

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y
ARTES DE CHIAPAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

TESIS PROFESIONAL

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA
DE LLUVIA CAPTADA EN LA COMUNIDAD
EL CORRALITO 1 Y PROPUESTA DE
TRATAMIENTO PARA CONSUMO HUMANO**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTA:

ALFREDO GERARDO DÍAZ DÍAZ

DIRECTOR:

DR. HUGO ALEJANDRO NÁJERA AGUILAR

ASESORES:

MTRO. ULISES GONZÁLEZ VÁZQUEZ

ING. LEONARDO DÍAZ CÓRDOVA

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS

SEPTIEMBRE 2021





Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
Dirección de Servicios Escolares
Departamento de Certificación Escolar
Autorización de impresión



Lugar: Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
Fecha: 27 de Agosto 2021

C. Alfredo Gerardo Díaz Díaz

Pasante del Programa Educativo de Ingeniería Ambiental

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:
Evaluación de la Calidad del Agua de Lluvia Captada en la Comunidad El Corralito 1 y Propuesta de Tratamiento para Consumo Humano

En la modalidad de: Tesis Profesional

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

C. Dr. Hugo Alejandro Nájera Aguilar

C. Mtro. Ulises González Vázquez

C. Ing. Leonardo Díaz Córdova

Firmas:

Ccp. Expediente

Revisión 1



Evaluación de la Calidad del Agua de Lluvia Captada en la Comunidad El Corralito 1 y Propuesta de Tratamiento para Consumo Humano



Programa Educativo de Ingeniería Ambiental

Contenido

DEDICATORIA	5
AGRADECIMIENTOS	5
RESUMEN	6
Palabras clave	6
Keywords	7
MARCO TEÓRICO	7
Contaminantes de lagos y embalses	7
Compuestos de carbono	8
Compuestos nitrogenados	8
Compuestos fosforados	9
Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL)	9
Ollas de agua	10
El agua en México	10
Delimitación del lugar	11
El Corralito	12
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
JUSTIFICACIÓN	16
OBJETIVOS	18
Objetivo general	18
Objetivos específicos	18
HIPÓTESIS	18
METODOLOGÍA	18
1. Ubicación de las ollas de agua y permisos correspondientes	18
2. Dimensiones y volumen de agua	19
3. Cálculos para evaluar el agua de lluvia susceptible de ser captada	19
4. Evaluación de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de lluvia captada	20
5. Revisión de tecnologías reportadas en la literatura para la remoción de impurezas en aguas claras	21
6. Evaluación de los parámetros biológicos del agua tratada	21
RESULTADOS	21
Aspectos sociales y económicos	22
Captación del agua	23



Resultados de los análisis de calidad del agua	31
Primera evaluación	31
Tratamiento y segunda evaluación	36
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	40
CONCLUSIÓN	44
ÍNDICE DE TABLAS	45
ÍNDICE DE FIGURAS	45
ÍNDICE DE ECUACIONES	46
REFERENCIAS	47

DEDICATORIA

A todas las personas que siempre creyeron en mí y en mi esfuerzo para conseguir mi título profesional.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Hugo por su compromiso como director y guía durante todo el proceso de investigación y titulación, a la Dra. Rebeca y las encargadas del laboratorio de docencia por el apoyo brindado durante las pruebas de laboratorio, y a mis asesores Mtro. Ulises y el Ing. Leonardo.

A mi Mamá y hermanas que fueron uno de los motivos principales para no rendirme, a mis tías Paula y Rosa, y a mi tío Fernando que me ayudaron en lo que pudieron, de igual forma al c. Crescencio que me ayudó en varios momentos, y a mis familiares que me brindaron apoyo moral.

A Eladis y Margarita que más que compañeras de trabajo fueron mi segunda familia, siempre acomodando mis horarios para que pudiera trabajar y estudiar al mismo tiempo, y sobre todo dándome consejos y buenos deseos.

A Karen y Jessica, mis compañeras de la universidad y mejores amigas, fueron mis consejeras, aunque no siempre les hice caso, y a mi pequeño grupo de amigos que lograron hacerme cambiar, y por esa razón los llevo a todos en mi corazón.

Y finalmente me doy las gracias a mí por no rendirme a pesar de lo difícil que parecía, y se que este logro no es solo mío, si no de todas las personas que son parte de mi vida.



RESUMEN

Las enfermedades diarreicas agudas (EDA) están asociadas en un 94% a problemas medioambientales como el consumo de agua no potable, saneamiento e higiene, siendo los niños menores de 5 años los más afectados. En la comunidad El Corralito al no haber acceso al agua potable, los habitantes están vulnerables a estas enfermedades. Se recopilieron datos de campo y de páginas oficiales del SMN para calcular el volumen de agua que se puede almacenar en el punto de estudio, de acuerdo a los cálculos, el agua recolectada es suficiente para satisfacer las necesidades de consumo humano a los habitantes de la comunidad, correspondiendo 12.2 L/hab/día. Para tener un SCALL eficiente, se realizaron estudios para determinar el nivel de contaminación del agua almacenada en una de las ollas de agua, utilizando la NOM-127-SSA1-1994 y los parámetros de la CONAGUA para comparar las concentraciones de las muestras analizadas. La DQO, pH, conductividad, dureza, turbiedad, color, alcalinidad, SSed, SST y *E. coli* estuvieron dentro del límite permisible, mientras que los coliformes totales tuvieron una concentración inicial de 60 UFC/100ml. Se realizó una desinfección con lámpara UV, al finalizar el tratamiento el agua reportó 0 UFC/100ml, por lo tanto el sistema de desinfección funcionó perfectamente para este tipo de aguas claras.

Palabras clave

Agua de lluvia, UV, tratamiento, comunidad rural, parámetros.

Acute diarrhea diseases (ADD) are 94% associated with environmental problems such as the consumption of no-potable water, sanitation and hygiene, with children under 5 years of age being the most affected. In the community of El Corralito, as there is no access to drinking water, the inhabitants are vulnerable to these diseases. Data from the field and official pages of the SMN were collected to calculate the volume of water that can be stored at the point of study, according to the calculations, the water collected is sufficient to meet the needs of human consumption to the inhabitants of the community, corresponding to 12.2 L / inhabitant / day. To have an efficient SCALL, studies were carried out to determine the level of contamination of the water stored in one of the water pots, using NOM-127-SSA1-1994 and the parameters of CONAGUA to compare the concentrations of the samples analyzed. COD, pH, conductivity, hardness, turbidity, color, alkalinity, SSed, SST and *E. coli* were within the permissible limit, while total coliforms had an initial concentration of 60 CFU/100ml. A disinfection

was carried out with UV lamp, at the end of the treatment the water reported 0 CFU / 100ml, therefore the disinfection system worked perfectly for this type of clear water.

Keywords

Rainwater, UV, treatment, rural community, parameters.

MARCO TEÓRICO

El agua es esencial para la salud humana puesto que el cuerpo humano puede durar semanas sin alimentos, pero sólo unos días sin agua. En este sentido, el agua es esencial para nuestra supervivencia. El cuerpo humano, en promedio, está compuesto de un 50 a 65 por ciento de agua, sin embargo, los bebés poseen mayor porcentaje de agua, por ejemplo, los recién nacidos contienen un 78 por ciento de agua.

Cada día, cada persona requiere acceso al agua para beber, cocinar, así como para higiene personal. “A pesar de los impresionantes logros realizados en la última década, 748 millones de personas no tienen acceso a una fuente mejorada de agua potable y 2.5 mil millones no utilizan servicios de saneamiento mejorados. Las inversiones en los servicios de agua y saneamiento resultan en beneficios económicos sustanciales” (CONAGUA, 2015)

El uso que el hombre le da al agua varía dependiendo de la zona del planeta en concreto, desde menos de 10 L/hab/día en países subdesarrolladas hasta unos 100 veces más en zonas industrializadas.

Los cuerpos de agua superficiales aportan cerca de 30% del total de agua para consumo humano (uso municipal). Sin embargo, al estar expuestos, y en especial por el modo en que se descarga el agua residual y la basura en ellos, estos cuerpos son altamente propensos a sufrir problemas de contaminación (Jiménez, Duran, Méndez, 2010)

Se sabe que el agua absolutamente pura no se encuentra en la naturaleza, por ejemplo, el vapor de agua condensado en el aire contiene sólidos, sales y gases disueltos, y a medida que este se precipita recoge otros materiales del aire y se contamina aún más al llegar a la tierra. (McGhee, 1999)

Contaminantes de lagos y embalses

Podemos encontrar un gran número de microorganismos en el agua, la mayoría sin importancia para la salud. Examinar las especies causantes de enfermedades resulta complicado, por la variedad que bien



pueden ser virales, bacterianas, fúngicas o protozoarias, la mayoría tienen un rápido desarrollo dentro del huésped. Son transmitidas principalmente mediante las heces y orina de personas infectadas. El agua con estas características de contaminación es considerada como inadecuada para consumo humano. Valorar el número de coliformes funcionan como indicadores de este tipo de contaminación, esencialmente la presencia de *Escherichia coli* es el mejor indicador de contaminación por heces fecales. Los patógenos son encontrados en menor cantidad que los coliformes, y tienden a morir más rápidamente en condiciones de aguas naturales que en plantas de tratamiento de aguas residuales. Aunque la presencia de coliformes no es esencialmente indicadora de que el agua sea peligrosa, la ausencia de ellos es tomada como libre de patógenos (McGhee, 1999).

En el agua también hay materiales orgánicos e inorgánicos suspendidos y disueltos, los materiales suspendidos tienen la habilidad de proteger a los microorganismos de los desinfectantes y le dan un mal aspecto al agua. Los materiales disueltos tienen efectos sobre la salud.

Compuestos de carbono

El CO₂ disuelto en el agua proviene de la respiración de los organismos no fotosintéticos, de la descomposición de materia orgánica, de la disolución ácida de carbonatos y de la lluvia. Mientras que la absorción es realizada fundamentalmente a través de la función clorofílica de plantas y microorganismos fotosintéticos, como parte de un equilibrio. En este equilibrio intervienen iones CO₃²⁻, HCO₃⁻, Ca²⁺ y Mg²⁺. El CO₂ libre reacciona con los carbonatos presentes, solubilizándolos a través de su transformación en bicarbonatos y alcalinizando el agua. Por el contrario, los bicarbonatos pueden desasociarse e insolubilizarse a CO₂ y acidificando el pH del medio. A esta dinámica se le denomina “equilibrio carbónico” del agua (Marín, 2010).

Compuestos nitrogenados

El N atmosférico es fijado por ciertos microorganismos tanto terrestres como acuáticos, y los compuestos nitrogenados de las aguas en general provienen de materia orgánica o vegetal, desechos humanos en forma de urea y amonio, o de la disolución de rocas (nitratos). Estos compuestos son oxidados hasta nitritos y nitratos por la fauna microbiana.

Las aguas superficiales bien aireadas generalmente tienen poco NH₃ (<0.1 mg/L) y las contaminadas por vertidos residuales domésticos hasta 50 mg/L. Debido al equilibrio ácido-base entre NH₃ y NH₄, el valor

de pH del agua determinara las concentraciones de amoniaco y ion amino presentes, y así la actividad de cada grupo bacteriano.

Los NO_2 no suelen superar los 0.100 mg/L siendo más abundantes en aguas contaminadas por aguas residuales urbanas y/o industriales. Los NO_3 en aguas superficiales no suelen superar los 10 mg/L, mientras que las aguas subterráneas contaminadas superan los 50 mg/L. Los NO_2 y NO_3 pueden transformar la hemoglobina en metahemoglobina, dificultando la respiración celular, y presentan capacidad cancerígena (Marín, 2010).

Compuestos fosforados

El fosforo de un agua procede de disolución de rocas y minerales, del lavado de suelos con actividades ganaderas o agrícolas, y aguas residuales domésticas. El total de P total en aguas no contaminadas esta entre 0.1 mg/L y 1 mg/L. cuando el contenido de P es muy alto se incrementa la actividad fitoplanctónica, ocasionando el agotamiento de oxígeno y el exceso de materia orgánica conocido como eutroficación (Marín, 2010).

Otros factores que afectan la calidad del agua es la temperatura, presión, agitación del agua, y consumo-producción por los organismos acuáticos, ya que están ligados con la solubilidad del O_2 . Las sales también determinan la cantidad de O_2 , y afectan la Dureza y a la conductividad (Marín, 2010). A diferencia del pH que mide si un agua es ácido o básico, la Alcalinidad o basicidad es la capacidad de neutralizar ácidos, dicho de otro modo es la cantidad de ácido que puede absorber sin afectar el pH. El intervalo de alcalinidad ideal para agua potable es de 100 a 200 mg/L CaCO_3 - (HANAINstruments, 2019)

Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL)

Debido a la falta del vital líquido en diversas partes del mundo, se están realizando investigaciones para captar el agua de lluvia de forma eficiente, de esta manera satisfacer a las personas en los lugares con problemas de falta de agua. Se han realizado diferentes estudios para los SCALL, y se ha demostrado que el agua de lluvia puede ser de excelente calidad, sin embargo, es necesario darles un tratamiento previo antes de ser apto para consumo humano. Los estudios también muestran que los costos de construcción son relativamente bajos en comparación con los instrumentos utilizados para purificación

Reséndiz (2012) utilizó la fotocatalisis solar para agua de lluvia captada en casa habitación. Los resultados del análisis fisicoquímicos y microbiológicos mostraron que contaban con las características suficientes para ser consumida. Por su parte Adugna, Larsen, Lemma, y Sahilu (2017) realizaron un sistema de



filtración de bajo costo a partir de arena fina y grava para filtrar agua de lluvia en Addis Ababa, Ethiopia. La reducción de los contaminantes analizados fue superior al 80%. Siendo una gran alternativa para el consumo humano, ya que en este lugar la polución es muy significativa.

López, Palacios, Anaya, Chávez, Rubiños, y García, (2017) realizaron una comparación de costos entre el agua extraída del subsuelo y el captado de la lluvia para el abastecimiento hídrico en un municipio del estado de Tlaxcala. Concluyeron que el agua de lluvia es una alternativa para reducir la explotación de acuíferos, además de que representa un menor costo económico. Rojas, Díaz, Vergara, y Macías (2011) opinan lo mismo, realizaron una evaluación económica para determinar si la factibilidad para implementar un sistema de recolección de agua de lluvia en una universidad. Los resultados demostraron que son una gran alternativa para reducir costos monetarios y disminuyen los impactos ambientales por la extracción del líquido de los lugares específicos.

Ollas de agua

Las ollas de agua también conocidas como Jaugüeyes, Cajas de Agua, Aljibes o Bordos de Agua, son excavaciones hechas para aprovechar el agua de lluvia. Consiste en realizar un hoyo en la tierra con las medidas deseadas y formar taludes para evitar deslaves, se cubre con geomembrana ya que se adapta a la forma de la excavación sin mayor esfuerzo. (Pérez et al. 2016)

Son eficientes en lugares sin cuerpos de agua natural, se utiliza en el campo en sembradíos de temporal pudiendo de esta manera convertirlos en cultivos de riego o para uso pecuario (Geomembranas mexicanas, 2020)

Las ollas de agua son un caso particular de la captación de agua de lluvia, ha sido conocida en nuestro país desde las épocas prehispánicas. Captar agua proveniente de escurrimientos superficiales durante la época de lluvia y utilizarla de manera controlada como fuente de abrevadero durante la época de estiaje, es el principal objetivo de estas obras (Pérez, et al. 2016)

El agua en México

A pesar de los avances tecnológicos en el mundo, México enfrenta problemas que obligan a hacer una administración mejor para poder satisfacer las demandas de sus habitantes, entre ellos destacan la escasez, la contaminación del recurso, la necesidad de mejorar la gestión del agua, la falta de ordenamiento

ecológico, el impacto del cambio climático sobre el ciclo hidrológico y la poca inversión en investigación y desarrollo tecnológico en el país (Arreguín et al. 2010)

En el artículo 4º párrafo 6 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos indica que “toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible”, de este modo se rescata el hecho de que es indispensable asegurar el agua a toda persona, utilizando los recursos hídricos que se tengan a disposición y de ser necesario darle el tratamiento adecuado para su uso.

De acuerdo a la normatividad mexicana, para que el agua sea considerada como agua potable, debe cumplir con los parámetros de calidad establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM 127-SSA1-1994. Por otro lado, la CONAGUA a determinado algunos parámetros del agua de lluvia que pueden ser suficientes para consumo humano, sin embargo, no se debe descartar los demás parámetros de calidad establecidos por la norma anteriormente mencionada, dado que la calidad del agua varía de acuerdo al lugar de captación. Dicho esto, tanto el suministro como la calidad del agua es responsabilidad de los municipios y son ellos quienes definen si la distribución a los usuarios es administrada por el gobierno o la iniciativa privada (Jiménez et al. 2010).

De acuerdo a la CONAGUA (2015) el uso del agua en México se clasifica de cuatro formas diferentes: Uso agrícola, 76.6% (principalmente riego de cultivos); Abastecimiento público, 14.5% (entrega a usuarios domésticos); Generación de energía eléctrica, 4.9% (mediante plantas termoeléctricas); Industria autoabastecida, 4% (productos y servicios).

“Se puede decir que la calidad del agua en México es aún poco conocida, pues no se hacen suficientes análisis en cada tipo de fuente de suministro. Si bien la CONAGUA reporta que en 83% de sus estaciones de monitoreo el agua superficial se puede calificar como de excelente a aceptable, es sabido que la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST) no son indicadores suficientes para valorar de manera integral la calidad del recurso (Jiménez et al., 2004). Esto debido a la variedad de compuestos tóxicos orgánicos e inorgánicos que llegan a las aguas superficiales”. (Ruelas et al. 2010).

Delimitación del lugar

San Cristóbal de las Casas (SCLC) se localiza en el Altiplano Central, siendo dos tercios de su superficie montañosa, el resto lo ocupa un extenso valle. Sus coordenadas geográficas son 16°44' N y 92°38' W.



Limita al norte con los municipios de Chamula y Tenejapa, al este con Huixtán, al sur con Teopisca, al suroeste con Totolapa, Chiapilla y San Lucas y al oeste con Zinacantán.

Su extensión territorial es de 394.46 km² que representa el 12.83% de la superficie de la región Altos y el 0.63 % de la superficie estatal. Su altitud es de 1,940 msnm.

Las principales corrientes son los ríos Amarillo y Fogótico y los arroyos Chamula, Peje de Oro y Ojo de Agua. Del Valle de San Cristóbal desembocan en los sumideros, conductos por donde penetran al subsuelo, volviendo a la superficie en el municipio de San Lucas para formar el Río Frío. Otros recursos son las lagunas Chapultepec y de Cochi (INAFED, 2019).

Es de clima templado subhúmedo con lluvias en verano. Tiene una temperatura media anual de 15°C, la temperatura media mínima es de 12.3 °C y la media máxima de 17°C. Presenta lluvias en verano, iniciando en junio y concluyendo en octubre, la canícula se presenta en los meses de julio-agosto (figura 2) (SMN, 2019).

El Corralito

El Corralito es una comunidad que pertenece al municipio de San Cristóbal de las Casas, se localiza en los altos, al sureste de la ciudad. Se trata de una comunidad indígena ubicada en las coordenadas 16°41.28' N, 92°36.804 W a 2,398 metros sobre el nivel del mar. La población está asentada en un valle, a lo alto de la montaña, por las características que presenta, se puede considerar como una microcuenca (Figura 1), sin cuerpos de agua relevantes y de drenaje a temporal.

La comunidad cuenta con una población de 206 habitantes (tabla 1). La población es de lengua materna Tzotzil, y al igual que el resto de las comunidades han adoptado el español.

Tabla 1. Características de la población

Población total	206
Población de 0 a 14 años	78
Población de 15 a 64 años	117
Población de 65 años y más	11

Fuente: INEGI, 2021.

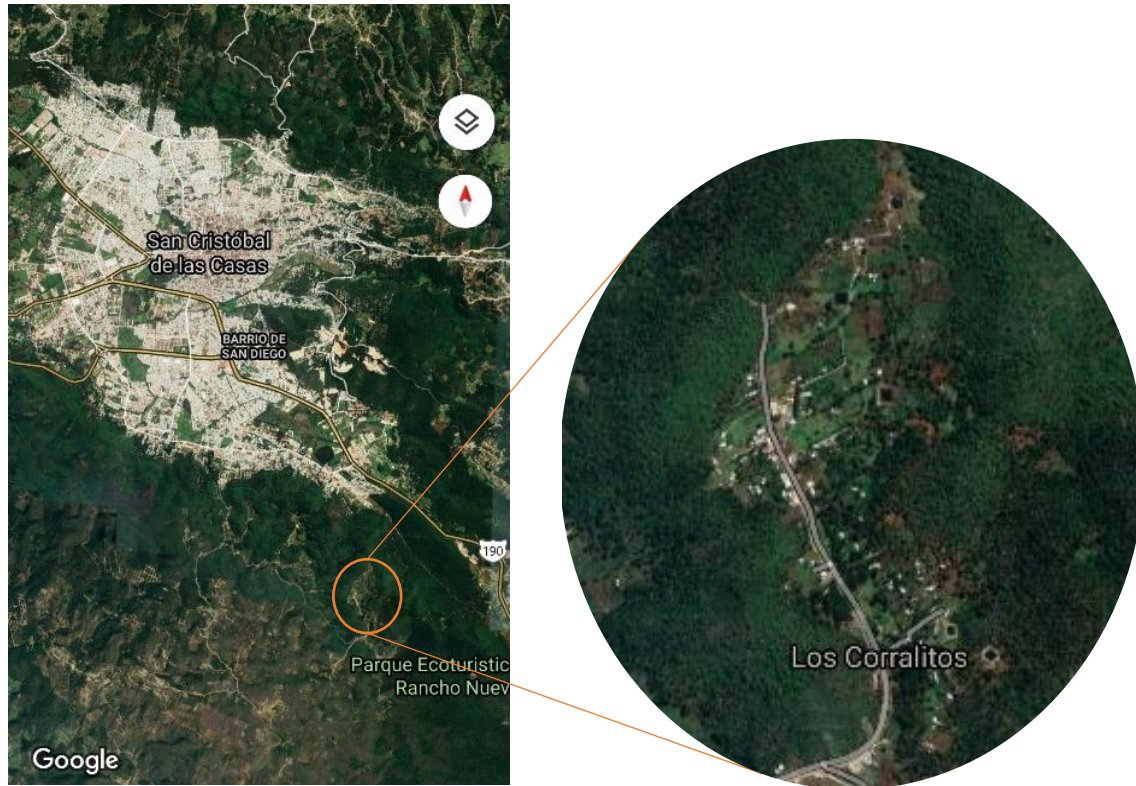


Figura 1. Ubicación de la comunidad El Corralito

Fuente: Google Maps, 2020

De acuerdo a la ubicación de la localidad los cuerpos de agua antes mencionados no colindan con la comunidad, y por la diferencia de altitud entre la ciudad y la comunidad, no existe la posibilidad de ingresar agua en tuberías. El agua es captada de la lluvia y recolectada en ollas de agua, y en recipientes aprovechando el captado por los techos de las casas.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Jimenes et al. (2010) mencionan que en 2009 el estado de Chiapas ocupaba el último lugar en cuanto a eficiencia de cloración en el agua entubada y el primero con un mayor porcentaje de población con riesgo sanitario. Esto debido a la poca inversión que el estado hace para ofrecer agua de mejor calidad a sus habitantes. De ahí que al menos para el 2018 Chiapas se encontrara entre las entidades con mayores incidencias de Enfermedades Diarreicas Agudas (EDA) en el país, esto de acuerdo a los reportes de la Secretaría de Salud (SS).



Este aumento puede relacionarse con el incremento de las temperaturas propiciando un mayor consumo de agua, así mismo al uso de las primeras lluvias en aquellos lugares en los que no se le da un tratamiento al agua captada. La población infantil es la más afectada por las enfermedades provocadas por factores ambientales, principalmente en los países en desarrollo. Asimismo, la tasa de mortalidad del recién nacido por causa de estos factores es 12 veces mayor en los países en desarrollo que en los países desarrollados, de lo que se desprende que es posible mejorar la salud humana si se promueven los ambientes saludables. La carga de morbilidad por diarrea está asociada en aproximadamente un 94% a factores de riesgo ambientales tales como el consumo de agua no potable, el saneamiento y la higiene insuficiente (Prüss-Üstün y Corvalán, 2006).

Tan solo en México el 10% de muertes de niños de 1 a 4 años son por infecciones gastrointestinales, constantemente sufren de diarrea y parásitos que si no se atienden correctamente pueden ser mortales, aún más si se le suma la desnutrición o algunas enfermedades respiratorias. También están las repercusiones en el sistema óseo que sufren los niños que cargan recipientes con agua de un punto indeterminado hasta sus hogares, afectando también el tiempo dedicado a la escuela (Agua.org.mx, 2006), específicamente en los lugares que no tienen accesos al agua potable u otro servicio de la misma índole. En la figura 2 se hace una comparación entre la variación de la temperatura en SCLC y los casos de EDA en Chiapas para determinar si hay alguna relación en los aumentos de la temperatura con los casos de EDA.

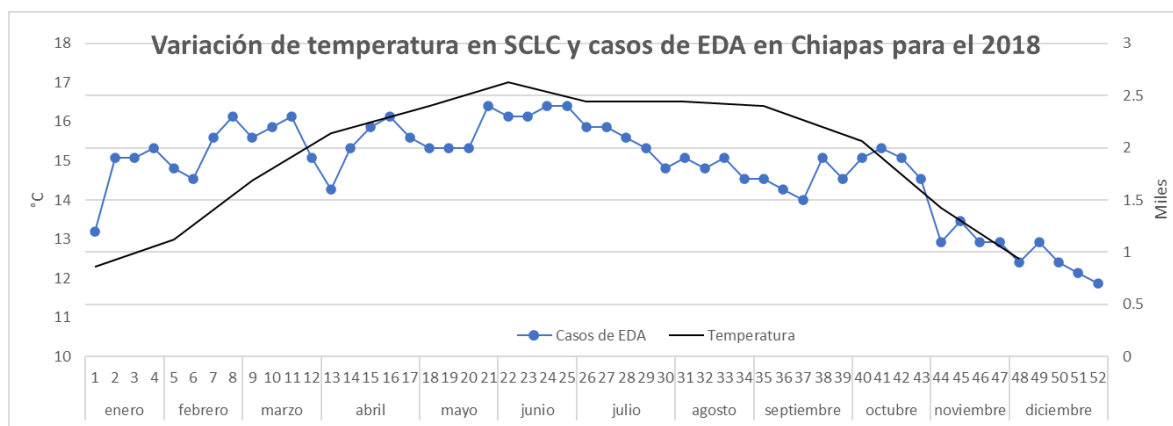


Figura 2. Variación de temperatura en SCLC y casos de EDA en Chiapas el 2018

Fuente: (SMN y SS, 2019)

No se puede hacer una estimación concreta debido a que las temperaturas son a nivel municipal y los casos de EDA son a nivel estatal, sin embargo, las características poblacionales del estado de Chiapas son muy similares, hay localidades marginadas de las cabeceras municipales, que no cuentan con todos los servicios públicos básicos como es el caso de los municipios de SCLC. Por tanto, solo se puede especular de forma general que las mayores incidencias de EDA ocurren durante las temperaturas altas (figura 2), con algunas variaciones a lo largo del año debido a diferentes factores ambientales. También se observa que los picos más altos de casos de EDA se sitúan en el mes de junio, que es cuando inician las primeras lluvias, y que los casos bajan cuando las temperaturas descienden a partir del mes de octubre.

De acuerdo a estas cifras resulta necesario implementar tecnologías que garanticen una mejor calidad del agua, y una de ellas lo representa los SCALL, por lo que es imperante que se realicen trabajos de investigación entorno a ello, y de esta manera muchas de las comunidades indígenas que no cuentan con agua potable pueden verse beneficiadas. Los SCALL han ofrecido excelentes resultados en diferentes partes del mundo, sin embargo, para obtener un sistema eficiente de captación, se debe caracterizar de acuerdo a la ubicación del lugar, uso que se le dará, tipo de población y las actividades que se realizan en las inmediaciones, ya que los contaminantes que intervienen son variados. Es necesario hacer estudios físico-químicos y microbiológicos al agua captada para poder establecer el método más adecuado de remoción de contaminantes. De esta manera se podrá ofrecer un agua de mejor calidad a la población que se desea beneficiar.

Como ya se mencionó, la fuente de agua en El Corralito son las lluvias que se presentan en el sitio, y donde el agua es almacenada en ollas de agua y en diferentes contenedores de forma colectiva y también de manera particular, ya que no hay ríos, lagos o pozos en las inmediaciones que puedan ser aprovechados. Además de que por la altitud del asentamiento y la distancia que tiene hasta la ciudad, los costos de inversión para ingresar agua entubada no son viables. Y como es de conocimiento general, la calidad del agua no es la más apta para consumo humano cuando está estancada y a la intemperie. Tal es el caso de las ollas de agua, que no cumplen con las medidas necesarias que garanticen un agua limpia y libre de impurezas, sin mencionar que en primera instancia están destinadas al uso agrícola y pecuario.

Por lo general en las comunidades rurales realizan la crianza de aves de patio, como pollos, patos y guajolotes, o animales como cerdos y borregos, y animales de carga. Por lo que es fácil imaginar que en terrenos con pendientes, durante las lluvias las heces de los animales junto con hojas, ramas, lodos, arena, insectos, etc. sean arrastrados por las escorrentías superficiales, así mismo los vientos levantan polvo de diferentes fuentes, bolsas de plástico, hojas e insectos, llevándolos hasta las ollas de agua. Si no se tiene la



barrera pertinente para impedir la entrada de las corrientes, los residuos orgánicos e inorgánicos ingresan y se sedimentan o se quedan suspendidos según sea el caso. Un estudio realizado por Kinnaman et al. (2012) demuestra que los sedimentos orgánicos disminuyen la tasa de descomposición de los coliformes fecales y *E. Coli*, y aumentan temporalmente las concentraciones de bacterias en los cuerpos de agua, debido al alto contenido de carbono orgánico.

Otro de los problemas consiste en que la mayoría de las comunidades indígenas alejadas de la ciudad no cuentan con un sistema de recolección de basura, o un lugar de disposición final. Lo que ocasiona que la basura sea quemada a cielo abierto, liberando gases y partículas contaminantes a la atmósfera, una parte son retenidos por los árboles y el suelo, que más tarde es lavado por la lluvia depositándose en algún cuerpo de agua superficial o en el subsuelo, otro porcentaje de la basura es tirado en las calles y terminan arrastrados por las escorrentías. Así mismo no cuentan con sistema de drenaje, en su lugar construyen fosas sépticas.

Ciertamente de acuerdo a los estudios realizados por diferentes investigadores, la calidad del agua de lluvia enfocados a uso doméstico es una gran alternativa para disminuir determinados problemas de disponibilidad y gastos económicos. Y el proceso para hacerla potable es más económico comparado con el agua pura comercial convencional, y no sería difícil hacerla a mayor escala para beneficiar a varias familias teniendo en cuenta las medidas de resguardo y captación apropiadas para tal fin. Sin embargo en la olla de agua de El Corralito no existen tales medidas preventivas para evitar la contaminación del agua.

JUSTIFICACIÓN

En el artículo 2o, inciso B, fracción I de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos asegura que para abatir las carencias y rezagos que afectan a los pueblos y comunidades indígenas, las autoridades tienen la obligación de impulsar el desarrollo regional de las zonas indígenas con el propósito de fortalecer las economías locales y mejorar las condiciones de vida de sus pueblos. Así mismo en la fracción IV del artículo en cuestión menciona que es esencial mejorar las condiciones de las comunidades indígenas y de sus espacios para convivencia y recreación.

En el mismo documento en materia de agua, el artículo 4º párrafo seis dice “Toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible” es el estado el que garantiza el derecho y de acuerdo a la ley son aplicados de forma sustentable y equitativamente. Sin embargo, la CONAGUA (2016) menciona que “la cobertura

de Agua Potable en las zonas rurales muestra un déficit respecto a la cobertura alcanzada en zonas urbanas” para ello se promueve los SCALL ya que son capaces de tratar el agua para una mejor calidad, pero es necesario de estudios preliminares de acuerdo al área de implementación y tener una planeación para la construcción y mantenimiento para que la calidad del agua de lluvia cosechada sea la óptima para consumo humano.

La comunidad “El Corralito” cuenta con graves problemas de sanidad en cuestión de agua para consumo humano, en los que interviene diversos factores ambientales. Como ya se mencionó las ollas de agua, al igual que los jagüeyes son principalmente para actividades agrícolas y ganaderas por la misma naturaleza que las constituyen. Para ser consideradas como fuente de agua potable se requiere de un sistema de purificación específico y adecuado a sus características. Por lo que es necesario de estudios que valoren la calidad del agua que los habitantes de las zonas rurales están consumiendo, y así evitar enfermedades gastrointestinales, más aún en entidades como Chiapas, donde se cuenta con el peor sistema de cloración y con el mayor riesgo sanitario, además es uno de los estados con los mayores índices de EDA en México, lo que hace más evidente la necesidad de realizar investigaciones para solucionar los problemas de abastecimiento de agua en comunidades sin acceso al agua de buena calidad y que sea apta para consumo humano.

Actualmente los nuevos SCALL están enfocados a las captaciones en casas habitación y han demostrado grandes resultados, siendo efectivos para este tipo de aguas, mejoran en gran medida la calidad del agua en los lugares a los que no se tiene el acceso al agua potable. Por otro lado, muchas comunidades indígenas cuentan con las ollas para poder abastecerse, y no hay métodos para purificar el agua que ahí se almacena. Es necesario realizar la evaluación de calidad del agua, ya que con ello se podrá llegar a un método de purificación apropiado, mediante los resultados encontrados y poder ofrecer un agua de calidad a los habitantes de la comunidad.

Realizar el sistema de purificación a mayor escala es más factible que realizarlo de casa en casa, de esta manera se beneficiará a toda la comunidad y no solo a aquellos que instalen los SCALL. También se requiere de este estudio para determinar si es más económico que instalarlo en cada una de las casas. Pero lo más importante es que los habitantes dependen de las ollas mayormente en temporada de estiaje. Siendo las ollas las principales fuentes de recolección de agua. Así pues, si el sistema es colectivo se garantiza el cuidado del mismo y la participación de todos.

En suma, el estudio permitirá valorar la calidad del agua de las ollas, se determinará el método de purificación más adecuado de acuerdo a los resultados de calidad y se podrá garantizar agua con menores



índices de contaminación que contribuyan a disminuir las enfermedades gastrointestinales. Se beneficiará a toda la comunidad de El Corralito y se ampliará los conocimientos acerca de los SCALL. Se pretende que el proyecto de investigación pueda ser replicado y llevado a cabo en lugares donde presenten problemas similares a los que enfrenta El Corralito.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar la calidad del agua de lluvia captada en la comunidad El Corralito, y proponer una alternativa de remoción de impurezas

Objetivos específicos

- Seleccionar la olla con mayor nivel de captación para su evaluación.
- Evaluar la calidad del agua de lluvia captada con los parámetros de DQO, SSed, SST, alcalinidad, color, turbiedad, conductividad, pH, dureza, coliformes fecales y totales, en apego a las normas aplicables.
- Revisar las tecnologías o dispositivos reportados en la literatura para la remoción de impurezas en aguas claras y proponer la más adecuada para su implementación en la comunidad El Corralito.

HIPÓTESIS

El agua de lluvia recolectada en la comunidad de El Corralito no es apta para consumo humano, por lo que requiere un sistema de depuración final.

METODOLOGÍA

1. Ubicación de las ollas de agua y permisos correspondientes

1.1 Se identificó al comité para solicitar un recorrido en la comunidad, para hacer un análisis preliminar de la situación de las ollas de agua.

1.2 Se solicitó una reunión con los habitantes de la comunidad, en ella;

1.2.1 Se solicitó el permiso para realizar investigaciones de aspectos sociales, económicos y culturales de la comunidad.

1.2.2 Se informaron los objetivos, los problemas identificados, y los beneficios que se obtendrían a partir del proyecto de investigación.

2. Dimensiones y volumen de agua

2.1 Se tomaron las medidas de las ollas con una cinta métrica para determinar el área superficial de cada una.

2.1.1 Se eligió la de mayor captación de acuerdo al área superficial y a sus características específicas.

2.2 Una vez seleccionada la olla, se procedió a calcular el volumen total de almacenamiento con la siguiente fórmula.

$$V = \frac{h}{3}(As + Af + \sqrt{As * Af}) \dots\dots\dots \text{Ecuación 1}$$

Donde:

V: volumen de la olla de agua, en m³.

h: altura, en m.

As: área superficial, en m².

Af: área del fondo de la olla. en m².

3. Cálculos para evaluar el agua de lluvia susceptible de ser captada

Se evaluó el volumen de agua que capta la olla de acuerdo a la precipitación anual para determinar la cantidad que pueden abastecer en un año, de acuerdo a la NMX-AA-164-SCFI-2003 que se describe a continuación:

Para poder determinar si la instalación del sistema de captación de agua de lluvia y escurrimientos pluviales sería factible, se realizó el siguiente análisis;

3.1 Se trazó un polígono con las estaciones meteorológicas más cercanas al punto de muestreo.

3.1.1 Utilizando las normales del SMN se calculó el promedio de precipitación anual del polígono previamente delimitado.



3.2 Después de obtener la precipitación promedio, se calculó el volumen anual promedio de captación (VA) del sitio determinado en el punto 2.1.1 con la siguiente expresión:

$$VA = \frac{P \cdot A}{1000} \dots \dots \dots \text{Ecuación 2}$$

Donde:

VA: volumen promedio de captación anual, en m³.

P: precipitación medio anual, en mm.

A: área de la proyección horizontal de la instalación de captación, en m².

3.3. Se calculó el volumen de agua que tenía al finalizar las precipitaciones para hacer una comparación con el punto anterior.

4. Evaluación de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua de lluvia captada

4.1 Se realizó el muestreo del agua almacenada en la olla seleccionada.

Las muestras se obtuvieron de acuerdo a la norma NMX-AA-014-1980. CUERPOS RECEPTORES. – MUESTREO.

4.1.1 Los parámetros físico-químicos se realizaron en el laboratorio de docencia de la escuela de Ingeniería Ambiental de acuerdo a lo mostrado en la tabla 2.

Tabla 2. Parámetros físico-químicos realizados en el laboratorio

Parámetro	Unidades	Norma de referencia
Demanda Química de oxígeno	mg/L	NMX-AA-030/1-SCFI2012
Sólidos suspendidos totales	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2015
pH		NMX-AA-008-SCFI-2016
Alcalinidad	CaCO ₃ mg/L	NMX-AA-036-SCFI-2001
Color	Pt-Co	NMX-AA-017-SCFI-1980
Turbiedad	UTN	NMX-AA-038-SCFI-2001
Sólidos sedimentables (SSed)	mL/L	NMX-AA-004-SCFI-2013
Conductividad	µs/cm	NMX-AA-093-SCFI-2000
Dureza	CaCO ₃ mg/L	NMX-AA-072-SCFI-2001

Fuente: propia, 2019

4.2.2 Las muestras para análisis de coliformes totales y fecales se enviaron a los laboratorios de ECOSUR, ubicado en San Cristóbal de las Casas, y se determinaron de acuerdo al método 9223 de la EPA.

5. Revisión de tecnologías reportadas en la literatura para la remoción de impurezas en aguas claras

5.1 De los métodos encontrados para SCALL, se realizó una comparación de los parámetros analizados aplicados a dichos trabajos.

5.1.1 Se compararon los resultados correspondientes para determinar su eficiencia.

5.2 Con los datos analizados y los datos del análisis obtenido de la olla seleccionada, se eligió el sistema de purificación más adecuado.

6. Evaluación de los parámetros biológicos del agua tratada

6.1 Se realizó el muestreo siguiendo la misma metodología del punto 4.

6.1.2 Se recolectó una muestra con una bolsa hermética (agua entrada) y otra con dos recipientes de 4 y 10 L.

6.2 Se trasladaron las muestras al lugar donde se encuentra el equipo de tratamiento de luz UV, por el cual se hizo pasar el agua contenida en los recipientes de 4 y 10 L.

6.2.2 Se tomaron muestras del agua tratada (agua salida - efluente) para su análisis en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Ambiental.

6.3 Se realizó un cultivo de coliformes fecales y totales del agua de entrada y salida.

6.3.1 Para esta actividad se utilizó el medio Easygel Coliscan que es específico para coliformes fecales y totales. Se parece al método de vertido en placa, con algunas diferencias prácticas.

6.5 Con los datos obtenidos, se realizó una comparación del antes y después del sistema de purificación.

RESULTADOS

Se realizaron diversas visitas a la comunidad de estudio para levantar y recopilar la información necesaria para la ejecución del trabajo. A continuación, se mencionan y analizan los principales resultados encontrados de acuerdo a los objetivos planteados.

Aspectos sociales y económicos

Para acceder a la comunidad se cuenta con una carretera asfaltada y una vereda (figura 3). Dado que la minoría cuenta con automóvil o motocicleta, los pobladores utilizan el transporte público exclusivo para El Corralito 1 y las comunidades vecinas. El costo a El Corralito es de \$70.00 pesos, el tiempo aproximado de recorrido es de 10 minutos hasta llegar a la comunidad. La entrada por vereda está situada en la colonia Artículo 115, la caminata colina arriba es de 45 minutos a 1 hora aproximadamente.

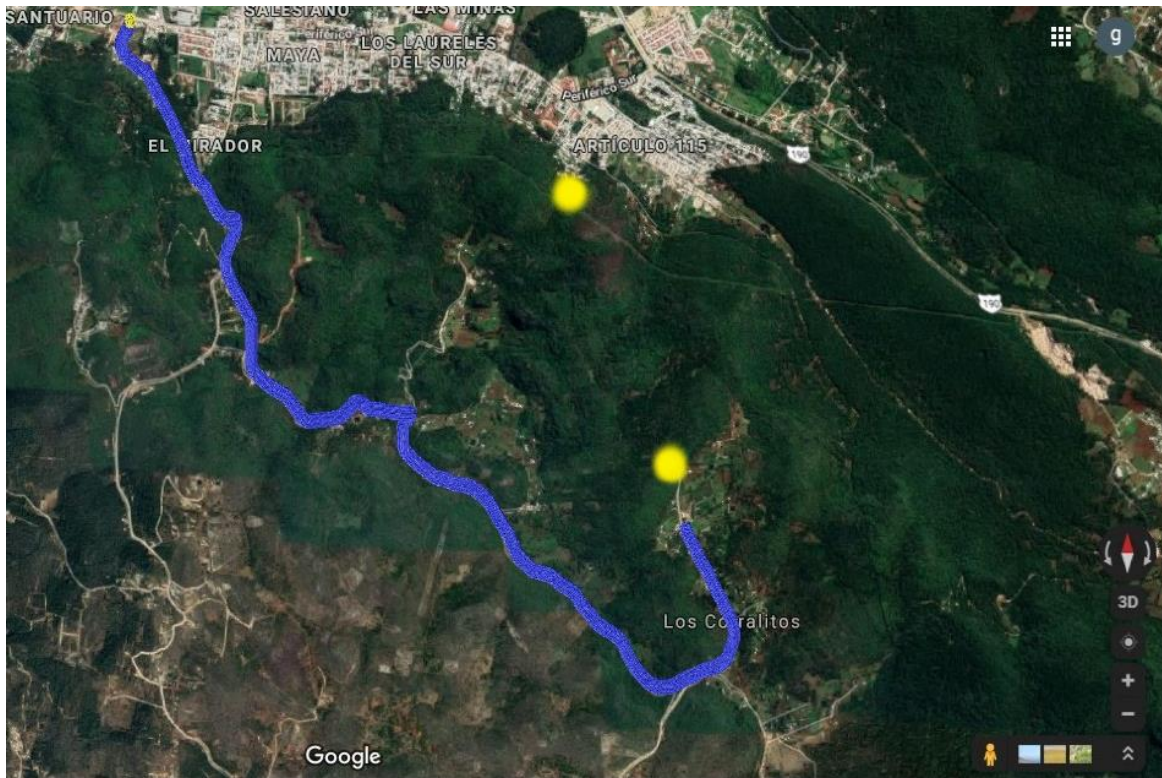


Figura 3. Localización del acceso por carretera y vereda a la comunidad. a) La línea azul representa el tramo carretero, b) Los puntos amarillos representan la entrada y salida por vereda (no es apreciable por la cubierta vegetal)

Fuente. Google Maps, 2019.

El agente municipal reporta 94 asambleístas entre hombres y mujeres, ellos son los representantes de cada familia que asisten a las reuniones y trabajos que realizan para dicha comunidad.

De acuerdo a lo observado la mayoría de las viviendas están construidas de madera y algunos de tabiques; el mayor porcentaje de techos son de lámina, los de teja o losa están presentes en menor porcentaje. Dado que no se cuenta con drenaje, cada familia hace fosas sépticas. Utilizan leña o carbón para cocinar sus

alimentos. El agua es captada de la lluvia y la utilizan para sus actividades de aseo, consumo, para dar de beber a los animales y todo lo necesario para llevar a cabo sus actividades diarias.

En la comunidad se cuenta con una escuela preescolar por parte de CONAFE y primaria por parte de la SEP. El terreno designado para la escuela es utilizado como lugar de usos múltiples, ahí se reúnen para realizar reuniones comunales.

Dentro de las principales actividades económicas que realizan se encuentra la albañilería, la tala de árboles para madera, carbón y leña, además de eso realizan la siembra de verduras, el pastoreo de borregos, la crianza de gallinas y cerdos de forma no intensiva para consumo personal y venta en la ciudad o a miembros de la comunidad.

Captación del agua

La comunidad depende completamente de las lluvias, y para garantizar el agua durante todo el año, existen dos alternativas complementarias:

1) Cada familia recolecta el agua durante la temporada de lluvia. Los techos funcionan como receptores para dirigir el agua a través de una canaleta hasta tinacos y a diferentes recipientes que tienen disponibles. Actualmente la mayoría tiene un tanque recolector superficial echo de tabiques y concreto con el mismo mecanismo de llenado antes mencionado. La calidad del agua no es buena, debido a que no poseen sistemas de filtración o purificación.

2) Se disponen de cinco ollas de agua que están cubiertas con geomembrana para evitar la filtración al subsuelo y están rodeadas con malla metálica que impide el paso a personas y animales. Se encuentran distribuidas a diferentes alturas y distancias con respecto al centro de la comunidad. En la figura 4 se muestra la ubicación de cada una de las ollas, y en la tabla 3 se observa las dimensiones superficiales y sus coordenadas geográficas correspondientes.

Como antes fue mencionado, la comunidad El Corralito presenta características de microcuenca, es por ello de las ollas se encuentren a diferentes alturas. Se encuentran construidas en la parte media de la microcuenca. Las excavaciones presentan corte y relleno de talud debido a la pendiente del terreno.

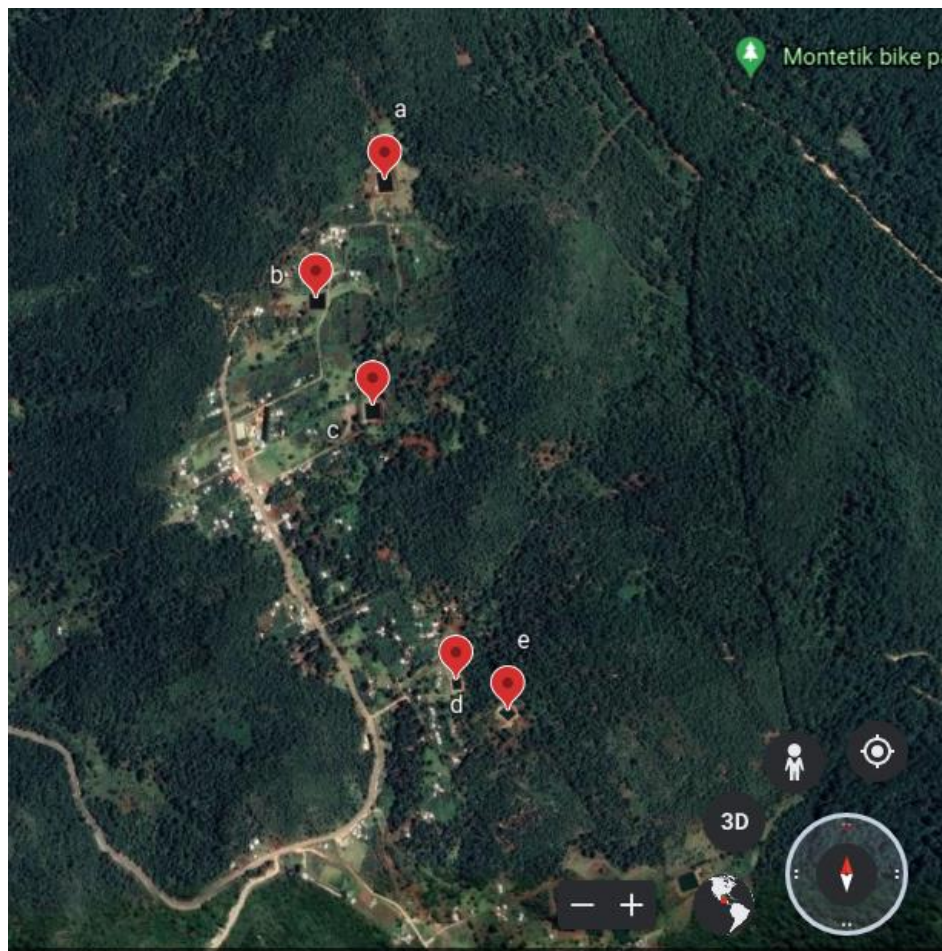


Figura 4. Ubicación de las ollas de agua en la comunidad El Corralito

Fuente: Google Earth, 2021.

Tabla 3. Superficies y coordenadas

Olla	Superficie m ²	Coordenadas	Altitud (msnm)
a	825	16°41'22''N, 92°36'40''W	2451
b	774	16°41'16''N, 92°36'43''W	2414
c	765	16°41'10''N, 92°36'40''W	2422
d	378	16°40'54''N, 92°36'35''W	2432
e	529	16°40'53''N, 92°36'33''W	2451

Fuente: Propia, 2019

Con la información de la tabla 3, se observa que la olla **a** es la de mayor área de captación, por lo tanto el volumen de agua que se almacene será mayor en ella. Esta olla tiene otras ventajas sobre las demás, por ejemplo, tiene mayor protección. También se tiene de que todas las ollas cuentan con malla metálica en el área perimetral.

De la figura 5 se observa que la olla **d**, cuenta con la misma estructura, pero ésta en particular tiene un muro de contención de 50 cm en tres de sus lados, los que precisamente convergen con el talud para evitar el ingreso de las corrientes durante las lluvias, además de ello tiene una zanja a 7 metros de distancia que redirige el flujo del agua a un punto determinado (figura 6) complementándose con el muro antes mencionado, sin embargo, uno de los lados del muro solo alcanza los 10 cm de altura. En la figura 7 se aprecia la diferencia de altura de dicho muro, y los residuos del ingreso de agua con material orgánico. La olla **c** tiene un muro en dos de sus lados de 50 cm de altura y una zanja en la parte superior de la pendiente, pero esto no es suficiente para detener el ingreso de corrientes al interior de la olla, el resto de las ollas solamente cuentan con una pequeña elevación de concreto de 10 cm de alto por 10 de ancho, que fungen más como sujeción de la malla que como protección contra las corrientes de agua.



Figura 5. Malla en el perímetro de la olla d

Fuente: propia, 2019.

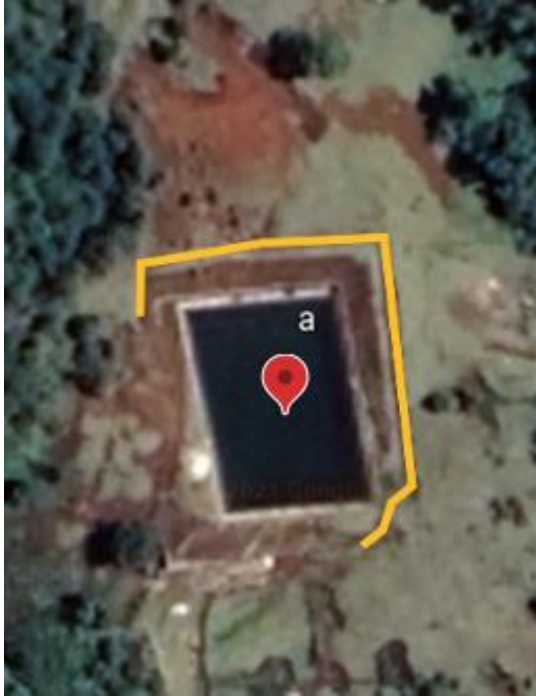


Figura 7. Zanja (línea amarilla)

Fuente: Google Earth, 2021.



Figura 6. Vista de la diferencia de alturas del muro de la olla a

Fuente: Propia, 2019.

Como se aprecia en la figura 4 se pueden observar los hogares como puntos blancos, los marcados con **a**, **d** y **e** no presentan casas arriba de las ollas respecto a la pendiente, por lo tanto, se asume que la carga de coliformes fecales fuera menor a las **b** y **c**, pero ya que se encontraron heces fecales de animales en las cercanías no se debe descartar este hecho, sin dejar de lado que las ollas están construidas a cielo abierto. En este sentido las ollas **a**, **d** y **e** son las más apropiadas, puesto que están más alejadas de los hogares, también son las de mayor altitud, lo que favorece una mejor distribución en toda la comunidad, pero las ollas **d** y **e** son las de menor área superficial, por lo que no se les considera al no cumplir con el primer objetivo de esta investigación.

A partir del análisis previo para seleccionar la olla más apropiada, se concluyó que la olla **a** cumple en gran medida con el primer objetivo. Hay que señalar que la olla **a** se encuentra cerca del panteón local, el cual está situado a mayor altitud (12 m para ser precisos) y a 45 m de distancia de donde se encuentra la olla. En los análisis de laboratorio es posible ver que no afectan la calidad del agua, debido a la capa de geomembrana que protege a la olla de infiltración desde el subsuelo.

Ya que se eligió la olla para su estudio, se procedió con la siguiente fase de la metodología. Primero conocer la capacidad total de la olla **a** y después la cantidad de agua que se almacena anualmente tal y como se muestra a continuación.

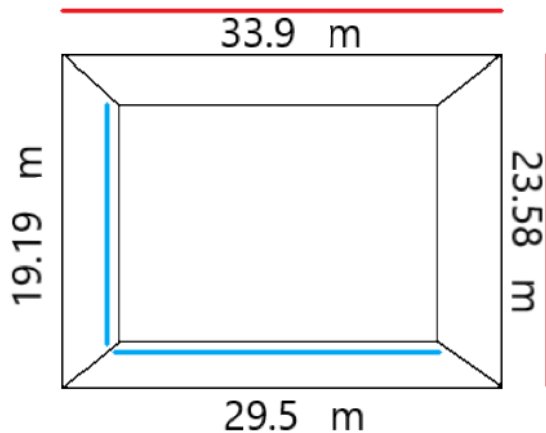


Figura 8. Esquema de la vista superior de la olla a

Fuente: propia, 2019

Para conocer la capacidad total de **a** se utilizó la fórmula 1 donde:

$$h = 2.912 \text{ m}$$

1. *Área superficial*

$$A_s = (33.9 \text{ m}) (23.58 \text{ m})$$

$$A_s = 799.362 \text{ m}^2$$

2. *Área del fondo*

$$A_f = (29.5 \text{ m}) (19.19 \text{ m})$$

$$A_f = 565.81 \text{ m}^2$$

3. *Volumen*

$$V = \frac{2.912 \text{ m}}{3} \left(799.362 \text{ m}^2 + 565.81 \text{ m}^2 + \sqrt{799.362 \text{ m}^2 * 565.81 \text{ m}^2} \right)$$

$$V = 1977.22 \text{ m}^3$$



Por lo tanto, la capacidad total de dicha olla es de: $1977.22 m^3$

Para verificar que el agua que se almacena es suficiente, se hicieron los cálculos de acuerdo a lo especificado en el apartado 3 de la metodología.

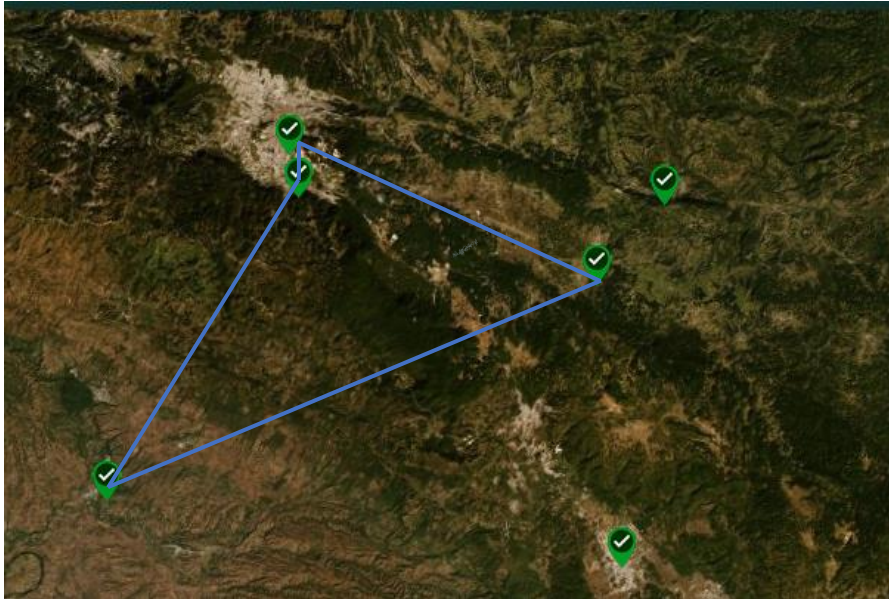


Figura 9. Ubicación de las estaciones meteorológicas aledañas a la comunidad

Fuente: Sistema Meteorológico Nacional, 2020

Tabla 4. Precipitación anual por estación meteorológica

Nombre	Ubicación	Coordenadas	Precipitación anual (mm)
La Cabaña	San Cristóbal de las Casas	16°42'51"N 92°37'44"W	1,090.5
San Cristóbal OBS	San Cristóbal de las Casas	16°44'00"N 92°38'00"W	1,113.2
Chilil	Huixtán	16°40'40"N 92°29'21"W	1,219.5
Villa de Chiapilla	Chiapilla	16°34'39"N 92°42'55"W	1,032.7
Promedio			1113.98

Fuente: Sistema Meteorológico Nacional, 2020

De acuerdo al promedio de precipitación anual de la tabla 4 y de la superficie de **a** de la tabla 3, se despejó la ecuación 2.

$$VA = \frac{P * A}{1000}$$

$$VA = \frac{1113.98 \text{ mm} * 825 \text{ m}^2}{1000}$$

$$VA = \mathbf{919.03 \text{ m}^3}$$

El volumen promedio de captación anual es de 919.03 m³.

Si la capacidad de la olla analizada es de 1977.22 m³, y la cantidad que se puede cosechar es de 919.03 m³, significa que solo se aprovecha el 46% de su capacidad total, sin embargo, la cantidad de agua es aceptable para cubrir las necesidades de consumo para los 206 habitantes de la comunidad.

De acuerdo a estos resultados, se realizaron los cálculos para determinar la cantidad de agua que le correspondería a cada habitante por día en un año.

$$Ah = \left(\frac{VA*1000}{hab}\right)/365 \dots\dots\dots \text{Ecuación 3}$$

donde:

Ab= cantidad de agua por habitante por día (l/ hab/ día)

VA= volumen promedio de captación anual (m³)

hab= número de habitantes en la comunidad

1000= coeficiente para pasar de m³ a litros

365= días de un año

Sustituyendo:

$$Ah = \left(\frac{919.03\text{m}^3 * 1000}{206}\right)/365$$

$$Ah = \mathbf{12.22 \text{ l/hab/día}}$$

Durante el levantamiento de datos de medición, la olla estaba a su máxima capacidad recolectada, el agua no se había utilizado y las lluvias cesaron. Por lo que se pudo calcular el agua que tenía almacenado hasta ese momento ya finalizada la temporada de lluvia. Se realizó el mismo procedimiento descrito en la fórmula 1 modificando las respectivas variables.



$$h_a = 0.964 \text{ m}$$

donde

h_a = altura del agua

1. Área que ocupa la superficie del agua

$$A_{h_2O} = (30.776 \text{ m}) (20.456 \text{ m})$$

$$A_{h_2O} = \mathbf{629.553 \text{ m}^2}$$

2. Área del fondo

$$A_f = (29.5 \text{ m}) (19.19 \text{ m})$$

$$A_f = \mathbf{565.81 \text{ m}^2}$$

3. volumen de agua almacenada

$$V_{h_2O} = \frac{0.964 \text{ m}}{3} \left(629.553 \text{ m}^2 + 565.81 \text{ m}^2 + \sqrt{629.553 \text{ m}^2 * 565.81 \text{ m}^2} \right)$$

$$V_{h_2O} = \mathbf{575.89 \text{ m}^3}$$

El agua acumulada en el periodo de lluvia del 2019 fue de: 575.89 m^3

De acuerdo a la fórmula para determinar el volumen de captación anual, se encontró que se pueden cosechar 919.03 m^3 , mientras que lo calculado a partir de lo encontrado en la visita de campo fue de 575.89 m^3 . Existe una diferencia de 343.14 m^3 , este valor representa una pérdida del 37% del total del agua que podría ser aprovechada. Uno de los factores son las fugas en las tuberías reportadas por el comité encargado del agua en El Corralito. Es importante mencionar, que en este lugar el clima es frío y frecuentemente está cubierto de neblina, por lo que puede esperarse que las pérdidas de agua por evaporación sean bajas.

Teniendo esto en cuenta, se calculó la cantidad de agua que le correspondería a cada habitante durante un año, en este caso para el 2019, modificando la variable de *volumen promedio de captación anual* de la ecuación 3, por el *volumen de agua almacenada* en dicho año.

$$Ah' = \left(\frac{V_{h_2O} * 1000}{hab} \right) / 365$$

donde:

Ah' = cantidad de agua por habitante por día en 2019 (l/hab/día)

$$Ah' = \left(\frac{575.89 \text{ m}^3 * 1000}{206} \right) / 365$$

$$Ah' = 7.7 \text{ l/hab/año}$$

Hay una clara diferencia de 4.5 litros, sin embargo, tomado en cuenta las recomendaciones de la Secretaría de Salud y la OMS, el agua recolectada es suficiente para cubrir las necesidades de consumo humano para todos los habitantes de la comunidad. Por lo que garantizar que esta agua tenga una mejor calidad es primordial para la salud de los pobladores.

Resultados de los análisis de calidad del agua

Primera evaluación

Para realizar las mediciones de parámetros físicos se recolectaron dos litros de agua en recipientes de polietileno de un litro cada uno (figura 10), se utilizó la NMX-AA-014-1980 para la toma de muestras. Se transportaron hasta el laboratorio de docencia de la escuela de Ingeniería Ambiental de la UNICACH para su refrigeración y posterior análisis. Los resultados de los parámetros analizados, se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Resultados de los parámetros fisicoquímicos determinados en el laboratorio

Parámetro	Resultado	Unidad
DQO	0	mg/L
SSed	0	ml/L
SST	0.015	mg/L
Alcalinidad	53.33	CaCO ₃ mg/L
Color	0	Pt-Co
Turbiedad	1.95	UTN
Conductividad	1133	μs/cm
pH	6.9	---
Dureza	8	CaCO ₃ mg/L

Fuente: Propia, 2019



Figura 10. Recipientes de doble tapa para la toma de muestras para análisis físico-químicos

Fuente: Propia, 2019

Como se observa en la tabla 5, el agua tiene buena calidad de acuerdo a las pruebas físicas y químicas realizadas, esto a pesar de no contar con la mejor protección en la olla de agua, por ejemplo, se tiene un valor de 0 ml/L en SSed y muy cercano a cero en SST, lo que también puede relacionarse con la baja Turbiedad encontrada (1.95 UTN). Otros parámetros importantes y que pudieran reflejar la presencia de contaminantes orgánicos, son el color y la DQO, y de los cuales sus valores fueron de 0. La figura 11 durante la prueba de Ssed, es representativa y muestra la apariencia de un agua clara, cristalina y sin turbidez observable a simple vista.



Figura 11. Prueba de Sólidos Sedimentables

Fuente: propia, 2019

Las características químicas del agua analizadas tampoco son un problema para la salud de los habitantes, como se mencionó, la DQO tuvo un valor de cero y los demás parámetros también están por debajo de norma, además de mantener un pH estable para consumo humano y no representar un riesgo de incrustación en tuberías o recipientes de almacenamiento dado sus bajos valores de dureza (8 mg CaCO_3/L), y que le confieren la nominación de un agua blanda.

Sin embargo, gracias a la última visita en donde se pudo ver a la olla completamente vacía, fue posible tomar algunas medidas faltantes, también se observó la presencia de materia orgánica (figura 11), si bien no en la cantidad en la que se esperaba encontrar, se toman en cuenta para implementar el filtro destinado a tratar el agua y hacerla potable.



a



b



c



Figura 12. Presencia de materiales extraños en la olla de agua; a) restos vegetales y lodos, b) materia orgánica diversa, c) restos de murciélagos, d) restos de aves, e) polilla, f) mezcla de lodos, hojas y restos animales en la trampa de descarga de la olla a

Fuente: Propia, 2020.

En las imágenes anteriores puede observarse que la cantidad de materia orgánica no es alta, pero siguen siendo un problema. Una de las razones por la que los datos obtenidos del laboratorio arrojaran tan bajos resultados de SST es que, como se ve en las imágenes, las partículas son bastante grandes como para que se mantengan en suspensión, debido a su tamaño, densidad y que el agua se mantiene en reposo, representan sólidos de fácil sedimentación, además de estar presentes en escasa cantidad, por lo que al momento de tomar las muestras no se capturaron partículas representativas.

Hay que tener presente que durante la filtración resultaría inconveniente tener partículas tan grandes, esto provocaría estancamientos, y que funcionan como barreras para llegar hasta los microorganismos, dificultando el proceso de purificación de tal forma que requeriría de mantenimiento con mayor frecuencia, por ende, no se garantizaría la calidad del agua por la acumulación de dichas partículas. Para prever este inconveniente se debe instalar una rejilla o malla en la trampa que se encuentra en el interior de la olla (figura 12f) y una en la entrada del filtro para el buen funcionamiento del mismo.

Para la determinación de coliformes fecales y totales se realizó una segunda toma de muestras en las primeras horas del día, en apego a lo señalado en la norma NMX-AA-042-SCFI-2015. Con una bolsa hermética se transportó garantizando su integridad (figura 13) y finalmente se entregó al laboratorio acordado para su análisis. Los resultados de los análisis microbiológicos se muestran en la Tabla 6.



Figura 13. Muestra para coliformes fecales y coliformes totales.

Fuente: Propia, 2019

Tabla 6. Resultados de las pruebas microbiológicas

Parámetro	Resultado	Unidades
Coliformes totales	60	UFC/100mL
Coliformes fecales	0	UFC/100mL

Fuente: ECOSUR, 2019

Se observa una baja concentración de microorganismos presentes en este tipo de aguas, confirmando las especulaciones durante la realización de los parámetros físicos y químicos. Como se explicó en lo relacionado con la figura 4 y 6, puede asumirse que los factores involucrados juegan un papel importante para que la contaminación microbiológica sea baja.

Se debe tratar los coliformes totales y aunque muchos de los organismos presentes no son un peligro para el ser humano y que normalmente se encuentran en el agua, el suelo, plantas, algunos insectos o animales dependiendo del tipo específico de organismo del que se trate, hay otras que si requieren ser removidos ya que causan diversas afecciones.

Debido a este resultado en particular se decidió realizar el tratamiento por luz ultravioleta (UV), con el fin de no alterar la composición física y/o química del agua, ya que exponiéndola a algún tipo de mineral rocoso podría cambiar el pH y algunos otros componentes del agua, por ejemplo, como lo reportan



Torres, et al (2017) que de un valor de pH promedio de 6.9 aumento a 7.4, o como Ávila y Moreno (2016) que tuvieron aumentos en algunos minerales tales como calcio y sulfatos, o la aparición de cloro residual libre al pasar de 0 a 24.25 mg/L, esto como consecuencia de usar desinfectantes de cloro para la eliminación de microorganismos.

Otro punto a favor de optar por los rayos UV como medio de desinfección, fue el que se contaba con la accesibilidad de un sistema ya instalado para tratar agua de lluvia de una casa habitación. El sistema es practico para este tipo de agua clara, como se ha mencionado está relativamente libre de partículas significativas, y basta con un pequeño filtro para retener aquellas que puedan actuar como escudos para los microorganismos. Sin embargo, era necesario corroborar que las bacterias coliformes totales fueran eliminadas, de esta manera tener las bases para la propuesta de su implementación en la comunidad El Corralito.

Tratamiento y segunda evaluación

El tratamiento seleccionado fue de lampara UV (las especificaciones están en la figura 18), para evaluar la eficacia se procedió con los pasos realizados para la obtención de muestras para coliformes fecales y totales antes descrito. Para el agua de entrada se trasportó con una bolsa hermética de 1 litro con las medidas precautorias necesarias conforme a la NMX aplicable. Para el agua que se pretendía pasar por el filtro (agua de salida) se trasporto con dos recipientes (de 4 y 10 litros) perfectamente limpios, y siguiendo la norma para muestreo (igualmente antes utilizada). Para el transporte se cubrió con un material oscuro, de esta manera protegerlo de la luz solar y evitar que las bacterias reaccionaran a ella.

Antes de recolectar el agua de salida se dejó pasar los 10 litros por el filtro (Fig. 14), para asegurar que la muestra no se contaminara con algún residuo ajeno al agua en cuestión. Después de esto se almacenó en una bolsa hermética y se rotuló (Figura 15).



Figura 14. Agua pasando por el filtro UV para remover contaminantes, principalmente del tipo microbiológico

Fuente: propia, 2021



Figura 15. Toma de muestra, agua de salida

Fuente: propia, 2021.

Al finalizar se trasladó al laboratorio de Ingeniería Ambiental junto con la muestra de entrada para realizar la prueba microbiológica.

De acuerdo a las especificaciones recomendadas del medio Easygel (tamaño de muestra de 1 a 5 ml), se realizaron tres duplicados para el agua de entrada, de 1, 2.5 y 5 ml por muestra. El agua de salida tuvo dos duplicados, de 1 y 5 ml, y finalmente tres blancos (figura 16).

Se dejaron incubar por 24 horas, los resultados finales se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Resultados bacteriológicos, agua de entrada y salida

Parámetro	Agua entrada	Agua salida	Unidades
Coliformes totales	20	0	UFC/100mL
Coliformes fecales	0	0	UFC/100mL

Fuente: propia, 2021.

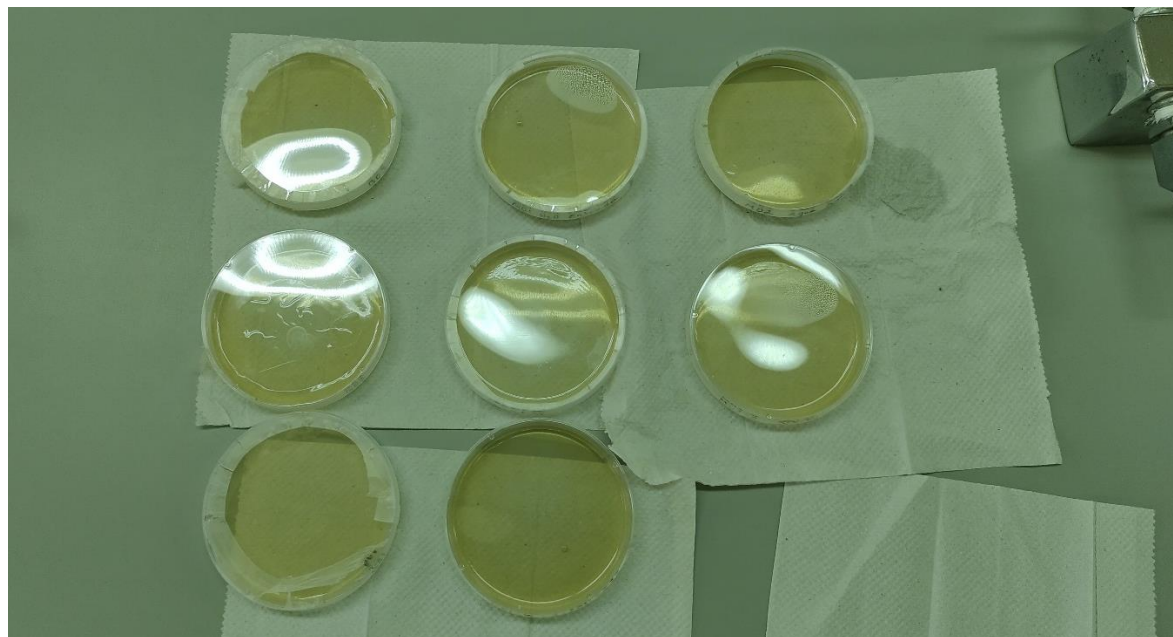


Figura 16. Medios de cultivo (de izquierda a derecha) blancos, entrada y salida

Fuente: propia, 2021

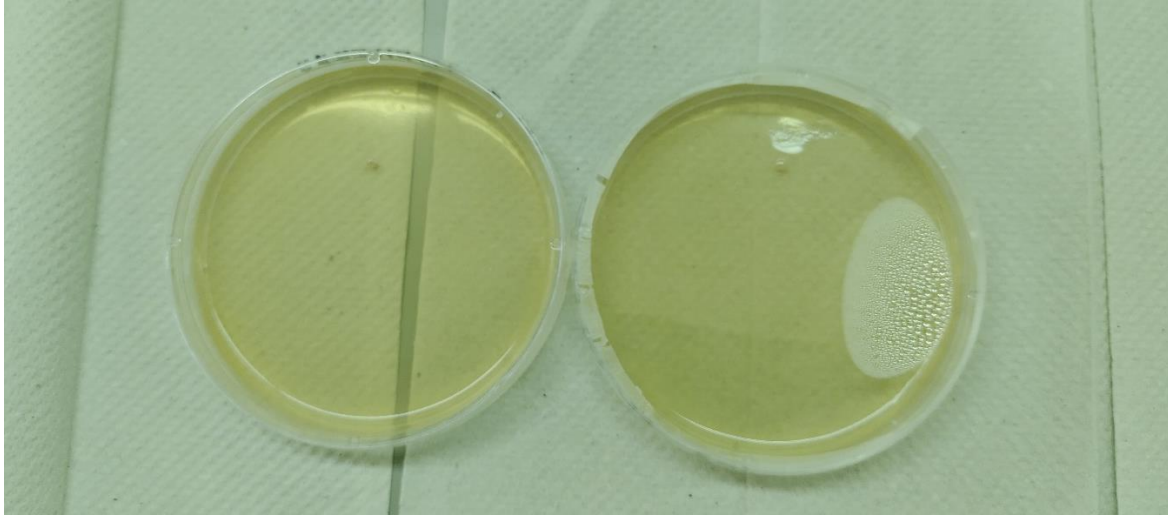


Figura 17. Colonias de coliformes totales en agua de entrada

Fuente: propia, 2021

Como se observa en la tabla 7 y en la figura 17, los coliformes totales solo son apreciables en el agua de entrada, obteniendo excelentes resultados en el agua de salida, incluso más bajo que la primera evaluación de coliformes realizada, lo que quizás se deba a que para esta segunda prueba no estaba lloviendo en la zona de estudio, y como consecuencia, el arrastre de finos y residuos al interior de la olla prácticamente son descartados, por lo que nuevamente, los valores de cero obtenidos en parámetros como DQO y Color demuestran una nula presencia en general de materia orgánica, punto importante dado que de acuerdo a Kinnaman et al. (2012) la concentración de materia orgánica y el contenido carbónico es factor para la descomposición y desarrollo de los coliformes totales, *E. coli* y otros organismos.



Figura 18. Lámpara de luz ultravioleta

Fuente: Hidroshop, 2021

Características:

Modelo: AQ-UV-4

Flujo a 30,000 mj/cm²: 4 gpm

Flujo a 40,000 mj/cm² (NSF): 3 gpm

Entrada/salida: 1/2"

Material: Acero inoxidable

Caudal máximo: 15.14 L/min



ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Como se ha dicho, la comunidad no cuenta con cuerpos de agua, el INEGI menciona que en el 2010 la principal carencia socioeconómica era, y sigue siendo, la carencia de agua y mala calidad de la que se dispone, también hace mención de la falta de una red de agua entubada, por consiguiente, la falta de una red sanitaria es evidente. Así mismo la falta de un sistema de recolección de basura. Además de ello, el único servicio de salud que se le ofrece a la comunidad es por campañas de salud.

De acuerdo con estos datos, El Corralito 1 se encuentra en una situación vulnerable, donde es imprescindible mejorar la situación de la población, esencialmente la del suministro de agua y de buena calidad. En el 2006 la OMS estimaba que el 94 % de los casos de diarrea podría evitarse mediante el aumento de la disponibilidad del agua potable y el acceso al saneamiento básico, así como la promoción de acciones de educación en salud. En el documento *Ambientes saludables y prevención de enfermedades* de la OMS marca ocho objetivos fundamentales para la reducción de la carga de morbilidad de los factores de riesgo ambientales, de los cuales se pueden rescatar cuatro dentro del contexto de calidad del agua.

El primero es lograr la enseñanza primaria universal, si se garantiza agua para consumo humano en las escuelas, los niños tendrán mayor confianza, así mismo pasarán menos tiempo buscando el vital líquido. De igual forma contar con agua limpia en los hogares, reduce la posibilidad de que los niños enfermen o tengan algún traumatismo evitando así que se queden en la cama reposando. Los autores Mwamila, Han y Katambara (2016) también están de acuerdo con esta idea, los niños pueden dedicar más tiempo a actividades escolares si se les garantiza agua potable.

El segundo es promover la igualdad de género y la potenciación de la mujer, si se tiene agua de buena calidad se reduce la morbilidad infantil, logrando así que la mujer pase menos tiempo cuidando a los niños que se enferman, buscando agua y combustible, en este caso leña. Con el tiempo ahorrado pueden invertir en actividades lucrativas y de educación, fortaleciendo la autonomía de la mujer y la igualdad entre sexos.

El tercero es reducir la mortalidad en la niñez, la morbilidad de enfermedades transmitidas en el medio ambiente en niños de 0 a 5 años de edad son aproximadamente cinco veces más que la población en general. Por último, el cuarto es mejorar la salud materna, logrando mejores condiciones de higiene se garantiza que la madre embarazada y los hijos se mantengan sanos. Queda claro el papel que juega el agua en la salud de las personas, afectando el ámbito social, cultural y económico.

La olla de agua **a** tiene una capacidad de 1977.22 m³ y es la de mayor capacidad de almacenamiento de las disponibles en El Corralito, además es la de mayor superficie con 825 m². Ya que la cantidad de agua de lluvia que puede ser cosechada depende principalmente del área de captación, a mayor superficie mayor será el agua que puede ser almacenada. Entonces dicha olla proveería una mayor cantidad de agua a los pobladores, también se tiene la ventaja de que está más alejada de las casas y que goza de una buena altura, logrando que la distribución del agua se lleve a cabo por gravedad.

De acuerdo a los cálculos para determinar la cantidad de lluvias en el polígono de la figura 7, tenemos que en este lugar llueven alrededor de 1113.98 mm anuales, logrando así una cosecha de 919.03 m³ de lluvia, dotando a la población de 15.63 litros diarios por habitante, dado que la SS y la OMS recomiendan beber alrededor de 2 litros diarios de agua, resulta evidente la factibilidad de implementar el sistema de purificación. Sin embargo, durante el levantamiento de datos se encontró que en el 2019 la cantidad de agua que se almacenó fue de 575.89 m³, con una pérdida de 343.14 m³, siendo el 37 % menos a lo calculado. Esto se justifica con lo reportado por los integrantes del patronato del agua de El Corralito, quienes hicieron mención que las tuberías estaban dañadas y que estaban teniendo fugas, por lo tanto, este hecho es el principal motivo de tal diferencia entre lo que debió cosecharse y lo almacenado. Sin embargo, haciendo una proyección con lo captado en el año 2019 y que las fugas no sean remediadas de inmediato, se calcula que a cada persona le correspondería casi los 10 litros diarios, tal cantidad del líquido sigue siendo superior a lo recomendado por el sector salud.

Nuestros datos de las pruebas de laboratorio arrojaron que el agua de lluvia recolectada en la comunidad El Corralito se encuentra dentro de lo establecido en la NOM-127-SSA1-1994 y lo recomendado por la CONAGUA para consumo humano (tabla 8).

Tabla 8. Comparación de los parámetros físico-químicos evaluados con lo establecido para consumo humano

<i>Parámetro</i>	<i>NOM 127-SSA1-1994</i>	<i>CONAGUA</i>	<i>Resultados del análisis</i>	<i>Cumplimiento con el límite permisible</i>
<i>DQO (mg/L)</i>	*	<10 (Excelente)	0	Si
<i>SSed (mL/L)</i>	*	*	0	---
<i>SST (mg/L)</i>	*	<25 (Excelente)	0.0153	Si
<i>Alcalinidad (CaCO₃ mg/L)</i>	*	*	53.332	---
<i>Color (Pt-Co)</i>	20	*	0	Si
<i>Turbiedad UTN</i>	5	*	1.952	Si



Conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	*	*	1133	---
pH	6.5-8.5	*	6.9	Si
Dureza (CaCO_3 mg/L)	500.00	*	8	Si

* No hay datos establecidos

Fuente: *Elaboración propia, 2020*

Tabla 9. Comparación de los parámetros microbiológicos evaluados con lo establecido para consumo humano

Parámetro	NOM 127-SSA11994	Resultados de 1er análisis	Resultados de 2do análisis	Resultados del agua tratada con UV	Cumplimiento con el límite permisible
Coliformes totales (UFC/100mL)	2	60	20	0	Si
Coliformes fecales (UFC/100mL)	0	0	0	0	Si

Fuente: *Elaboración propia, 2020-2021*

Como se observa en la tabla 8 los SSed no tienen un límite permisible para que el agua pueda ser potable, sin embargo, su cuantificación sirve como indicador de la cantidad de materia orgánica que pudiera estar ingresando al depósito y de que tan contaminado puede estar, y de acuerdo a Kinnaman et al. (2012) la materia sedimentada influye en el comportamiento de los microorganismos, en este caso, para los coliformes fecales y totales.

En lo que respecta a la alcalinidad, la cual funciona como amortiguador para las sustancias ácidas que pueden ingresar al agua, aunque no hay un valor establecido por la NOM-127-SSA1-1994 y la CONAGUA, en la página de HANAinstruments menciona que el intervalo de alcalinidad ideal para agua potable es de 100 a 200 CaCO_3 mg/L, mientras que Pérez E. (2016) menciona un margen >30 y <200 CaCO_3 mg/L para agua de consumo humano. Pese a que la alcalinidad del agua analizada es de 53 CaCO_3 mg/L, podría considerarse como aceptable ya que no hay alguna fuente que pueda afectar significativamente el líquido. Por último la conductividad es un indicador de que la concentración de oxígeno disuelto es buena (Marín, 2010) y como la DQO es de 0 mg/L, la actividad de los microorganismos es prácticamente nula como para afectar el oxígeno disuelto mediante sus actividades metabólicas.

En lo relacionado a color, su valor fue de cero, que para este tipo de aguas es lo esperado, concordando con lo reportado por Mwamila, Han y Katambara (2016). La dureza se encuentra en igualdad con lo reportado por los mismos autores, ellos obtuvieron una dureza de 8.1 de mg/L como CaCO_3 , mientras que para el presente estudio el valor fue de 8 mg/L como CaCO_3 . Estos parámetros junto con los SST y

la turbiedad podrían afectar el sistema de filtración y desinfección si se encontraran en cantidades superiores a los límites permisibles. Sin embargo, las bajas concentraciones de los mismos aseguran un tratamiento efectivo a través del sistema de luz UV.

Con la tabla 9 se puede decir que la calidad del agua es buena y cumple con los parámetros necesarios para que sea considerada como potable. Los resultados concuerdan con los obtenidos por Resendis (2012) y Adugna et al. (2017) quienes plantean que el agua de lluvia después de un pequeño tratamiento queda suficientemente libre de contaminantes como para ser consumida.

Se observa en la tabla 9 que antes del tratamiento, el agua contenía coliformes fecales, aunque en esencia no todos los microorganismos son dañinos hay otros que si pueden afectar la salud de las personas. Dentro que las inofensivas para el ser humano podemos encontrar las del grupo II de *Klebsiella*, la *Raoutella planticola* (plantas) y *Raoutella terrigena* (suelo y el agua). Las bacterias *Enterobacter* como *E. intermedius*, *E. dissolvens*, *E. nimipressuralis* y *E. pyrinus* se encuentran en el medio ambiente y como patógeno de las plantas, y pocas veces halladas en muestras clínicas humanas. O *Citrobacter rodentium* aislada en roedores, que es utilizada como modelo para comprender la base molecular de *Escherichia coli* enteropatógena (EPEC) y *E. coli* enterohemorrágica (EHEC) por su mecanismo patógeno similar (Koneman et al., 2008).

De las bacterias *Enterobacter* dañinas podemos destacar *E. aerogenes* y *E. cloacae* distribuidas en el agua, aguas cloacales, suelo y verduras. Están asociadas a infecciones oportunistas que afectan las vías urinarias, respiratorias y las heridas cutáneas. En la familia *Yersinia*, *Y. enterocolitica* causa inflamación del intestino delgado, del colon, y síntomas tales como diarrea y fiebre. Con mayor frecuencia en niños pequeños, sobre todo con sistemas inmunitarios debilitados (healthychildrten.org, 2019). Se encuentran aisladas en heces humanas, agua, suelo y vegetales crudos. *Y. aldovae* es similar a *Y. enterocolitica* y se encuentra aislado en agua superficial, potable y peces (Koneman et al., 2008).

Por lo tanto, la presencia de coliformes totales en esta agua no la hace apta para el consumo humano, sin embargo, se observa que después del tratamiento con luz UV se dio cumplimiento con el límite permitido en la NOM-127-SSA1-1994. Campos et al. (2013) en su trabajo de investigación observaron una gran reducción de *E. coli* en efluentes de aguas residuales, aunque la escala de comparación es bastante amplia para el tipo de agua, se puede ver la eficiencia del tratamiento de desinfección por medio de luz UV. Mientras que López D. (2017) utilizando agua del sector Huachi en Ecuador, para hacerla apta para consumo humano, obtuvo una carga de 68.6 UFC/100mL en el agua sin tratar, después de pasarlo por un sistema UV reportó 1 UFC/100mL como resultado final. El autor informa que el agua contenía sólidos suspendidos, esto explicaría por qué no se eliminó por completo los coliformes totales. De tal forma que



implementar el sistema utilizado en esta investigación para la comunidad El Corralito es suficiente para que los pobladores puedan acceder al agua potable.

CONCLUSIÓN

Las enfermedades diarreicas agudas están relacionadas a diversos factores ambientales, principalmente a la mala calidad del agua que las personas consumen. Para combatir este problema los sistemas de captación de lluvia son una buena opción no solo para ofrecer agua de buena calidad, sino que son más económicos que los sistemas convencionales de purificación. Y no solo eso, es posible hacer que localidades que no cuenten con el vital líquido a la mano, tengan mayores probabilidades de abastecimiento.

Se encontró que el principal problema de la calidad del agua en la Comunidad El Corralito es que la consumen sin ningún tipo de tratamiento, y al captarla de la lluvia su almacenamiento es al aire libre, dando paso a que las bacterias puedan desarrollarse con facilidad.

El tratamiento de desinfección más eficaz y que no modifica las características del agua, fue por medio de la luz UV, ya que por las características físico-químicas encontradas, principalmente en lo relacionado al color, turbidez y SST, fueron valores de muy bajos a nulos y que son los recomendados para garantizar la efectividad en este sistema de desinfección, además del proceso de filtración previo que aseguró aún más la buena calidad del agua antes de su paso por la lámpara de luz UV.

El sistema de desinfección UV utilizado está diseñado para un flujo de 15 Litros por minuto, es posible igualar el caudal de salida de la olla de agua con una llave de paso, de esta manera mantener el flujo constante para alimentar el sistema de desinfección UV. O poniendo un Rotoplas para almacenar el agua directamente de la olla y después conectar el sistema para que la presión del agua no sea un problema.

Como recomendación para trabajar en comunidades rurales, es importante tener especial cuidado con lo que se quiere comunicar a los habitantes de las comunidades, sobre todo en encontrar el momento para hacerlo. Así como para recolectar información, ya que en estos lugares suelen ser recelosos con temas relacionados a sus actividades diarias, sobre todo con lo que tenga que ver con los familiares o sus intereses, algunas acciones pueden malinterpretarse.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de la población.....	12
Tabla 2. Parámetros físico-químicos realizados en el laboratorio	20
Tabla 3. Superficies y coordenadas	24
Tabla 4. Precipitación anual por estación meteorológica	28
Tabla 5. Resultados de los parámetros fisicoquímicos determinados en el laboratorio	31
Tabla 6. Resultados de las pruebas microbiológicas.....	35
Tabla 7. Resultados bacteriológicos, agua de entrada y salida	38
Tabla 8. Comparación de los parámetros físico-químicos.....	41
Tabla 9. Comparación de los parámetros microbiológicos	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la comunidad El Corralito.....	13
Figura 2. Variación de temperatura en SCLC y casos de EDA en Chiapas el 2018	14
Figura 3. Localización del acceso por carretera y vereda a la comunidad	22
Figura 4. Ubicación de las ollas de agua en la comunidad	24
Figura 5. Malla en el perímetro de la olla d	25
Figura 6. Zanja.....	26
Figura 7. Vista de la diferencia de alturas del muro de la olla a	26
Figura 8. Esquema de la vista superior de la olla a	27
Figura 9. Ubicación de las estaciones meteorológicas aledañas a la comunidad	28
Figura 10. Recipientes para la toma de muestras	32
Figura 11. Prueba de Sólidos Sedimentables.....	33
Figura 12. Presencia de materiales extraños en la olla de agua	34
Figura 13. Muestra para coliformes fecales y coliformes totales.	35
Figura 14. Agua pasando por el filtro UV para remover contaminantes	37
Figura 15. Toma de muestra, agua de salida	37
Figura 16. Medios de cultivo	38
Figura 17. Colonias de coliformes totales en agua de entrada	39
Figura 18. Lámpara de luz ultravioleta.....	39



ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1	19
Ecuación 2	20
Ecuación 3	29

REFERENCIAS

- Adugna, D., Larsen, L., Lemma, B. and Sahilu, G. (2017) "Low-Cost Stormwater Filtration System to Improve Urban Water Quality: The Case of Addis Ababa, Ethiopia". *Journal of Water Resource and Protection*, Vol. 9, pp. 692|-705. Doi: 10.4236/jwarp.2017.96046
- Agua.org.mx (2006) El agua en México: lo que todas y todos debemos saber. Primera edición. Recuperado de: <https://agua.org.mx/biblioteca/el-agua-en-mexico-lo-que-todas-y-todos-debemos-saber-3/>
- Avila, I. R., Moreno, M. A. (2016). Diseño, propuesta e implementación de un filtro para tratamiento de aguas de uso doméstico en tanques de reserva en la población del casco urbano de la inspección de San Antonio de Anapoima. Recuperado de: <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/10401>
- Bautista, C. (2003). Aguas, Guía Técnico-Jurídica. Ed. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, Esp.
- Basán, M., Sánchez, L., Tosolini, R., Tejerina, F., y Jordán, P. (2018). Sistemas de captación de agua de lluvia para consumo humano, sinónimo de agua segura. AQUA-LAC Volume 10 Number 2. Doi:10.29104/phi-2018-aqualac-v10-n1-02
- Bustos, Y., Vaca, M., López, R., Bandala, E., Torres, L. y Rojas, N. (2014) "Desinfección de efluentes de aguas residuales municipales primarias utilizando tratamiento continuo con UV y ozono", *Journal of Water Resource and Protection*, vol. 6 No. 1, pp. 16-21. Doi: 10.4236/jwarp.2014.61003
- Campos, C., Avant, J., Lowther, J., Till, D. y Lees, D. (2013). "Levels of Norovirus and *E. coli* in Untreated, Biologically Treated and UV-Disinfected Sewage Effluent Discharged to a Shellfish Water," *Journal of Water Resource and Protection*, Vol. 5 No. 10, pp. 978-982. doi: 10.4236/jwarp.2013.510101.
- CONAGUA (2015). Cuidemos y valoremos el agua que mueve a México. Recuperado de: http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/carrera_agua_2015.pdf
- CONAGUA. (2016). LINEAMIENTOS TÉCNICOS: SISTEMA DE CAPTACION DE AGUA DE LLUVIA CON FINES DE ABASTO DE AGUA POTABLE A NIVEL VIVIENDA PROCPTAR recuperado de: http://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/programa_nacional-para-captacion-de-agua-de-lluvia-y-ecotecnias-en-zonas-rerales-procptar
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (2019) pp. 2-10. http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1_090819.pdf
- Departamento de sanidad del estado de Nueva York. (2002). Manual de tratamiento de aguas. Ed. Limusa. México
- Geomembranas mexicanas (2020). ollas de agua. Recuperado de: <https://geomembranasmexicanas.com/project/ollas-de-agua/>
- Google (2019). Maps. recuperado de: <http://www.Google.com.mx/maps/@16.685633,-92611866,1173m/data=!3m1!1e3>
- HANNAinstruments (2020). ¿Por qué medir la alcalinidad en el agua potable? Recuperado de: <https://hannainst.com.mx/boletines/por-que-medir-la-alcalinidad-en-el-agua-potable/>
- HANNAinstruments. Demanda Química de Oxígeno. Fecha de recuperación 2020. Recuperado de: <https://www.hannainst.es/blog/81/demanda-quimica-de-oxigeno>
- Hidroshop.mx. Fecha de recuperación 2021. Recuperado de: <https://hidroshop.mx/producto/lampara-ultra-violeta-de-4-gpm/>
- INAFED (2019). Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Recuperado de: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM07chiapas/municipios/07078a.html>
- INEGI (2020). México en cifras. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=07>
- Jiménez, B., Torregrosa, M. L., Aboites, L. (ed.) (2010). El Agua en México: cauces y encauces. Academia Mexicana de Ciencias, p-p. México. DOI ISBN 978-607-95166-1-1 (<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/elaguaenmexico-caucesyencauces.pdf>)
- Kinnaman, A., Surbeck, C. and Usner, D. (2012) "Coliform Bacteria: The Effect of Sedimentss on decay Rates nd on Required Detection Times in Stormwater BMPs," *Journal of Enviromental Protection*, Vol. 3 No. 8A, pp. 787-797. Doi: 10.4236/jep.2012.328094
- Koneman, E., Winn, W., Allen, S., Procop, G., Schreckenber, P., Janda, W., y Woods, G. (2008). Koneman Diagnóstico microbiológico: Texto y Atlas en color. Ed. Panamericana. 6ta edición. pp. 221-265. Buenos Aires. Argentina



- López, D. S. (2017) Tratamiento de agua para el consumo humano con radiación UV, para la inactivación de coliformes. Recuperado de: <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/25149>
- López, N., Palacios, O., Anaya, M., Chávez, J., Rubiños, J., y García, M. (2017). Diseño de sistemas de captación del agua de lluvia: alternativa de abastecimiento hídrico. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 8(6), pp. 1433-1439. Doi: 10.29312/remexca.v8i6.314
- Marín, R. (2010). Características físicas, químicas y biológicas de las aguas. Recuperado de: <https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/19900/caracteristicas-fisicas-quimicas-y-biologicas-de-las-aguas>
- McGhee, T., (1999). Abastecimiento de aguas y alcantarillado, ingeniería ambiental. McGraw-Hill. Sexta ed. pp. 158-171. Colombia
- Mwamila, T.B., Han, M.Y. and Katambara, Z. (2016) "Strategy to Overcome Barriers of Rainwater Harvesting, Case Study Tanzania". *Journal of Geoscience and Environment Protection*, vol. 4, pp.13-23. Doi: 10.4236/gep.2016.49002
- Mwamila, T.B., Katambara, Z. and Han, M.Y. (2016) "Strategies for Household Water Supply Improvement with Rainwater Harvesting". *Journal of Geoscience and Environment Protection*, vol. 4, pp. 146-158. Doi: 10.4236/gep.2016.49011
- Nájera, H. A., González, F. M., Velasco, F. (2016) "Manual de Prácticas: Laboratorio de Química Ambiental". UNICACH. México.
- Nassar, A. and Hajjaj, K. (2013). "Purification of Stormwater Using Sand Filter," *Journal of Water Resource and Protection*, Vol. 5 No. 11, pp. 1007-1012. Doi: 10.4236/jwarp.2013.511105
- Norma Mexicana. NMX-AA-030/1-SCFI-2012. ANÁLISIS DE AGUA - MEDICIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS.- MÉTODO DE PRUEBA - PARTE 1 - MÉTODO DE REFLUJO ABIERTO
- Norma Mexicana. NMX-AA-034-SCFI-2015. ANÁLISIS DE AGUA - MEDICIÓN DE SÓLIDOS Y SALES DISUELTAS EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS – MÉTODO DE PRUEBA
- Norma Mexicana. NMX-AA-008-SCFI-2016. ANÁLISIS DE AGUA.- MEDICIÓN DEL pH EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS.- MÉTODO DE PRUEBA
- Norma Mexicana. NMX-AA-036-SCFI-2001. ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE ACIDEZ Y ALCALINIDAD EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA
- Norma Mexicana. NMX-AA-017-1980 . AGUAS. - DETERMINACIÓN DE COLOR
- Norma Mexicana. NMX-AA-038-SCFI-2001. ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE TURBIEDAD EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA
- Norma Mexicana. NMX-AA-004-SCFI-2013. ANÁLISIS DE AGUA – MEDICIÓN DE SÓLIDOS SEDIMENTABLES EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA
- Norma Mexicana. NMX-AA-014-1980. CUERPOS RECEPTORES.- MUESTREO
- Norma Mexicana. NMX-AA-164-SCFI-2013 EDIFICACIÓN SUSTENTABLE - CRITERIOS Y REQUERIMIENTOS AMBIENTALES MÍNIMOS
- NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO-LÍMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACIÓN.
- Organización Mundial de la Salud. (2019). *Diarrea*. Temas de la salud. recuperado de <https://www.who.int/topics/diarrhoea/en/>
- Pérez, G., Arriola, J., García, T., Saldaña, M. L., Mendoza, J. C. (2016). EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE CUATRO JAGÜEYES DEL PARQUE ESTATAL "FLOR DEL BOSQUE", PUEBLA, MÉXICO. *RA XIMHAI*. Vol. 12 No 4 (junio 2016), pp.153-168. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46146927009>
- Pérez, E. (2016) Control de calidad en aguas para consumo humano en regiones occidentales de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 29, No 3. Pág 3-14. Doi: <http://dx.doi.org/tm.v29i3.2884>
- Prüss-Üstün, A., Corvalán, C. (2006) "Ambientes saludables y prevención de enfermedades: hacia una estimación de la carga de morbilidad atribuible al medio ambiente". Ginebra: Organización Mundial de la Salud. Recuperado de: https://www.who.int/quantifying_chimpacts/publications/previdisexecsumsp.pdf

- Reséndiz, R. (2012). “DISEÑO DE UN SISTEMA DE CAPTACIÓN Y PURIFICACIÓN DE AGUA DE LLUVIA MEDIANTE FOTOCATÁLISIS SOLAR”. UNAM. México. Recuperado de: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/32.248.52.100/5356/1/tesis.pdf>
- Rojas, J., Díaz, J., Vergara, D., y Macías, N. (2011). Evaluación económica de la captación de agua lluvia como fuente alternativa de recurso hídrico en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. *Producción + Limpia*. Vol. 6 No 1. pp. 76-84. Doi: 10.22507/pml
- Secretaria de Salud. (2019). *Enfermedades Diarreicas Agudas (EDAS)*. recuperado de <https://www.gob.mx/salud/articulos/enfermedades-diarreicas-agudas-edas>
- Sistema Meteorológico Nacional. (2019). *Normales climatológicas por estado*. Recuperado de: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado>
- SMN (2019). Normales climatológicas por estado. Recuperado de: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado>
- Torres, C., García, C., García, J., García, M. y Pacheco, R. (2017). “Agua segura para comunidades rurales a partir de un sistema alternativo de filtración”. *Rev. salud pública*, Vol. 19, No. 4, pp. 453-459. Doi: 10.15446/rsap.v19n4.56039
- Weber Scientific (2014). Microbiology Made Easier: A Quick Guide to Easygel™ Media. Food Safety. Recuperado de: <https://www.food-safety.com/articles/3655-microbiology-made-easier-a-quick-guide-to-easygele284a2-media>