionados de cosecha de agua en los departamentos de Lempira y Francisco Morazán.

- Comparar la calidad del agua almacenada en la bolsa con el agua de los sistemas comunitarios en la zona de estudio, para conocer la viabilidad del uso de la bolsa como sistema de respaldo para abastecimiento familiar de agua para consumo.
- Conocer los beneficios y usos de la tecnología de la cosecha de agua lluvia, y factores ligados al mantenimiento y cuidado que puedan afectar la calidad del agua almacenada.

2. METODOLOGÍA

Localización del estudio.

El estudio se realizó en el Occidente de Honduras en las comunidades de Terlaca, El Sitio y Canguacota, ubicados en el Departamento de Lempira y en la aldea La Ciénega en el municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán. Se analizaron cinco sistemas de cosecha y almacenamiento de agua lluvia.

Con base en la Norma Técnica para la Calidad del Agua Potable en Honduras (Ministerio de Salud, 1995) se efectuó una comparación de los nueve parámetros físico-químicos y bacteriológicos de calidad de agua para consumo humano. El agua de la bolsa de geomembrana se analizó en dos ocasiones en el Departamento de Lempira y cuatro veces en San Antonio de Oriente (Cuadro 1). Se recolectó un total de 37 muestras para el análisis.

Cuadro 1. Fechas de muestreo en el Departamento de Lempira y en la comunidad de La Ciénega.

Muestreos	Fecha	
	La Ciénega	Lempira
M1	19-abril	05-06 abril
M2	05-mayo	13-14 mayo
M3	22-mayo	
M4	05-junio	

Se recolectaron muestras en los sitios del Departamento de Lempira y La Ciénega del agua almacenada dentro de la bolsa de geomembrana y muestras del agua del sistema de distribución comunitario (Figura 1). Adicionalmente, se recolectaron muestras en las comunidades del Departamento de Lempira para ser depuradas por el filtro (agua de barro) en el laboratorio de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. En La Ciénega se recolectaron muestras de agua del filtro de la vivienda.

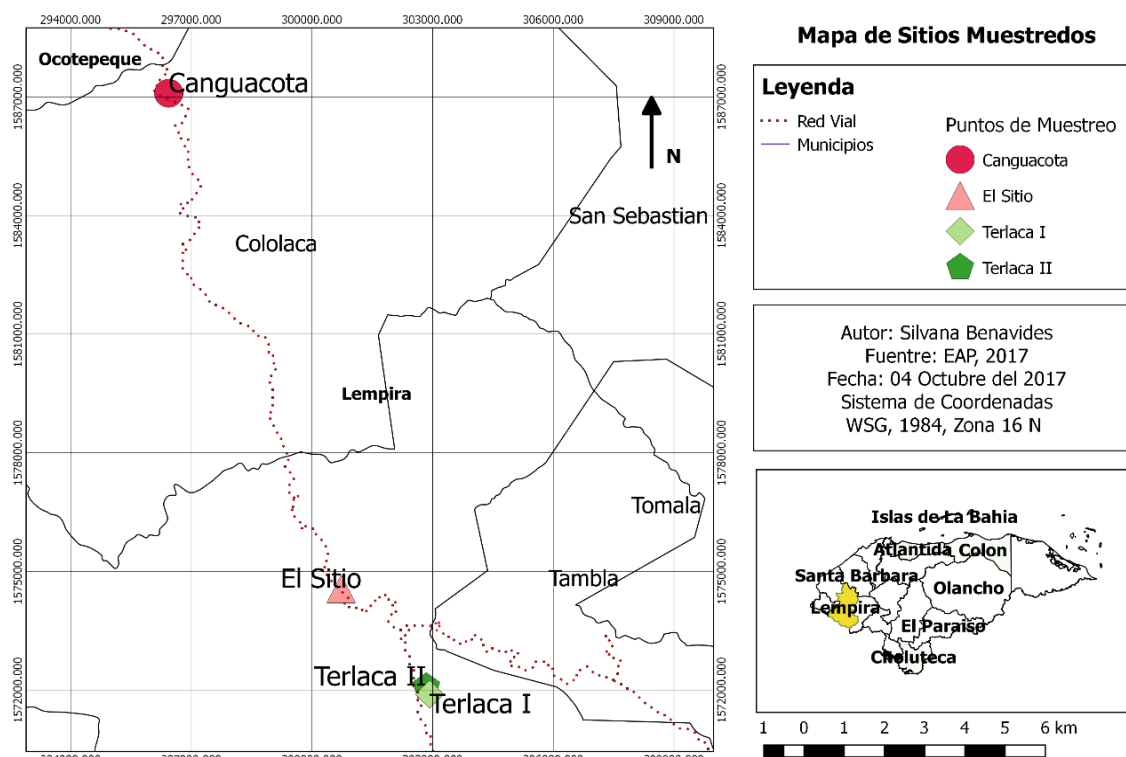


Figura 1. Localización de los sitios de muestreo en el Sector del Occidente de Honduras.

Análisis de calidad de agua.

Los análisis físicos y químicos se realizaron *in situ* en cada muestreo. Se utilizó el multiparámetro OAKTON (OAKTON INSTRUMENT, 2010) para medir la temperatura, conductividad, salinidad, sólidos totales disueltos y pH de cada muestra. Por medio del colorímetro HachDR/890, se analizó la turbiedad y el color verdadero (HachDR/980 INSTRUMENT, 2013). La turbiedad, medida en Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT), es un indicador de la transparencia o visibilidad del agua e indica la posible presencia de microorganismos o sustancias dañinas para la salud (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2008). El color verdadero indica la presencia de material suspendido o disuelto en el agua, reduciendo la transparencia. Se conoce que la principal fuente de color es la materia orgánica (Bautista y Ruiz, 2011).

Dentro de los parámetros bacteriológicos analizados, se evaluó la presencia de coliformes (totales y fecales). Los coliformes totales son un grupo de bacterias presentes en el entorno y la mayoría no afecta a la salud humana. Sin embargo, las enterobacterias, pertenecientes al grupo de los Coliformes fecales, tienen la capacidad de alterar y causar problemas a la salud. Este grupo está representado principalmente por el microorganismo *Escherichia coli*, el cual se desarrolla en diversos ambientes y es considerado como indicador de aguas contaminadas por la presencia de materia fecal (Sigler y Bauber, 2012).

Para el análisis bacteriológico de coliformes (totales y fecales) se utilizó el método del Numero Más Probable (NMP). Se utilizó Colilert® como medio de cultivo y QuantyTray Seller® como sellador. Se recolectaron muestras de 100 mL en bolsas estériles Whirl-

pack® y se inoculó cada muestra por separado con el medio de cultivo. Una vez disuelto el medio se colocó en una bandeja Quanti-Tray2000®, la que fue previamente etiquetada con los datos y nombre del sitio de muestreo. Las bandejas se sellaron y se incubaron durante 24 horas a una temperatura de 35°C. Para cada análisis se preparó un blanco de muestreo donde se utilizó agua embotellada purificada (IDEXX Laboratorios, 2007).

Los resultados con coloración amarilla total o parcial en cada una de las celdas indican presencia de coliformes totales. La medición de coliformes fecales se realizó bajo luz ultravioleta. Las celdas con coloración fluorescente indicaron un resultado positivo para *E. coli* y fueron reportadas como Número Más Probable (NMP) de Unidades Formadoras de Colonia (UFC) (IDEXX Laboratorios, 2007).

El análisis de alcalinidad se realizó en el laboratorio de calidad de agua en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, por medio de titulación con ácido sulfúrico (0.2 N) en presencia de naranja de metilo y fenolftaleína, con un volumen de muestra de 50 ml. El resultado fue reportado como mg/L CaCO_3 (American Water Works Association [AWWA], 1998).

Análisis estadístico.

El análisis consistió en un test de comparación de medias con un nivel de significancia del 5% para establecer diferencias entre los parámetros físico- químico y bacteriológico de las fuentes muestreadas en cada sitio. Previamente, se evaluó normalidad en la distribución de los datos mediante el test Shapiro-Wilk con un nivel de significancia del 5%. Para los parámetros provenientes de una distribución normal se aplicó el test T de Student. Para los datos que no significaron una población normal se aplicó la prueba U de Mann-Whitney. Los análisis se realizaron con el programa “Statistical Package” for the Social Sciences (SPSS 19.0) de International Business Machines Corporation (IBM).

Entrevistas.

En cada zona muestreada se entrevistó a los beneficiarios, con el fin de conocer los usos del agua, aspectos de mantenimiento y cuidado del sistema, desde la instalación hasta su uso actual.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros físico-químicos.

pH. Los análisis realizados, tanto para la bolsa de geomembrana y el sistema de distribución, presentan variaciones debido al manejo y mantenimiento de cada usuario. Los valores de pH se encuentran dentro de la normativa vigente en Honduras (6.5 a 8.5). El valor del pH no representa un peligro directo para la salud humana, pero tiene influencia en las reacciones que ocurren en el agua (OMS, 2008). La lluvia es el conductor principal de contaminantes presentes en la atmósfera, la contaminación transportada depende de la intensidad y duración de la lluvia. Se asocia la caída de lluvias ácidas con la corrosión de materiales e infraestructuras (Garcés y Hernández, 2004).

El pH del agua de lluvia es ligeramente ácido, por lo que se esperaba encontrar valores de 5.7 y 7, esto debido a la mezcla entre el agua y el dióxido de carbono del aire (Garcés y Hernández, 2004). El pH va ascendiendo desde el primer evento de lluvia hasta llegar a un valor de 7, y los valores encontrados fueron de 6.5 o mayores a este (Figura 2). Se puede señalar que el agua almacenada en las bolsas proviene de una mezcla con fuentes adicionales, ya que se encontraron valores superiores a 7. Sin embargo, otro factor importante es la deficiente limpieza de los canales y filtros del sistema de geomembrana.

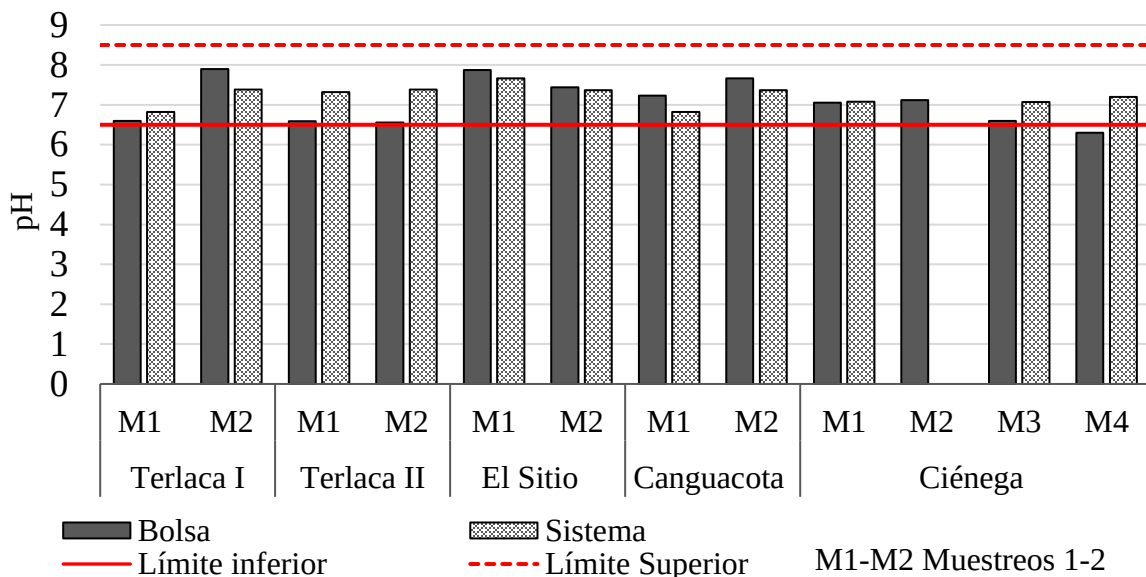


Figura 2. pH en la bolsa de geomembrana y en los sistemas de distribución.

Alcalinidad. Este parámetro se relaciona con el contenido de carbonatos y bicarbonatos presentes en el agua y puede alterar el pH (Lenntech, 2017). Según los resultados de alcalinidad, se observan valores de 50 mg/L de CaCO_3 y menores a este (Figura 3). Valores de 100 a 200 mg/L de CaCO_3 y un $\text{pH} < 6.5$ provocan que el agua se vuelva corrosiva, ya que los carbonatos y bicarbonatos tienden a disolverse con iones metálicos como: hierro, manganeso, cobre, plomo y zinc (Carbotecnia, 2014).

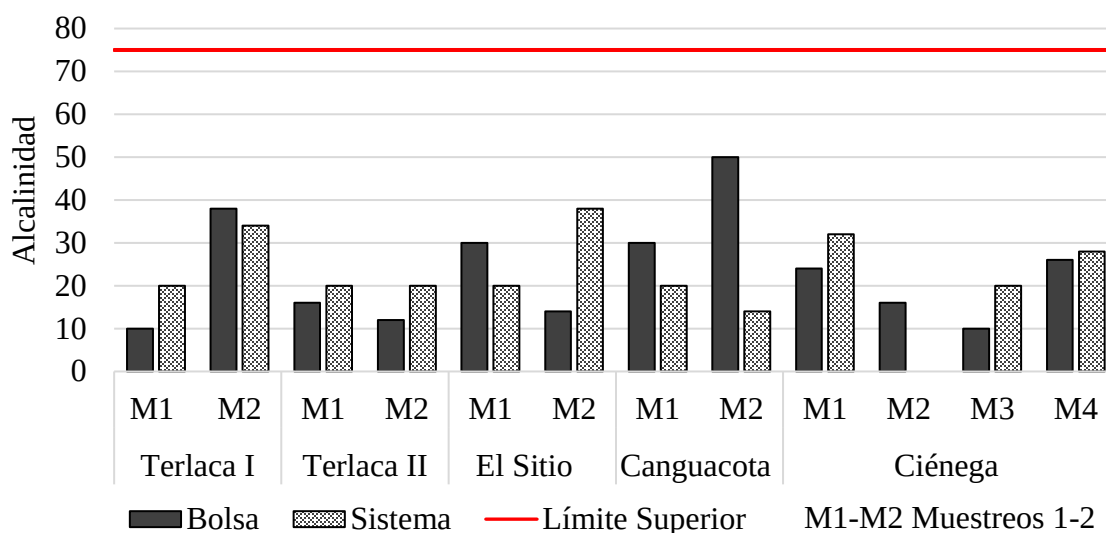


Figura 3. Alcalinidad del agua de la bolsa de geomembrana y sistemas de distribución del Departamento de Lempira y Francisco Morazán.

Turbiedad. La turbiedad es causada por partículas en suspensión como arcillas y tierra fina, también se asocia con riesgos microbiológicos (Bautista, y Ruiz, 2011). Según la normativa vigente se acepta un máximo de 5 UNT en agua destinada para consumo. En la mayoría de los casos se encontraron valores por encima de la normativa (Figura. 4). El 64% de las muestras de la bolsa y el 82% de las muestras de los sistemas comunitarios superan los valores de 5 UNT. Del total de muestras, 16 presentan valores mayores a 30 UNT y únicamente 6 muestras registran valores óptimos.

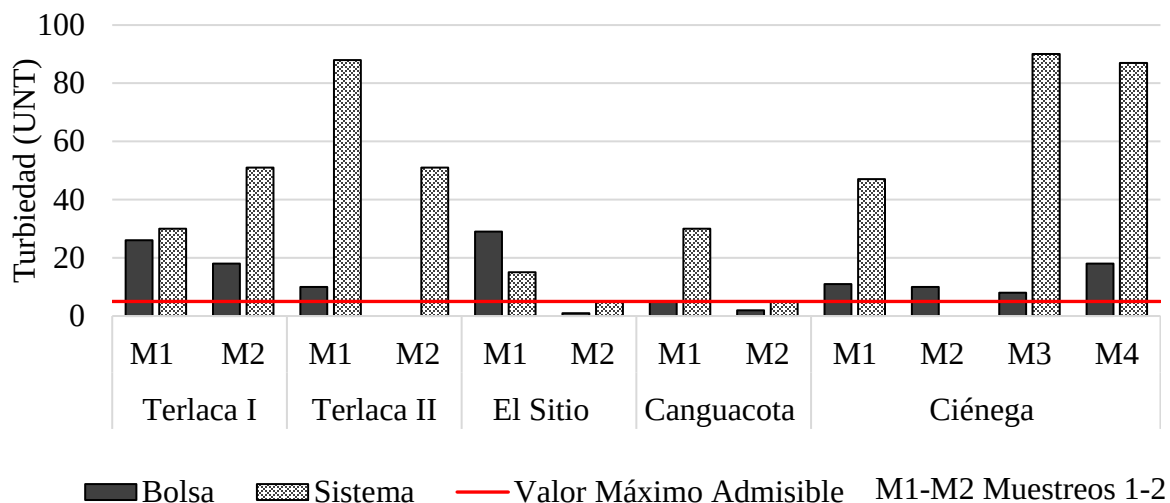


Figura 4. Turbiedad en UNT en los sistemas de geomembrana y sistemas de distribución del Departamento de Lempira y Francisco Morazán.

Color verdadero. Este parámetro va ligado con la turbiedad. Aunque no se conoce la estructura que determine el color, se atribuye directamente a taninos, lignina y ácidos húmicos (Bautista y Ruiz, 2011). La medición del color brinda la cantidad o el nivel de contaminación que puede presentar el agua a un nivel visual. El color verdadero alcanzó valores de 179 mg/L Pt-Co en la bolsa y mayores a 550 mg/L Pt-Co en el sistema de distribución (Figura 5). El color aumentó en el sistema de distribución por la ocurrencia de precipitación en días anteriores al muestreo, generando un arrastre de sólidos. Terlaca II es el único sitio en el cual se midieron valores menores al máximo admisible de 15mg/L PT-Co según la normativa. Esto gracias a que el usuario proporciona limpieza del sistema de canaletas y filtros, remueve sólidos y materia orgánica.

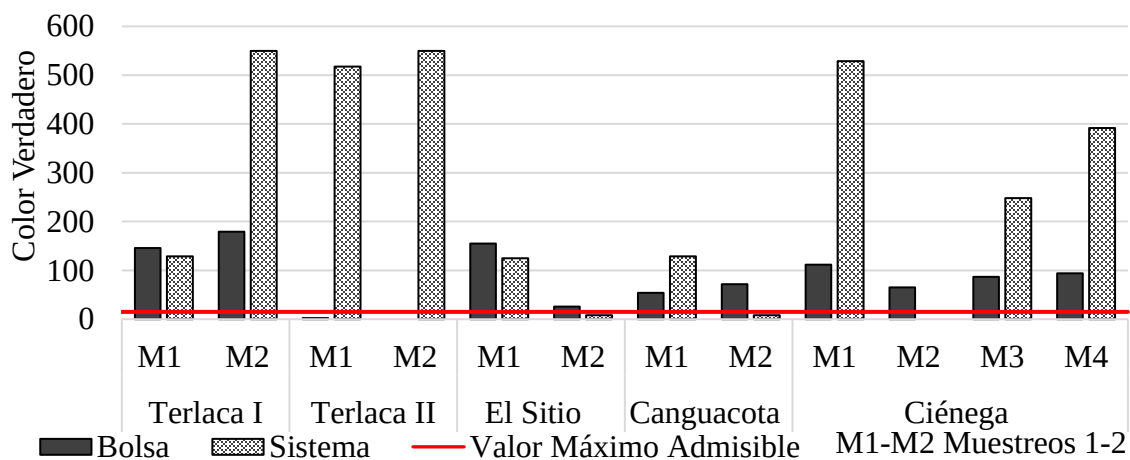


Figura 5. Color Verdadero mg/L Pt-Co del agua de la bolsa de geomembrana y sistemas de distribución del Departamento de Lempira y Francisco Morazán.

Parámetros bacteriológicos.

Se analizaron parámetros indicadores de ausencia de mecanismos de desinfección (Coliformes totales) y de contaminación fecal. La presencia de (*Escherichia coli*) refleja que el agua ha entrado en contacto con materia fecal de animales de sangre caliente. Esto representa alto riesgo, ya que los organismos patógenos que contiene el agua causan daños en la salud si es ingerida (Samudio, 2012).

Coliformes totales. Con relación a los coliformes totales, el 82% de las muestras presentan valores mayores a los establecidos por la normativa vigente y el 18% presentan valores <1. La normativa admite un máximo admisible de 3 Unidades Formadoras de Colonia (UFC) en NMP/100 ml para agua sin procesos de desinfección. Canguacota, uno de los sitios muestreados en el Departamento de Lempira (Figura 6), presenta valores óptimos ya que el usuario no mezcla el agua de lluvia con el agua del sistema de distribución.

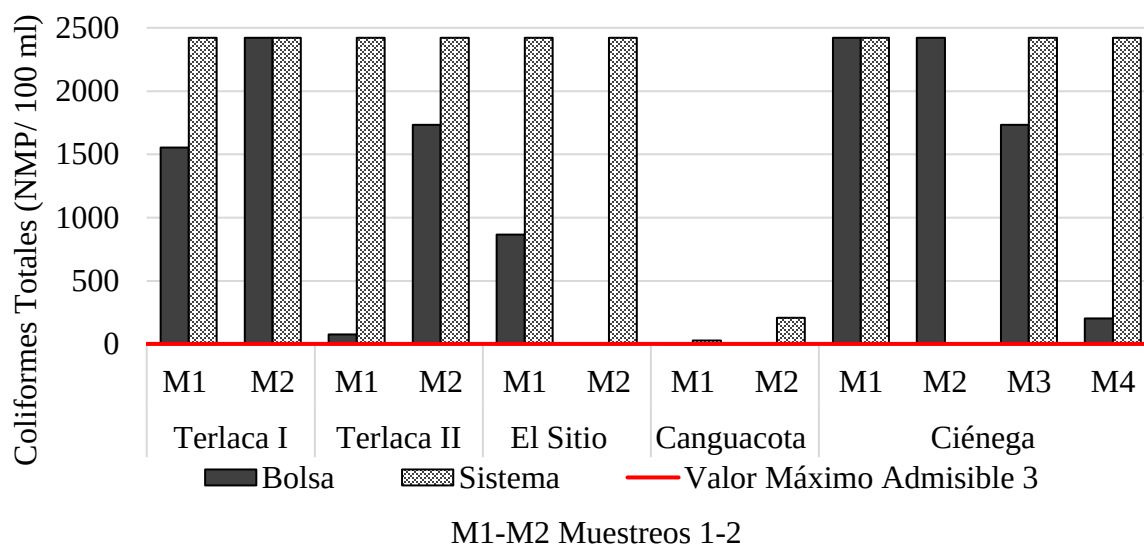


Figura 6. Coliformes totales (NMP/100 ml) en los sistemas de geomembrana y sistemas de distribución del Departamento de Lempira y Francisco Morazán.

Coliformes fecales. La presencia de coliformes fecales en agua destinada para consumo humano indica riesgos a la salud. Cuando se identifica su presencia se recomienda realizar un tratamiento básico de purificación para que pueda ser utilizada domésticamente (Rojas, Gallardo y Martínez, 2012). Según la normativa vigente en Honduras, el valor de coliformes fecales es de 0 UFC NMP/100 ml, aunque los resultados presentan que el 65% de las muestras contienen valores positivos. El 35% de las muestras presentan valores óptimos, pero el agua de estas muestras no es necesariamente adecuada para consumo debido a que los valores de los otros parámetros no se encuentran dentro de los rangos permisibles. Canguacota presenta valores adecuados tanto en coliformes totales y fecales, ya que el usuario no mezcla el agua con fuentes alternas.

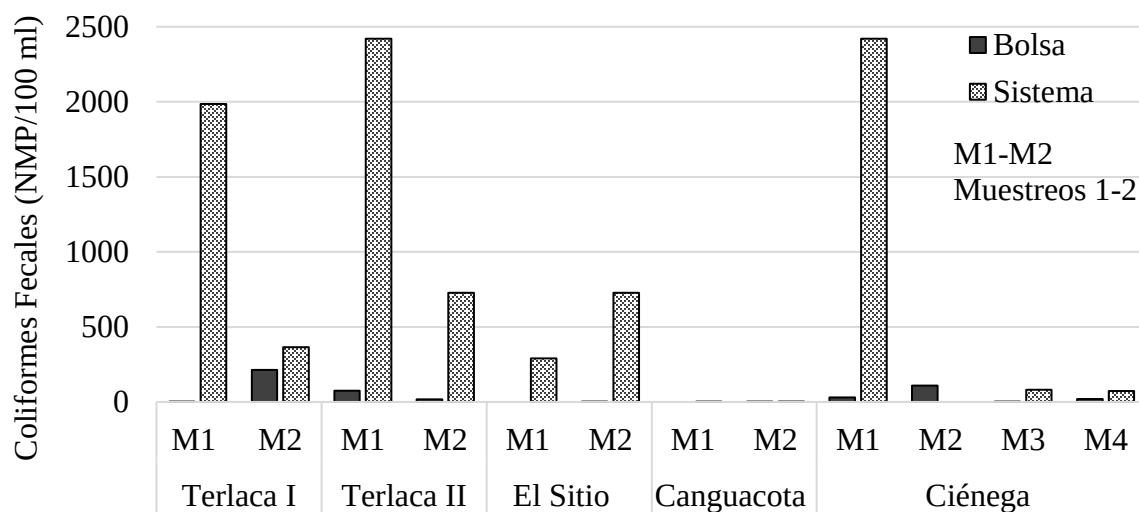


Figura 7. Coliformes Fecales (NMP/100ml) del agua de la bolsa de geomembrana y sistemas de distribución del Departamento de Lempira y Francisco Morazán.

Análisis estadístico.

Las variables que presentan diferencia significativa con un $p < 0.05$, fueron: turbiedad, color verdadero, coliformes totales y fecales. Estas diferencias se deben a que el agua del sistema de distribución no cuenta con métodos de desinfección previo a ser distribuida en los hogares de los sitios muestreados. La contaminación aumenta cuando hay eventos de precipitación por el arrastre de sólidos aumentando la turbiedad, el color y la carga bacteriana (Cuadro 2).

Cuadro 2. Análisis descriptivo de las variables independientes de las muestras y el valor de significancia asintótica bilateral.

Parámetros	Media		Sig. (bilateral) $p < 0.05$
	Bolsa	Sistema	
pH	7.07	7.22	0.417
Turbidez (UNT)	11.50	45.36	0.006**
Salinidad (ppm)	31.21	26.69	0.947
Solidos Totales Disueltos (ppm)	40.85	33.63	0.692
Color verdadero (mg/L Pt-Co)	82.66	289.59	0.012 *
Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	57.39	47.34	0.792
Coliformes Totales (NMP/100ml)	119.74	2001.81	0.024**

Parámetros	Media		Sig. (bilateral) p < 0.05
	Bolsa	Sistema	
Colifomes Fecales (NMP/100ml)	39.3	826.64	0.012*

Denota diferencia significativa ($p \leq 0.05$) ** $p = 0.002-0.005$ (medianamente significativa); * $= (p < 0.05)$ (baja significancia).

Entrevistas.

Las entrevistas se realizaron a los usuarios del sistema de almacenamiento. Se conoce que la mayor parte de los usuarios cuentan con pequeñas huertas, las cuales son irrigadas con el agua almacenada dentro de la bolsa. Gracias a la tecnología, los usuarios pueden llegar a tener varias cosechas al año por la mayor disponibilidad de agua, aunque no presente los parámetros adecuados. Algunos de los beneficiarios extraen agua de pozos cercanos a la vivienda y la mezclan con el agua de lluvia almacenada en la bolsa de geomembrana, con el objetivo de asegurar el riego de sus parcelas.

La mayor parte de beneficiados hombres son agricultores y las mujeres son amas de casa a tiempo completo. Para ellos, la bolsa de geomembrana representa una ventaja, ya que ahorran tiempo al no tener que caminar largas distancias para conseguir agua. Los usuarios se sienten más seguros e invierten su tiempo en otras actividades importantes. Aseguraron tener más ingresos, ya que el sobrante de las cosechas es vendido en el centro de la comunidad o a familias vecinas. También ahorran dinero, al evitar la compra de alimentos que pueden sembrar en el patio de su casa.

Cuadro 3. Resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos de los muestreos realizados en los sistemas de almacenamiento de agua lluvia (bolsa geomembrana).

Parámetros	Terlaca I		Terlaca II		El Sitio		Canguacota		La Ciénega			
	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M3	M4
pH	6.6	7.9	6.59	6.56	7.87	7.44	7.23	7.66	7.05	7.12	6.6	6.3
Turbidez(UNT)	26.0	18.0	10	0	29.0	1	5	2.0	11.0	10.0	8.0	18.0
Alcalinidad (mg/L CaCO ₃)	10.0	38.0	16	12.0	30.0	14.0	30	50.0	24.0	16.0	10.0	26.0
Sólidos Totales Disueltos (ppm)	25.7	28.3	27.8	20.6	67.5	65.2	83.6	81.7	32.5	24.0	16.6	16.8
Salinidad (ppm)	22.8	24.1	24.6	20.4	45.7	45.3	55.7	56.0	26.0	20.0	16.5	17.5
Color Verdadero (mg/L Pt-Co)	146	179	2	0	155	26.0	54	72.0	112	65.0	87.0	94.0
Conductividad Eléctrica (μS/cm)	36.1	40.2	39.2	29.1	95.1	90.4	117	115	45.3	33.6	23.5	24.0
Coliformes Totales (NMP/100ml)	1553	2420	77.1	1733	866.4	1	8.4	<1	2420	2420	1733	204
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	<1	214	75.0	18.0	0	1	MD	<1	31.0	110	2.0	19.0

MD: Muestra descartada

M1: Muestreo 1

M2: Muestreo 2

Cuadro 4. Resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos de los muestreos realizados en el sistema de distribución (fuentes de abastecimiento de agua).

Parámetros	Terlaca I		Terlaca II		El Sitio		Canguacota		La Ciénega			
	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M3	M4
pH	6.82	7.38	7.32	7.38	7.66	7.37	6.82	7.37	7.08	MD	7.07	7.2
Turbidez (UNT)	30.0	51.0	88.0	51.0	15.0	5.0	30.0	5.0	47	MD	90.0	87.0
Alcalinidad (mg/L CaCO ₃)	20.0	34.0	20.0	20.0	20.0	38.0	20.0	14.0	32	MD	20.0	28.0
Sólidos Totales Disueltos (ppm)	23.9	35.2	39.5	35.2	74.1	22.9	23.9	22.9	38.5	MD	30.5	23.4
Salinidad (ppm)	21.3	27.7	29.4	27.7	48.8	21.2	21.3	21.2	29.1	MD	24.9	21.0
Color Verdadero (mg/L Pt-Co)	129	>550	517	>550	125	8.0	129	8.0	529	MD	248	392
Conductividad Eléctrica (μS/cm)	34.1	49.4	55.5	49.4	103.4	32.3	34.1	32.3	54.2	MD	43.2	32.9
Coliformes Totales (NMP/100ml)	2420	2420	2420	2420	2420	2420	30.0	210	2420	MD	2420	2420
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	1986	365	2420	727	291	727	<1	3.1	2420	MD	81.0	73.0

MD: Muestras descartadas

M1: Muestreo 1

M2: Muestreo 2

Los resultados de cada muestreo nos dan a conocer qué parámetros se encuentran dentro de la normativa vigente. De manera general, la mayoría de parámetros evaluados en la bolsa de geomembrana se encuentran sobre el rango establecido. La variación de los parámetros se debe al mal manejo de los usuarios, ya que, aunque la bolsa presenta características físicas y químicas que impiden contaminación, el mal manejo y el poco mantenimiento de parte de los usuarios genera contaminación en el agua. Se añade a esto, la mezcla del agua de lluvia con fuentes alternas. El agua almacenada en la bolsa no es adecuada para el consumo humano por la presencia de coliformes fecales. Este es uno de los parámetros más importantes ya que estos organismos pueden ser causantes de enfermedades intestinales al ser ingeridos en el agua, siendo esta la principal causa de muerte en niños menores de 5 años (Banco de Desarrollo de América Latina, 2013).

El sistema de distribución refleja valores aún más elevados que los observados en la bolsa de geomembrana, superando también los de la normativa vigente (Cuadro 3). Los beneficiarios explicaron que la comunidad no presenta programas de desinfección para el agua de los sistemas, y tampoco cuentan con la infraestructura adecuada para almacenamiento y distribución. Estos sistemas no utilizan cloro como mecanismo de desinfección del agua, debido a que el olor generado por el cloro en el agua genera incomodidad en los usuarios.

Cuadro 5. Coliformes totales y fecales del agua de filtro.

	Terlaca I		Terlaca II		El Sitio		Canguacota		La Ciénega			
	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2	M3	M4
Totales (UFC)	179	<1	1046	<1	262	<1	75	<1	<1	2,420	2,420	411
Fecales (UFC)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2	<1	<1

M1: Muestreo 1

M2: Muestreo 2

Adicionalmente, en el estudio se analizó la eficiencia del filtro de cerámica utilizando muestras de agua del Departamento de Lempira en el segundo muestreo. La finalidad fue evaluar la remoción de contaminantes. El filtro de cerámica elimina bacterias microbiológicas, agua turbia y mal olor, removiendo el 99.9% de patógenos. Se observaron resultados positivos en el Muestreo 2 (M2). Para La Ciénega se recolectó únicamente las muestras de los filtros de la vivienda, y los resultados presentaron valores mayores a 2,420 Unidades Formadoras de Colonias (UFC) que es valor máximo encontrado en la tabla de Número más Probable del fabricante (IDEXX Laboratorios , 2007).

4. CONCLUSIONES

- El agua almacenada en las bolsas es de mejor calidad físico-química y bacteriológica que el agua evaluada de los sistemas comunitarios de agua “potable”. Sin embargo, no refleja valores esperados de agua lluvia almacenada. Esto se debe a la dilución que ocurre del agua lluvia con el agua del sistema comunitario, la cual no recibe tratamiento y está expuesta a fuentes de contaminación. El agua lluvia se deteriora con la mezcla, aumentando su turbiedad, color y carga bacteriana.
- La bolsa de geomembrana para almacenamiento de agua lluvia es una tecnología de mucha utilidad para los pequeños agricultores de la zona de Tomalá, Lempira y La Ciénega, debido a que les permite sustentar sus cultivos y reducir la dependencia exclusiva de la lluvia para riego.
- El grado de conocimientos y nivel de capacitación de los usuarios de las bolsas tiene un impacto en la calidad de agua de los sistemas. Las muestras recolectadas de la bolsa que presentan mayor frecuencia de limpieza tienen valores menores de contaminación a los encontrados en el sistema de distribución.
- No se identificaron fuentes de contaminación de agua alrededor o dentro del sistema. Sin embargo, los sólidos que son arrastrados por el agua de la comunidad tienden a acumularse dentro de la bolsa y deteriorar la calidad del agua. La bolsa no cuenta con un mecanismo de limpieza factible para la remoción de sólidos y esto dificulta su mantenimiento.

5. RECOMENDACIONES

- Aunque la bolsa de geomembrana presente características para evitar contaminación es fundamental que los beneficiarios desarrollen mecanismos de desinfección del agua en caso de que sea usada para consumo no solamente para riego. Esto debe realizarse a través de capacitaciones sobre manejo de agua en el hogar y sobre los riesgos a la salud derivados del consumo de agua contaminada.
- Verificar las recomendaciones técnicas sobre limpieza de las bolsas, mantenimiento de los filtros y desinfección de las bolsas por cloración. Los técnicos que den seguimiento a esta tecnología deben asegurarse de supervisar el manejo de los sistemas. La empresa debería tomar en cuenta el rediseño de la bolsa de geomembrana, adoptando un diseño que incluya una abertura para facilitar la limpieza adecuada dentro de la bolsa.
- Realizar estudios de seguimiento que evalúen y comparen la eficiencia de los filtros utilizados por los beneficiarios en la zona, para garantizar la desinfección adecuada del agua, evitando enfermedades.
- Trabajar en conjunto con las Juntas Administradoras de agua para prevenir la contaminación de fuentes de agua y promover la implementación de mecanismos comunitarios de desinfección.

6. LITERATURA CITADA

- American Water Works Association. (1998). Standard Methods for examination of water and wastewater. Texas, Estados Unidos: 21 St Ed.
- Ballén, J., Galarza, A., y Ortiz, R. (2006). Historia de los sistemas de aprovechamiento del agua lluvia. Joao Pessoa, Brasil: *Seminário Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Agua*. Recuperado de: <http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/serea/6serea/TRABALHOS/trabalhoH.pdf>.
- Banco de Desarrollo de América Latina. (2013). *Equidad e inclusion social en América Latina, acceso universal al agua y el saneamiento*. Corporacion Andina.
- Barkin, D. (2005). La producción campesina de agua: aportación para el equilibrio social, economico y ecológica. Xochimilco, México: *XI IRCSA CONFERENCE* Recuperado de: <http://www.eng.warwick.ac.uk/ircsa/pdf/11th/barkin.pdf>.
- Bautiste, C., y Ruiz , V. (2011). Calidad de agua para el cultivo de tilapia en tanques de geomembrana. Nayarit, México: *Universidad Autónomas de Nayarit*. Recuperado de: <http://fuente.uan.edu.mx/publicaciones/03-08/2.pdf>.
- Brow, C., Gerston, J., y Colley, S. (2005). *The Texas manual on rainwater harverting* . Austin, Texas: *Texas water development board*: Recuperado de: http://www.twdb.texas.gov/publications/brochures/conservation/doc/RainwaterHarvestingManual_3rdedition.pdf.
- Carbotechia. (2014). pH del Agua. Jalisco, México: *Carbotechia*. Recuperado de: <https://www.carbotechia.info/encyclopedia/que-es-el-ph-del-agua/>.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2016). Red de cooperacion en la gestion integral de recursos hídricos para el desarrollo sustentable en América Latina y el Caribe. N° 45.
- Cortes, M., Hernandez, C., Guerrero, C., y Vega, R. (2011). Captación y aprovechamiento del agua de lluvia . Tabasco, México: Kuxulkab. Recuperado de : <http://revistas.ujat.mx/index.php/kuxulkab/article/viewFile/366/289>
- Covarrubias, H. (2012). Los recursos hídricos en América Latina. *Evolución, Desarrollo y Transformación de las ideas*, 2.

- Fernández, C. (1999). El agua como fuente de conflictos: repaso de los focos de conflictos en el mundo. Recuperado de: <http://www.jstor.org/stable/40586156>.
- Food and Agriculture Organization. (2016). *Corredor Seco América Central*. Centroamérica: FAO.
- Franco, M. (2013). Género y Agua en Centroamérica: Agua en Centroamérica. En Ideasmares (Ed.).
- Garcés, G., y Hernández, M. (2004). La lluvia ácida: un fenómeno fisicoquímico de ocurrencia local. Antioquia, Colombia: Corporación Universitaria Lasallista. Recuperado de : <http://eds.a.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=0&sid=7d9946fd-e28d-49c6-adf3-8c124ea653f4%40sessionmgr4007>.
- Gomez, J. (2017). Roof catchment rainwater harvesting system with a geomembrane bag. Tegucigalpa, Honduras: *AFRHINET*. Recuperado de: <http://afrhinet.eu/news/97-technical-sheets-on-alternative-rainwater-harvesting-irrigation-systems.html>.
- Hach DR/980 INSTRUMENT. (2013). DR/890 Series colorimeters multi-parameter analysis. Colodaro, Estados Unidos: *Hach Products*. Recuperado de: <https://www.hach.com/dr-890-portable-colorimeter/product?id=7640439041>.
- IDEXX Laboratorios. (2007). Colilert test. Maine, Estados Unidos: *IDEXX*: Recuperado de: <https://www.idexx.com/resource-library/water/colilert-procedure-en.pdf>.
- Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal. (2012). Ficha de sistematización de tecnologías. La Paz, Bolivia: *Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal*. Recuperado de: <http://200.87.120.157/IMAGES/bajarINIAF/4-BOLSA-GEOMEMBRANA.pdf>.
- Lenntech. (2017). Dioxido de Carbono. Rotterdam, Holanda: *Lenntech*: Recuperado de: <http://www.lenntech.es>.
- Ministerio de Salud. (1995). Norma Técnica para la Calidad de Agua potable. 089. Tegucigalpa, Honduras: Recuperado de: <http://www.salud.gob.hn/transparencia/transparencia/archivos/regulacion/leyes/NORMA%20TECNICA%20CALIDAD%20AGUA%20POTABLE%20%20Honduras.pdf>.
- Oakton Instrument. (2010). Waterproof multiparameter PCS Terts 35. Vernon, Estados Unidos: *OAKTON INSTRUMENT*: Recuperado de: <http://www.4oakton.com/proddetail.asp?parent=2&prod=352&seq=2&Totrec=13>.
- Organización de las Naciones Unidas. (2007). *Honduras: Países Biografía*. Honduras.
- Organización de las Naciones Unidas. (2016). *The United Nations World Water Development*. Paris , Francia: UNESCO.

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2012). Estudios de Caracterización del Corredor Seco. Honduras. Recuperado de http://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/tomo_i_corredor_seco.pdf.
- Organización Mundial de la Salud. (2008). *Guías para la calidad del agua potable* (Vol. Volumen I). Suiza.
- Pacheco, M. (2009). La gestión del agua lluvia y la reducción de riesgos urbanos. La gestión del riesgo urbano en América Latina: Recopilación de artículos. Panamá, NU. Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (UN/EIRD), 2009. pp.27-36, ilustraciones.
- Rojas, V., Gallardo, B., y Martínez, C. (2012). Implementación y caracterización de un sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia. Tolima, Colombia: © TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 15(1), 16-23. 15(1):pp.16,23.
- Samudio, G. (2012). Técnicas para la enumeración de microorganismos: Análisis microbiológico del agua. En *Análisis bacteriológico del agua* (pp. 15). Recuperado de: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/P7CuantificacionDeMicroorganismos_21746.pdf.

7. ANEXOS

Anexo 1. Sistema de almacenamiento de agua lluvia.



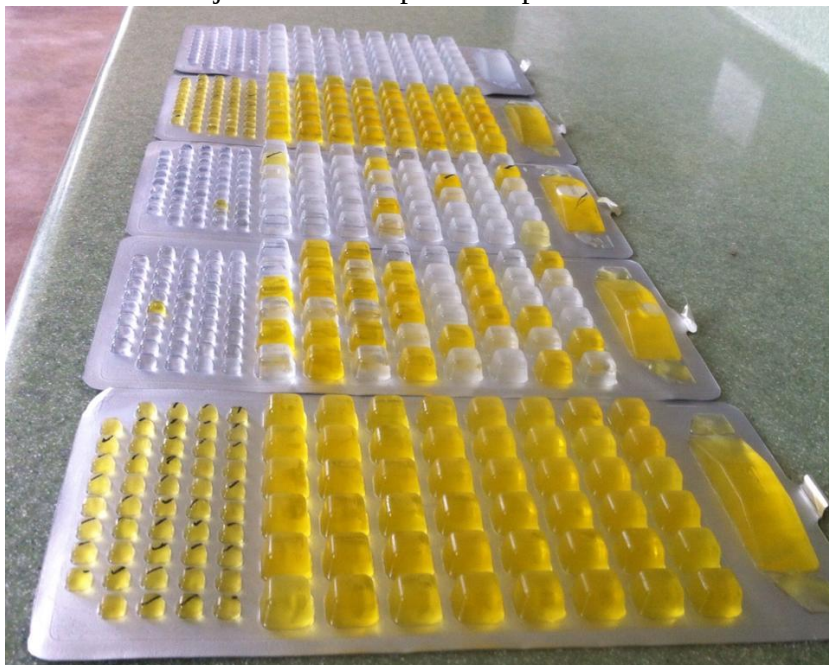
Anexo 2. Vivienda beneficiada con la bolsa de geomembrana.



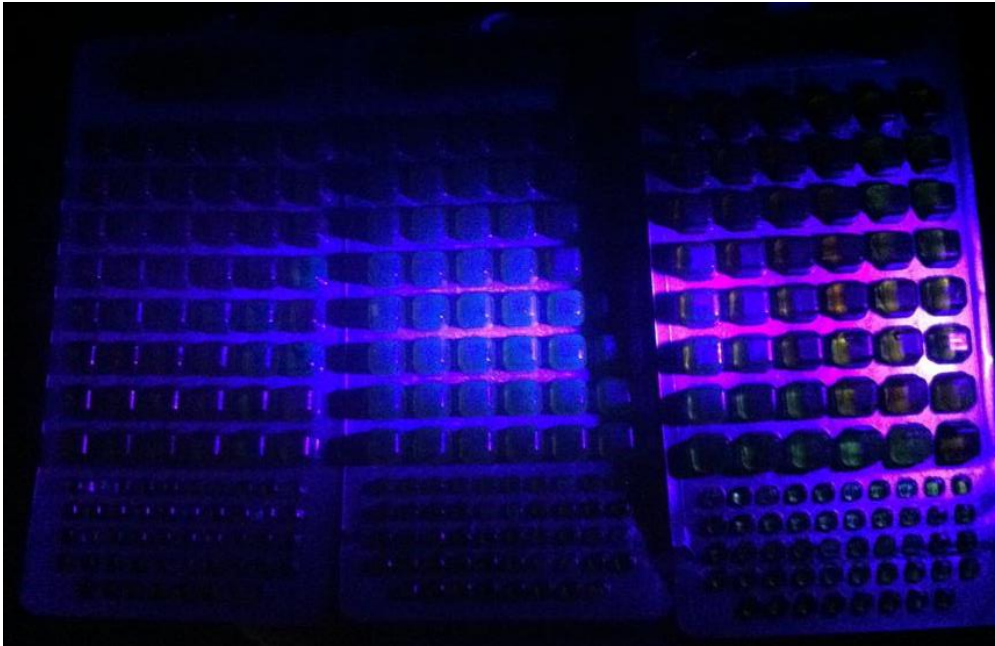
Anexo 3. Huerta de Don César Baneza Paz, Terlaca 2.



Anexo 4. Bandejas con celdas positivas para coliformes totales.



Anexo 5. Bandejas con celdas positivas fluorescentes para coliformes fecales



Anexo 6. Parámetros recomendados según la Norma de Calidad de Agua en Honduras

Parámetro	Unidades	Método	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Coliformes Totales	NMP	9222 Filtración de Membrana	0	3
Coliformes Fecales	NMP	9222 Filtración de Membrana	0	0
Turbidez	UNT	2130 Nefelómetro	1	5
pH	us/cm	4500 HB Electrométrico	6.5	8.5
Conductividad Eléctrica	us/cm	2510B Método de laboratorio	400	-
Temperatura	°C	2550 B Método de laboratorio y campo	-	-
Alcalinidad	mg/l de CaCO ₃	2320B Método de titulación	15	75

(-) No presenta valores.