

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Implementación de un sistema de recolección de agua pluvial para el abastecimiento de la iglesia comunal en el caserío Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal.

Trabajo de graduación en modalidad de Tesis presentado por
María Jesús García Álvarez
para optar al grado académico Licenciada en Ingeniería Química

Guatemala
2016

Implementación de un sistema de recolección de agua pluvial para el abastecimiento de la iglesia comunal en el caserío Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal.

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Implementación de un sistema de recolección de agua pluvial para el abastecimiento de la iglesia comunal en el caserío Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal.

Trabajo de graduación en modalidad de Tesis presentado por
María Jesús García Álvarez
para optar al grado académico Licenciada en Ingeniería Química

Guatemala
2016

Vo. Bo. :

(f)

Ing. Henry Cukier Alcahe

Tribunal Examinador:

(f)

Ing. Jaime Rosales Solórzano

(f)

Ing. Cristián Rossi Sosa

(f)

Ing. Gamaliel Zambrano Ruano

Fecha de aprobación: Guatemala 02 de diciembre de 2016

PREFACIO

Este trabajo se llevo a cabo gracias a la relación entre la Universidad del Valle de Guatemala y la Municipalidad de Morales, Izabal. Fue así como se dio la oportunidad de realizar este y otros trabajos en el Caserío Cumbre de San Agustín.

Primero que todo, quiero agradecer a mi mamá, Liliana Álvarez, por todo su apoyo durante mi carrera y especialmente durante la elaboración de este trabajo. Y a mi hermana, Mónica García, por su apoyo incondicional.

Quiero agradecer a la Facultad de Ingeniería química, especialmente al Ingeniero Cristián Rossi por su constante apoyo, por los aprendizajes personales y profesionales que dejo en mí, y al Ingeniero Henry Cukier por su acompañamiento durante la elaboración del trabajo.

Una de las mayores limitaciones de este trabajo fue la ubicación geográfica ya que Morales, Izabal se encuentra muy alejado de la ciudad y el acceso al caserío es complicado. Por lo que agradezco a la familia Rodríguez, quienes me recibieron en su casa en Morales para que pudiera llegar los fines de semana para desarrollar esta investigación en Cumbre de San Agustín.

Tuve la oportunidad de haber apoyado a los pobladores de este caserío por lo que también extiendo mi agradecimiento a cada uno de ellos, espero que este trabajo se pueda replicar en otras comunidades y aldeas que presentan la misma problemática de la falta de acceso a agua potable.

ÍNDICE

PREFACIO.....	v
LISTA DE TABLAS	vii
LISTA DE ILUSTACIONES.....	viii
RESUMEN	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
III. JUSTIFICACIÓN	4
IV. MARCO TEÓRICO	6
A. Importancia del agua.....	6
B. El agua potable	7
C. Fuentes de agua.....	9
D. Formas de captación de agua.....	10
E. Sistema de captación pluvial	11
F. Válvulas	13
G. Características del agua.....	14
V. ANTECEDENTES	15
A. Izabal.....	15
B. Morales.....	16
C. Situación del agua en Guatemala	17
D. Trabajos previos.....	20
VI.METODOLOGÍA	24
A. Diseño, construcción e instalación de sistema de captación de agua pluvial.....	25
VII. RESULTADOS.....	31
VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS	39
IX. CONCLUSIONES	46
X. RECOMENDACIONES	47
XI. BIBLIOGRAFÍA.....	48
XII. ANEXOS	50
A. Cálculos de muestra.....	50
B. Datos calculados	56
C. Análisis de error.....	60
D. Elaboración de tanque de acumulación de primeras aguas	61
E. Procedimientos de análisis físicos y organolépticos	63
F. Datos de precipitaciones lluviosas en Morales, Izabal.	67
G. Descripción de talleres educativos para uso y mantenimiento de sistema instalado.....	85
XIII. GLOSARIO	87

LISTA DE TABLAS

Tabla 1- Eficiencia de escurrimiento según tipo de superficie.....	11
Tabla 2- Características físicas y organolépticas que debe tener el agua para que sea potable.	14
Tabla 3- Resultados obtenidos de todos los parámetros físicos analizados en las muestras de agua durante los cuatro muestreos realizados.....	21
Tabla 4- <i>E. Coli</i> determinada en las fuentes de agua por medio de petrifilms™ se reportan los resultados con base en el manual de microbiología de la Universidad Del Valle de Guatemala (clark y sigüenza, 2013).....	21
Tabla 5- Coliformes determinadas en las fuentes de agua por medio de petrifilms™ se reportan los resultados con base en el manual de microbiología de la Universidad Del Valle de Guatemala (clark y sigüenza, 2013).....	21
Tabla 6- Especificaciones del techo de iglesia, área de captación de agua de lluvia.	32
Tabla 7- Especificaciones de canaletas*	33
Tabla 8- Especificaciones de tuberías que transportan agua de lluvia.....	33
Tabla 9- Especificaciones para determinar el volumen necesario del tanque de primeras agua	33
Tabla 10- Especificaciones de tanque de almacenamiento.....	34
Tabla 11- Materiales y precios utilizados para la instalación del sistema de captación de agua.....	34
Tabla 12- Evaluación para implementación de sistema de captación de agua pluvial.....	35
Tabla 13- Comparación de los sistemas de abastecimiento de agua instalados en Cumbre de San Agustín.....	36
Tabla 14- Resultados de promedios de características físicas y organolépticas del agua de lluvia captada por el sistema instalado, en los meses de agosto, septiembre y octubre.....	38
Tabla 15- Precipitación promedio mensual en el año 2011.....	50
Tabla 16- Promedio de precipitaciones en el mes de enero de los 5 años analizados.....	51
Tabla 17- Promedio de precipitaciones mensuales del año 2011 a 2015 (mm agua o L/m ²).....	56
Tabla 18- Acumulación mensual de agua de lluvia en techo de iglesia comunal.....	56
Tabla 19- Datos requeridos para determinación de caudal en canaleta.....	57
Tabla 20- Cantidad de días que presentan lluvia al mes durante los 5 años analizados.....	57
Tabla 21- Caudal recibido en área de captación a partir de acumulación de lluvia.....	57
Tabla 22- Determinación de agua sobrante en tanque de almacenamiento	59
Tabla 23- Sobredimensionamiento en tanque de almacenamiento.....	59
Tabla 24- Resultados obtenidos de análisis de agua captada por el sistema, tomada en diferentes fechas.....	59
Tabla 25- Promedio de resultados de análisis de agua captada por el sistema instalado, realizados en triplicado.....	60
Tabla 26- Datos de lluvias diarias en morales, izabal desde enero 2011 a julio 2015.....	67
Tabla 27- Enfoques educativos.....	85
Tabla 28- Resultados de talleres impartidos en la comunidad	86

LISTA DE ILUSTACIONES

Ilustración 1- Funcionamiento de sistema interceptor de primeras aguas	12
Ilustración 2- Sistema de recolección de agua pluvial	13
Ilustración 3- Válvulas de retención. a) retención por elevación; b) retención de bola; c)retención por bisagra	13
Ilustración 4- Mapa del departamento de izabal	15
Ilustración 5- Captación de lluvia por pobladores de cumbre de san agustín.....	19
Ilustración 6- Toma de agua del sistema de bombeo.....	22
Ilustración 7- Bomba mecánica de pistón.....	23
Ilustración 8- Esquema de sistema de captación de agua pluvial a instalar en iglesia comunal del Caserío Cumbre de San Agustín*	31
Ilustración 9- Balance de masa del sistema de captación de agua pluvial*	32
Ilustración 10- Esquema con especificación de tuberías de sistema de captación de agua pluvial.....	34
Ilustración 11- Esquema del sistema de captación de agua pluvial a instalar en iglesia comunal de Caserío Cumbre de San Agustín.....	37
Ilustración 12- Sistema de captación pluvial instalado	38
Ilustración 13- Procedimiento para determinación de turbidez utilizando el colorímetro HACH.....	63
Lustración 14- Procedimiento para determinación de ph utilizando el colorímetro hach.....	64
Ilustración 15- Procedimiento para determinación de sólidos suspendidos utilizando el colorímetro	65
Ilustración 16- Continuación de procedimiento de sólidos suspendidos.....	66

RESUMEN

La principal problemática del caserío Cumbre de San Agustín es la carencia de agua. El caserío se encuentra en un área de difícil acceso, no cuenta con energía eléctrica, drenajes ni agua potable. Únicamente cuentan con pozos artesanales y un río, en ambos casos el agua está contaminada.

Este trabajo es un complemento a los megaproyectos *Diseño de un sistema de suministro y purificación de agua usando tecnologías apropiadas con el fin de beneficiar a los pobladores del Caserío Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal; facilitando el acceso al agua potable y con ello mejorar las condiciones de vida de la población y Diseño, implementación, mejora y capacitación para uso de sistemas de captación y tratamiento de agua en el Caserío Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal*. El primero presentó propuestas de recolección de agua pluvial, creación de filtros, diseño de pilas y duchas y estudios microbiológicos. Mientras que el segundo presentó diseños e implementación de bombas para abastecer de agua del río a los pobladores, de esta manera este trabajo también forma parte del abastecimiento de agua a la población, esta vez tomando como fuente el agua de lluvia, que facilite la implementación de un sistema de recolección de agua pluvial para suplir de este servicio a los pobladores del caserío.

El sistema será instalado con base al diseño del techo y la precipitación pluvial del lugar. El sistema incluirá tanques de recolección de agua, complementado con un sistema de tuberías que la conduzcan y un tanque receptor de las primeras aguas que retendra contaminantes del techo. Se realizarán análisis fisicoquímicos que tendrán como base las características físicas y organolépticas según la norma COGUANOR NGO 29 001:99, para recomendar el uso que se puede dar al agua recolectada. Se espera que el sistema reciba mensualmente un promedio de 6,000L de agua.

Considerando esta problemática, es posible implementar un sistema similar en otras áreas comunales, siempre que sean lugares frecuentados y de los cuales pueden proveerse de agua directamente. Se determinará el costo del sistema para recomendar posible réplica del mismo. Este trabajo será elaborado colaborativamente con una Profesional de Educación, que será la encargada de diseñar un manual dirigido a la población para enseñar el uso correcto del sistema y su mantenimiento. Se recomienda dar seguimiento para trabajar en sistemas de filtración y desinfección del agua y que pueda utilizarse para consumo.

I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es el resultado de la instalación de un sistema de captación y almacenaje de agua pluvial en Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal. Para lograr dicho resultado se analizó la ubicación y neutralidad del lugar donde sería instalado, con el propósito de proveer un apoyo a los pobladores del caserío ya que presentan una problemática en cuanto a la falta de agua, teniendo únicamente como fuente de agua un río y dos pozos artesanales que se encuentran altamente contaminados por jabones y grasas provocado por actividades de aseo personal y lavado de ropa y platos así como contaminantes provocados por desechos humanos.

El objetivo general del módulo fue diseñar e instalar un sistema de captación de agua pluvial tomando como base el diseño del techo de la iglesia comunal para abastecimiento de agua a los pobladores de la comunidad. Los objetivos específicos fueron determinar los costos del sistema de captación de agua a instalar identificando el costo de cada parte del mismo como una propuesta de réplica para futuros proyectos, comparar el sistema de acopio de agua presente con otros sistemas instalados en la comunidad, para determinar si este sistema es factible, instalar un sistema de captación de agua pluvial y sus sistemas auxiliares, adaptándolo al diseño de la iglesia para beneficio de la población y finalmente, determinar características físicas y organolépticas del agua captada que serán fundamentales para establecer el uso que se le puede dar.

Para la realización del proyecto se inició con la recolección de datos de precipitaciones pluviales en Morales a partir de información obtenida del INSIVUMEH. Seguidamente se hizo un estudio del área donde mejor se adaptaría el sistema a instalar y una vez escogido el lugar se analizó el techo del mismo como una parte esencial para la captación del agua. Se realizó un sistema interceptor de primeras aguas para captar las primeras lluvias con contaminantes que podrían encontrarse en el techo. Se determinó la cantidad de agua que pudiera ser captada por el techo y la demanda de la población para así determinar el volumen necesario del tanque que almacenaría el agua. Se hizo un sobredimensionamiento del volumen del tanque tomando en cuenta que durante la época seca podría no cubrirse la demanda de agua y durante la época lluviosa podría captarse una mayor cantidad. Se seleccionaron las canaletas y tuberías que mejor se adaptaban a la infraestructura del lugar. Una vez que se tenía el diseño del sistema se determinó el costo de cada parte del mismo para determinar el costo total del sistema. Se esperó a que lloviera para luego recoger muestras del agua captada y realizar análisis físico químicos de las mismas. Finalmente se trabajó con una persona especializada en educación para explicar a los pobladores el uso del sistema y su respectivo mantenimiento.

El resultado obtenido fue el sistema instalado en la iglesia de la comunidad capaz de captar un máximo de 280L de agua pluvial en época lluviosa y satisfacer una demanda de agua de 110L/día. Sin embargo, tomando en cuenta un sobredimensionamiento de 6% en el volumen del tanque se obtuvo un tanque de almacenamiento capaz de captar 297L. Se concluye que el sistema tendrá un tanque de almacenamiento de 297L, el cual contribuye al abastecimiento de agua de la población. Se recomienda que, con base en el diseño presentado en este trabajo se replique el sistema en otras viviendas, con el fin de beneficiar a la mayor cantidad de pobladores del caserío y aplicar tratamientos adecuados al agua captada para poder potabilizarla y sirva para su consumo.

Una de las mayores limitaciones que se presentaron en el proyecto fue la ubicación donde se realizó el mismo pues Morales, Izabal es un área bastante alejada de la ciudad por lo que se complicó realizar visitas constantes al área, la Cumbre se encuentra en un área donde solo se puede acceder a pie o con vehículos de doble tracción y al no contar con este tipo de vehículo no se podían llevar materiales demasiado pesados. Otra limitación es que los mismos materiales para la elaboración del sistema, debían ser económicos para reducir su costo total. Por otra parte, el constante cambio climático hace imposible predecir que el sistema se adecue a eventos poco predecibles como tormentas y sequías extremas.

El trabajo presenta detalladamente un marco teórico y antecedentes al proyecto realizado, los resultados obtenidos y el respectivo análisis de los mismos, conclusiones, recomendaciones para futuros proyectos, los cálculos de muestra y datos calculados durante la elaboración del trabajo, un glosario y la bibliografía utilizada.

II. OBJETIVOS

A. GENERALES

Diseñar e instalar un sistema de captación de agua pluvial tomando como base el diseño del techo de la iglesia comunal para abastecimiento de agua a los pobladores de la comunidad.

B. ESPECÍFICOS

- Determinar características físicas y organolépticas del agua tratada por el sistema a instalar que serán fundamentales para establecer el uso que se le puede dar.
- Comparar el sistema de acopio de agua presente con otros sistemas instalados que tengan el mismo fin, para determinar si este sistema es factible.
- Instalar un sistema de captación de agua pluvial y sus sistemas auxiliares, adaptándolo al diseño de la iglesia para beneficio de la población.
- Determinar los costos del sistema de captación de agua a instalar identificando el costo de cada parte del mismo, como una propuesta de réplica para futuros proyectos.

III. JUSTIFICACIÓN

El caserío Cumbre de San Agustín es una de tantas poblaciones en Guatemala donde sus habitantes son de escasos recursos y carentes de los servicios mínimos de urbanización, entre ellos la falta de agua potable.

Según datos obtenidos del Plan de Desarrollo Morales Izabal, 2010, en este municipio la cobertura de agua potable en el área rural es de 79%, el resto se abastece por medio de pozos artesanales y ríos (PDM, 2010). Los análisis microbiológicos realizados en el agua de esta población determinaron que los pozos y ríos cuentan con no menos de 10UFC/mL de *E. coli* y coliformes (Caballeros, 2014), estos datos se pueden encontrar en el megaproyecto titulado “Diseño de un sistema de suministro y purificación de agua usando tecnologías apropiadas con el fin de beneficiar a los pobladores del Caserío Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal; facilitando el acceso al agua potable y con ello mejorar las condiciones de vida de la población”, módulo “Análisis preliminar del estado físico, químico y microbiológico de las fuentes de agua del Caserío Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal”. (Caballeros, 2014). La deficiencia en la potabilización del agua para consumo humano repercute en los índices de morbilidad en el sector. Según caracterización estadística de la República de Guatemala 2011, las principales causas de morbilidad en la población guatemalteca en general son enfermedades de parasitosis intestinal, diarreas agudas, infección intestinal bacteriana y amebiasis (Política Nacional del Agua de Guatemala, 2011).

La ubicación y topografía de Cumbre de San Agustín hace complicada la forma de vida de sus habitantes, ya que el lugar de abastecimiento del agua es el río ubicado en la aldea, mismo que está alejado de las viviendas, se encuentra en la parte baja de la cumbre y las casas en la parte alta. Las personas más afectadas son mujeres, niños y niñas que son quienes se encargan de llevar el agua hasta sus hogares. La cantidad de viajes diarios oscilan entre dos y seis veces dependiendo de las necesidades de cada familia, el recorrido es de al menos un kilómetro cuesta arriba.

Debe tomarse en cuenta que la principal fuente de vida de los pobladores del caserío es la agricultura por lo que necesitan agua para realizar esta actividad así como para satisfacer sus demandas de aseo personal, alimentación e hidratación. De las 35 viviendas de Cumbre de San Agustín la escuela y la casa del COCODE, cuentan con agua aunque el servicio no es regular, el resto de viviendas no cuenta con este servicio.

Un dato relevante es que Izabal presenta altas cantidades de precipitaciones lluviosas a lo largo del año, de acuerdo a informes del INSIVUMEH, las lluvias se presentan durante nueve meses al año, con un promedio de precipitaciones anuales de 2,800mm de agua.

Este es un factor que se puede aprovechar para que los pobladores cuenten con una fuente extra de agua.

Este trabajo tuvo el objetivo de diseñar e instalar un sistema de captación y almacenaje de agua pluvial, a partir de un diseño previamente presentado por Michelle Nájera en el megaproyecto *Diseño de un sistema de suministro y purificación de agua usando tecnologías apropiadas con el fin de beneficiar a los pobladores del Caserío Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal; facilitando el acceso al agua potable y con ello mejorar las condiciones de vida de la población*. Así posteriormente se instaló en la iglesia del Caserío, debido que la ubicación geográfica de la misma es más accesible que la del río y es un lugar neutral para que los pobladores puedan recolectar el agua de manera más fácil. Además se buscó que este trabajo sea un complemento al megaproyecto *Diseño, implementación, mejora y capacitación para uso de sistemas de captación y tratamiento de agua en el Caserío Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal*, en el cual se presentó la implementación de otros sistemas de abastecimiento de agua para la comunidad.

Se espera que el agua captada por el sistema pueda ser utilizada para diferentes actividades tales como: limpieza de áreas comunales, riego de cultivos, abastecimiento de agua para animales de corral y aunque no es aconsejable es preferible que esta sea utilizada para su consumo y no la del río. Se procuró que los materiales del mismo fueran de fácil obtención así como de fácil uso y mantenimiento para los pobladores. En el presente trabajo se describen los materiales que conforman el sistema de captación de agua así como los sistemas auxiliares y el procedimiento que se consiguió para diseñarlo.

IV. MARCO TEÓRICO

A. IMPORTANCIA DEL AGUA

El agua constituye en un 60 a 90% de la masa del cuerpo de los seres vivos, razón que la hace indispensable para la vida. Además el agua contribuye a la estabilidad del funcionamiento del entorno de los seres y organismos que lo habitan. (Hill, 1999)

Los ciclos del agua son fundamentales para la existencia de la vida y de los propios ciclos vitales de todos los seres vivos. La sociedad recurre al agua para generar y mantener el crecimiento económico y la prosperidad. Los seres humanos utilizan el agua para varias actividades como la alimentación, higiene, riego de agricultura, fines industriales entre otros. (Hill, 1999)

Los ríos y lagos constituyen una importante fuente de riqueza, históricamente se conoce que los primeros pobladores de la tierra se asentaron en sus orillas para aprovechar su uso. El aprovechamiento de sus aguas les permitía beber, cocinar, irrigar sus cultivos y hacer otro tipo de actividades utilizando la misma. (Valtueña, 2002)

Tres cuartas partes de la superficie terrestre está cubierta por agua. El 98% es agua salada por lo que no puede utilizarse para beber ni para muchos procesos industriales. Un poco menos del 2% del agua de la Tierra se encuentra congelada en los casquetes polares, dejando así un 1% de agua dulce disponible para uso y consumo. (Hill, 1999)

En la Tierra el agua puede ser de la superficie o subterránea. El agua de la superficie se refiere a los ríos, lagos, casquetes polares, mares y océanos. El agua subterránea esta por debajo de la superficie formando corrientes que pueden salir al exterior en las fuentes naturales como pozos y manantiales. (Pastor, 2014)

No obstante la importancia que tiene este importante líquido para la vida de los seres vivos, así como la disponibilidad que se tiene para su uso y consumo, en muchas ocasiones se encuentra contaminada. Así entonces es muy común que las reservas de agua sean escasas y contaminadas, lo que representa una amenaza para la salud humana y la calidad de vida (Hill, 1999). El agua dulce se puede contaminar fácilmente con varios tipos de sustancias químicas y microorganismos, algunos provienen de procesos naturales y otros de actividades humanas. Con el surgimiento de la revolución agrícola y de las ciudades, el crecimiento en número de las personas ha sido suficiente para contaminar severamente el entorno. (Pastor, 2014)

Por otro lado, la lluvia formada por agua purificada por la evaporación, cae sobre la superficie terrestre de forma irregular. Después de que el agua cae a la superficie terrestre una parte se evapora de nuevo, otra parte es absorbida por las plantas, otra parte forma el agua de escorrentía y una última parte se infiltra en el suelo.

El agua de lluvia acarrea partículas de polvo de la atmósfera del suelo y disuelve un poco de oxígeno, nitrógeno y dióxido de carbono mientras cae a través del aire. (Valtueña, 2002). El agua contaminada es aquella con presencia de sustancias extrañas que hace que deje de ser apta para su finalidad. Existen tres tipos de contaminantes, los biológicos que se refiere a microorganismos patógenos y parásitos. Los químicos, se refieren a hidrocarburos, fenoles, plaguicidas, detergentes, fósforo, nitrógeno y metales pesados. Y físicos, los cuales se refieren al calor sobre todo en centrales nucleares e isótopos radioactivos. El problema de la contaminación del agua ha ido creciendo en los últimos años, de tal suerte que hoy día diferentes organizaciones mundiales responsables de la salud poblacional manifiestan su preocupación para lograr alcanzar una calidad de vida razonable lo que implica, entre otras cosas, el uso de 80 litros de agua por persona al día, de este consumo un adulto sano necesita beber 2.5L de agua por día, misma que necesariamente debería ser apta para evitar repercusiones en la salud de quién la consuma (Valtueña, 2002)

B. EL AGUA POTABLE

El programa de conjunto de monitoreo define el agua potable como aquella que es utilizada para fines domésticos e higiene personal tal como para beber y cocinar, y que no represente ningún riesgo para la salud del consumidor. La Organización Mundial de Salud (OMS) tiene normas para el agua bebible a fin de tomar consideraciones de los contaminantes que pueden encontrarse en el agua. Estas normas se dividen en apartados tomando en cuenta aspectos como calidad bacteriológica, presencia de sustancias químicas (inorgánicas, orgánicas, plaguicidas, desinfectantes), componentes radioactivos y sustancias que puedan causarle algún efecto negativo a los consumidores. (Valtueña, 2002)

Según el estudio de carga mundial de enfermedades de la Organización Mundial de la Salud, los suministros de agua sucias o insuficientes, falta de aseo o higiene deficiente causan la muerte de más de dos millones de personas cada año en todo el mundo. Las muertes están relacionadas con las infecciones bacterianas, virales y parasíticas. Esta problemática ocupa el cuarto lugar entre las causas de muerte después de la desnutrición, uso de tabaco e hipertensión (Hill, 1999). En el caso de Guatemala los índices de desnutrición infantil y la muerte materno infantil han ido en aumento, dentro de las soluciones planteadas a esta problemática se encuentra facilitar el acceso al agua potable.

El agua tiene una composición precisa (H_2O) por lo que se identifican fácilmente compuestos ajenos a ella. No es fácil definir cuales son los componentes contaminantes, el agua rara vez se encuentra en forma pura aunque para muchos fines prácticos no es de importancia que contenga otros compuestos, todo depende del uso se que se le dé. Se considera como contaminante al exceso de materia que provoque daño a humanos, animales, plantas y bienes o que perturbe negativamente a quienes hagan uso de ella. Por lo que la calidad del agua se atribuye en función del uso que se le dé. El agua disuelve, arrastra y emulsiona compuestos con lo que entra en contacto y modifican su calidad. La calidad del agua se evalúa utilizando índices de calidad de agua. (Jimenez,2005)

Para determinar qué es contaminante y qué no, es cuestión de la cantidad de sustancia presente en el agua, este valor depende del uso que se le da al agua. Existen contaminantes químicos, biológicos y físicos. Los químicos producen efectos diversos y pueden ser de origen natural o sintético, pueden ser desechados directamente o se forman por la reacción entre otros compuestos en el agua. Estos pueden ser desechos de agricultura, pesticidas, aguas residuales, etc. Los biológicos son agentes que provocan enfermedades a los seres humanos, estos agentes entran al agua a través de heces fecales de los mismos humanos o animales. Se estima que el 80% de las enfermedades y más de 1/3 de los fallecimientos en países en vías de desarrollo como Guatemala se debe al consumo de agua contaminada. Los físicos son alteraciones de las propiedades físicas del agua como su temperatura, color, etc. (Jimenez, 2005)

La calidad del agua también se puede clasificar con la medida del contaminante. Existe la materia suspendida que abarca moléculas en fase dispersa con diámetro entre 1-100 μ m. La materia coloidal, la cual es materia suspendida con diámetros entre 10-3-1 μ m y son de sedimentación muy lenta. Y la materia disuelta la cual son moléculas o iones disueltos con diámetros equivalentes entre 10-5 y 10-3 μ m. (Jimenez, 2005)

1. Evaluación de calidad del agua. Existen parámetros empleados para medir los contaminantes convencionales, los cuales fueron los primeros en ser tomados en cuenta por la ingeniería ambiental. Actualmente existen listas que definen de una manera más detallada, los criterios que se toman en cuenta depende de la región que esta siendo considerada. (Jimenez, 2005)

La calidad del agua se puede evaluar en relación a normas específicas, las cuales varían con el tiempo y el lugar. En general, los parámetros que se evalúan se clasifican en grupos siendo estos:

a. **Parámetros organolépticos.** estas son características de color, sabor, olor y turbidez. Son características que el consumidor toma en cuenta aunque no necesariamente tienen relación con la salud.

b. **Parámetros físico-químicos.** los cuales son pH, conductividad, sólidos totales, alcalinidad, dureza, oxígeno disuelto, cloro residual, etc.

c. **Sustancias indeseables en cantidades excesivas:** compuestos que pueden ser dañinos si exceden cierto nivel como dureza, fluoruros, fenoles, cloruros, hierro y manganeso.

d. **Sustancias tóxicas:** Se refiere a compuestos químicos orgánicos e inorgánicos que pueden ser tóxicos al ser humano, la gravedad depende de la dosis, periodo de exposición y otros factores ambientales. Estos pueden ser arsénico, cianuros, mercurio, hidrocarburos aromáticos, compuestos órgano-clorados y órgano-fosforado.

e. **Parámetros microbiológicos:** estos son los más importantes para determinar la potabilidad del agua, como coliformes fecales, virus, *Vibrio cholerae*, etc. Las normas se basan en la asegurar la usencia de baterías indicadoras de contaminación por desechos humanos. (Jiménez, 2005)

C. FUENTES DE AGUA

Es importante considerar que el acceso a líquido debe ser una prioridad, y la misma debiera cubrir los requerimientos mínimos necesarios para el consumo humano. Guatemala presenta algunas características climatológicas y ambientales importantes, que son propicias para la adquisición del vital líquido y que el mismo no sea de riesgo para las personas. Tres principales fuentes de agua, potenciales de ser agua potable son:

1. **Agua del aire.** El agua potable del aire se refiere a la lluvia cuando llega a la tierra se puede obtener agua de la superficie. Generalmente contiene suciedad y microorganismos del aire aunque no son suficientes para causar enfermedades estomacales, considerándose agua limpia y potable. (Bartle, 2007)

2. **Agua de la superficie.** El agua de superficie puede ser estática o en movimiento. El agua en movimiento es la de los ríos, esta es más probable que no estén contaminada con enfermedades derivadas del agua. El agua estática puede ser lagos, océanos o pantanos, estas aguas pueden estar más contaminadas pues al no estar en movimiento se estanca y se puede polucionar. (Bartle, 2007)

3. **Agua del subsuelo.** El agua subterránea es el agua absorbida por la tierra y fluye de forma similar a la de la superficie. Una corriente subterránea se conoce como acuífero, no

cualquier área cuenta con agua subterránea. Esta agua se puede obtener mediante la excavación de un pozo. (Bartle, 2007)

D. FORMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA

1. **Captación de aguas superficiales.** Esta incluye ríos o arroyos y se refiere a la recolección de agua de ríos ya que es una forma simple y fácil para obtener agua. Puede ser muy peligroso ya que es un riesgo alto de obtener agua contaminada por microorganismos que provoquen enfermedades. Generalmente, cuando las personas eligen este tipo de agua lo hacen no por su beneficio a la salud sino por su disponibilidad. (Bartle, 2007)

2. **Pozos.** Cavar pozos es una tecnología muy común para obtener agua. Usualmente, tiene bastantes metros de profundidad para asegurar que el agua subterránea no esté contaminada. El agua puede contaminarse fácilmente si el pozo no está cubierto; basura, insectos o heces de animales pueden caer en el pozo. Un balde atado a un lazo recoge el agua y el lazo se tira manualmente. También puede usarse una tubería para extraer el agua a través de una bomba manual o mecánica. (Bartle, 2007)

3. **Perforaciones.** Son pozos pero no son excavados sino perforados. El agua se saca de la perforación mediante bomba manual, aunque también se puede utilizar una bomba mecánica. Generalmente está cubierto, lo que contribuye a producir agua no contaminada. También existen pozos profundos, estos pueden ser necesarios cuando no hay fuentes de acuíferos cerca de la superficie, sin embargo un acuífero profundo es menos probable que contenga agua dulce y es más difícil de construir. La mayor ventaja es que es más probable que el agua no esté contaminada por microorganismos. La desventaja es que no tiene un sabor agradable, puede contener sales y minerales. (Bartle, 2007)

4. **Almacenamiento de agua de inundación.** Esta es una técnica parecida a la recolección de agua y se utiliza cuando llueve poco durante el año. Se cavan cuencas de captación en donde se tienen amplias llanuras planas y la lluvia fluye con gran vigor y cantidad. Se requiere conocer donde fluye el agua y en que partes se inunda. Se cava un hueco en forma de herradura, generalmente a desnivel con una presa alrededor de tres lados, los tres lados de donde el agua no fluye, para captar el agua fluyente. Existen muchas desventajas de esta técnica, muchas veces las lagos que se han construido no duran por mucho tiempo ya que se absorbe durante la época seca. En caso que duren, el agua se pone lodosa y contaminada con microorganismos. (Bartle, 2007)

5. **Obtención de agua pluvial.** Esta técnica se utiliza cuando no existe agua subterránea o ríos y lagos cercanos. La forma más común de obtener el agua es mediante canaletas en los techos y se utilizan tuberías para transportar el agua hacia un contenedor de almacenaje. Sistemas más elaborados incluye tanque de cemento bajo tierra y se utilizan bombas para obtener el agua, la ventaja es que es más fácil de mantener el agua limpia y libre de contaminación. Las técnicas más simples y baratas incluyen utilizar uno o dos barriles que toman el agua directo de la canaleta y las personas pueden recoger el agua de los barriles. (Bartle, 2007)

E. SISTEMA DE CAPTACIÓN PLUVIAL

1. **Partes de un sistema y construcción.** Como se ha descrito en los incisos anteriores, Guatemala cuenta con la posibilidad de obtener agua a través de la lluvia, por lo que se considera importante poder facilitar de este a las poblaciones carentes del servicio por medio de la construcción, sistematización y enseñanza para el buen uso de este sistema, tal como se describe a continuación.

a. **Área de captación.** Los techos son el área de captación principal, la cantidad y calidad del agua captada depende del área y tipo de material del techo. Estas áreas deben limpiarse regularmente para remover polvo, hojas y excrementos de aves para mantener la calidad del producto. (Kumar, 2002) La captación está conformada por el techo de la edificación, el cual debe tener la superficie y pendiente adecuadas para lograr una mayor eficiencia de escurrimiento del agua de lluvia hacia el sistema de recolección. (UNATSABAR, 2011)

Tabla 1- Eficiencia de escurrimiento según tipo de superficie

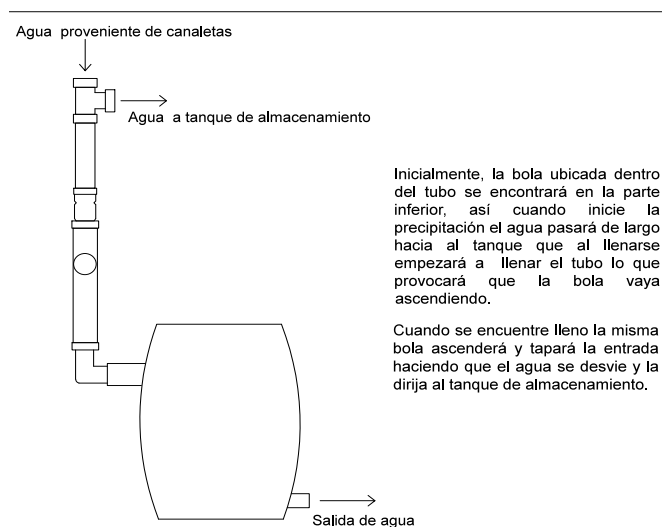
Eficiencia de escurrimiento estimado	
Eficiencia (%)	Tipo de superficie
90	Calamina met
80-90	Tejas de arcilla
80-90	Madera
60-70	Paja

(UNATSABAR, 2011)

b. **Recolección y conducción.** que consiste en conducir el agua recolectada por el techo directamente hasta el tanque de almacenamiento. Está conformada por canaletas que se adjuntan en los bordes más bajos del techo, que es en donde el agua tiende a acumularse antes de caer al suelo. Se recomienda que el material de las canaletas sea liviano, resistente al agua y fácil de unir entre sí para evitar fugas de agua. (Kumar, 2002)

c. Sistema interceptor. Este sistema es el dispositivo de descarga de las primeras aguas provenientes del lavado del techo y contiene todos los materiales que en él se encuentren en el momento del inicio de la lluvia. La finalidad es impedir que materiales indeseables ingresen al tanque de almacenamiento y así minimizar la contaminación del agua ya almacenada (Kumar, 2002). El diseño de este dispositivo debe tener en cuenta el volumen de agua requerido para lavar el techo, se estima que debe ser 1L por m² de techo. (UNATSABAR,2011)

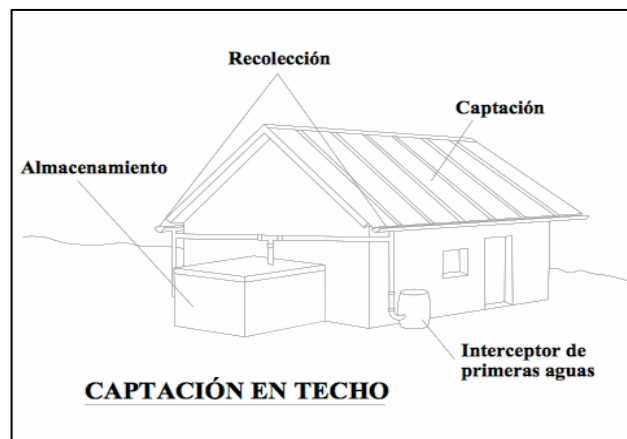
Ilustración 1- Funcionamiento de sistema interceptor de primeras aguas



d. Sistemas de transporte: Se requieren de estos sistemas para transferir el agua colectada en el techo hacia los tanques de almacenamiento. Se debe considerar que durante las primeras lluvias, polvo y escombros del techo serán arrastrados a las tuberías. (Kumar, 2002)

e. Almacenamiento: Es el dispositivo destinado a almacenar el volumen de agua de lluvia captada. Es importante que la unidad sea impermeable para evitar pérdida de agua, debe contar con tapaderas para impedir el ingreso de polvo e insectos, que sea de fácil mantenimiento, la entrada y salida debe contar con mallas para evitar ingreso de insectos y animales. (Kumar, 2002)

Ilustración 2- Sistema de recolección de agua pluvial



(UNATSABAR, 2011)

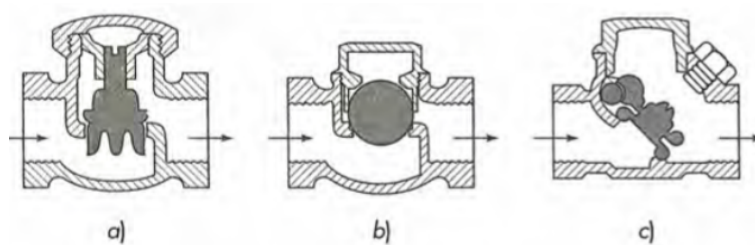
F. VÁLVULAS

Las válvulas son dispositivos que como propósito principal disminuyen o detienen el flujo de un fluido. Algunas válvulas funcionan en servicio de cerrado-abierto, otras están diseñadas para suprimir o reducir presión y velocidad de flujo de un fluido y existen otras que permiten el flujo solo en una dirección o bajo ciertas condiciones de temperatura o presión. En todos los casos, la válvula inicialmente detiene o controla el flujo. (McCabe, 2002)

1. Válvulas de retención. Una válvula de retención permite el flujo sólo en una dirección. Esta se abre por presión de un fluido que va en determinada dirección y se cierra automáticamente cuando el flujo se detiene o invierte. (McCabe, 2002)

Ilustración 3- Válvulas de retención.

a) retención por elevación; b) retención de bola; c) retención por bisagra



(McCabe, 2002)

G. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA

La norma COGUANOR NGO 29 001:99, establece los parámetros y características que debe tener el agua para considerarla potable, es decir que debe cumplir con lo establecido en dicha norma para que no presente ningún riesgo a la salud del consumidor. La norma dicta especificaciones físicas y organolépticas y también incluye características químicas, microbiológicas y aspectos radiológicos.

Tabla 2-Características físicas y organolépticas que debe tener el agua para que sea potable.

Características	Límite Máximo Aceptable	Límite Máximo Permisible
Color	5,0 u	35,0 u ^(a)
Olor	No rechazable	No rechazable
Turbiedad	5,0 UNT	15,0 UNT ^(b)
Conductividad eléctrica	750 μ S/cm	1500 μ S/cm ^(d)
Potencial de hidrógeno	7,0-7,5	6,5-8,5 ^{(c) (d)}
Sólidos totales disueltos	500,0 mg/L	1000,0 mg/L

(a) Unidades de color en la escala de platino-cobalto
 (b) Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).
 (c) En unidades de pH
 (d) Límites establecidos a una temperatura de 25 °C.

(COGUANOR NGO 29 001:99)

Los aspectos que deben considerarse para que el agua pueda beberse son: su calidad bacteriológica, presencia de sustancias químicas y componentes radioactivos. Las enfermedades transmitidas por el agua constituyen el 80% de las afecciones observadas en el países en vías de desarrollo. El grado de contaminación se puede determinar usando varios indicadores, oxígeno en disolución, temperatura, pH, conductividad, materia oxidable, cantidad de gérmenes coliformes, amoníaco, salinidad, detergentes. (Kumar, 2002)

El agua de lluvia puede estar contaminada, generalmente no es adecuada para fines de bebida a menos de ser tratada posteriormente a su recolección. El agua obtenida de techos puede contener heces de animales y pájaros, musgos polvo, partículas por contaminación urbana, pesticidas, iones orgánicos (Ca, Mg, Na, K, Cl, SO₄) y gases disueltos (CO₂, NO_x, SO_x). Sin embargo se puede dar el tratamiento adecuado para poder convertirla en agua potable, tal como se ha trabajado en Brasil, donde se utiliza alumbre y cloro para desinfectar. (Kumar, 2002)

V. ANTECEDENTES

A. IZABAL

Este departamento de la costa Atlántica fue creado por el acuerdo gubernativo del 8 de mayo de 1866. Está conformado por cinco municipios: El Estor, Livingston, Los Amates, Puerto Barrios y Morales. El departamento de Izabal cuenta con una extensión territorial de 9,039 km², ubicado en la latitud 15°44`06" Norte y longitud 88°36`17" Oeste. Está situado en la Región Nor-oriental de la República de Guatemala, su cabecera departamental es Puerto Barrios. Limita al norte con el departamento de Petén, Belice y el Mar Caribe; al Sur con el departamento de Zacapa, al Este con República de Honduras y al Oeste con el departamento de Alta Verapaz. La población del departamento de Izabal está dividida en un 80% de población ubicada en el área rural el porcentaje restante en áreas urbanas. Un aproximado de 23 % corresponde a población indígena kekchí que llegó de las Verapaces, además existe un grupo poblacional integrado por garifunas de origen afrocaribeño, el resto está integrado por población mestiza. (Enciclopedia de Guatemala, 1998).

Cuando se convive más de cerca con la población de Izabal se puede llegar a conocer la vida cotidiana, lo que permite hacer evidentes algunas de las condiciones o problemáticas que enfrentan a diario. En esta investigación se identifica especialmente la carencia de necesidades básicas, que indudablemente la padecen otras poblaciones de Guatemala, sin embargo se demostrará puntualmente lo que sucede en uno de los municipios que integran Izabal.

Ilustración 4-Mapa del departamento de Izabal



B. MORALES

La ubicación del municipio de Morales del departamento de Izabal está en las coordenadas geográficas 15°28`27.5" latitud norte y 88°49`40.7" longitud oeste. Cuenta con una extensión territorial de 1,296.00 km². Morales colinda al norte con los municipios de Livingston y Puerto Barrios, al sur con Los Amates y la República de Honduras, al este con Puerto Barrios y La República de Honduras y al oeste con el municipio de Los Amates. (PDM, 2010)

En cuanto a la demografía y población el municipio de Morales cuenta con 109,847 habitantes, así como el departamento en general lo integran grupos de mestizos y de la etnia kekchí, regularmente se encuentra muy poca población garífuna. De acuerdo al informe del Programa de Naciones Unidas para Desarrollo Humano de 2013 (PNUD) 5 de cada 10 habitantes se encuentra en situación de pobreza, el índice de pobreza en el área urbana es del 15%, es decir 2 de cada 10 habitantes sufren de pobreza. En el área rural el porcentaje de pobreza es alarmante ya que alcanza el 55.61%, quiere decir que 6 de cada 10 habitantes no cubren sus necesidades básicas mínimas. (PDM, 2010)

En el municipio de Morales está ubicado el Caserío Cumbre de San Agustín, lugar en donde se realizará esta investigación. El caserío se encuentra situado a 15 kilómetros de Morales, vía Río Dulce. Cuenta con una extensión territorial de 4km de largo. El acceso al caserío es a través de la carretera asfaltada ruta al atlántico, tomando el cruce de la Ruidosa km. 245 que conduce a Río Dulce en donde está el desvío que lleva a Cumbre de San José, seguidamente se divide la carretera, donde se convierte en camino de terracería hasta llegar a la Cumbre San Agustín donde está el Caserío. Esta población cuenta con una escuela, una iglesia, agua potable solo para una casa y la escuela, sin embargo el servicio es bastante irregular, los pobladores argumentan que la mayor parte del tiempo no llega. Por los servicios y la calidad de los mismos se considera que el mencionado caserío está en la condición de área rural.

1. Cumbre de San Agustín. se describe con las siguientes características:
 - a. Flora. Cumbre San Agustín cuenta con árboles de laurel, cedro, amate, matilliguate, zorra, balso, piña, mango y zapote. (Municipalidad de Morales, 2010)
 - b. Fauna. La comunidad tiene crianza de animales domésticos entre ellos caballos, vacas, cerdos, perros, gatos, loros, gallinas, chompipes y patos. (Municipalidad de Morales, 2010)
 - c. Hidrografía. La comunidad cuenta con un nacimiento de brote definido el cual proporciona agua a la quebrada que pasa por la comunidad. Poseen dos pozos de agua natural. (Municipalidad de Morales, 2010)

- d. Clima. Cálido y húmedo. (Municipalidad de Morales, 2010)
- e. Altura. La comunidad está ubicada a 107 metros sobre el nivel del mar. (Municipalidad de Morales, 2010)
- f. Población. Dentro de la principales características de la población del Caserío San Agustín sobresale una de las más alarmantes: la económica. La situación económica de la población puede ubicarse en condición de extrema pobreza, que según el informe de Desarrollo Humano de 2013 se puede calificar de acuerdo al acceso que se tiene para cubrir las necesidades básicas, mismas que evidentemente esta población no cuenta. La sostenibilidad de las familias es a través de la agricultura en la siembra, cosecha y venta de piña , trabajos en fincas aledañas de ganadería y al comercio informal. (Municipalidad de Morales, 2010)
- g. Servicios. El sistema de agua por gravedad a domicilio del agua potable de Cumbre San Agustín cubre únicamente a una vivienda y la escuela, el resto obtiene agua de la quebrada y/o pozos. No tienen acceso a servicio de electrificación. (Municipalidad de Morales, 2010)
- h. Drenajes: La comunidad no cuenta con drenajes, muchos desechos son vertidos a la quebrada provocando un riesgo a la vida y salud de la comunidad debido que estos desechos contaminan los diferentes nacimientos de agua. El lugar es propicio a criadero de zancudos que transmiten dengue, malaria u otras enfermedades. (Municipalidad de Morales, 2010)

Con la descripción general de las características del Caserío San Agustín se hace evidente que existen muchas necesidades fundamentales, pero la que sobresale es la necesidad del acceso a agua, con una garantía mínima de que la misma no este contaminada y que pueda ser usada y aprovechada por la población sin correr mayores riesgos de contraer enfermedades.

C. SITUACIÓN DEL AGUA EN GUATEMALA

Guatemala cuenta con una disponibilidad de 97,120 millones de m³ de agua al año. Esta disponibilidad total anual equivale a una cantidad siete veces mayor que la establecida como límite de riesgo hídrico de acuerdo con el estándar internacional de 1,000m³/habitante/año (SEGEPLAN, 2006). Del volumen total de agua disponible anual se estima que sólo se aprovecha alrededor del 10% del total. Sin embargo, la cantidad de agua disponible del mes más seco provoca un estrés hídrico pues la demanda de agua es superior a la oferta estacional. Se estima que en diez años la demanda anual podría ser duplicada (Política Nacional del Agua de Guatemala, 2011).

Según el mismo informe de SEGEPLAN dice que la disponibilidad de agua a escala nacional y anual es “teórica” ya que no satisface todas las demandas a escala local y mensual. Esto se debe entre otras razones a la variabilidad espacio temporal del clima, influencia de topografía y ubicación de poblaciones respecto a accesibilidad de las fuentes de agua (SEGEPLAN, 2006).

La Política Nacional del Agua exhibe una clara relación del agua con la sociedad, sobre todo en el tema de servicios públicos de agua potable y saneamiento ya que tiene un vínculo directo con el desarrollo humano y la relación de la falta o deficiencia de agua con la inhibición en el logro de objetivos sociales (Colom, 2010). Es lo que ocurre en el Caserío San Agustín, la población no tiene acceso a los servicios mínimos de urbanización, entonces alcanzar los objetivos sociales de desarrollo se vuelve casi imposible.

La cobertura universal de agua potable y saneamiento en el área rural y mejorar notablemente la calidad de estos en las ciudades son temas considerados urgentes y relevantes (Lentini, 2010; SEGEPLAN, 2006). Estos servicios públicos son de importancia estratégica para el país ya que constituyen las medidas más costo-efectivas para reducir la pobreza, desnutrición crónica, índices de morbilidad y mortalidad materno-infantil, deserción escolar, mejorar el cuidado del ambiente, salud, situación de mujeres y niños y el avance de los Objetivos de Desarrollo del Milenio en Guatemala. (SEGEPLAN, 2006).

Se estima que incrementar en un 10% la cobertura de sistemas adecuados de agua potable de hogares urbanos implicaría disminuir un 8.2% la probabilidad de que exista desnutrición infantil global y a su vez, disminuir la tasa de mortalidad materna. (SEGEPLAN 2006). Cerca de 3 millones de guatemaltecos se abastecen de fuentes naturales cuya calidad no es confiable (Política Nacional del Agua de Guatemala, 2011), dentro de estos casos se encuentra la población de la Cumbre de San Agustín del Municipio de Morales.

La Organización Panamericana de la Salud (OPS) señala que la contaminación del agua en el país es la mayor amenaza a la salud de las personas. La falta de gestión especial e integral del agua ha ocasionado fenómenos de contaminación que amenazan los cuerpos de agua del país. (SEGEPLAN, 2006).

Según datos obtenidos del Plan de Desarrollo Morales Izabal, 2010, en este municipio la cobertura de agua potable en el área rural es de 79%, el resto se abastece por medio de pozos artesanales y ríos. De acuerdo a análisis microbiológicos realizados en el agua de esta población, se determinó que los pozos y ríos cuentan con no menos de 10UFC/mL de E.coli y coliformes (Caballeros, 2014). La deficiencia en la potabilización del agua para consumo humano repercute en los índices de morbilidad. En referencia a la Caracterización Estadística de la República de Guatemala 2011, las principales causas de morbilidad en la

población guatemalteca en general son enfermedades de parasitosis intestinal, diarreas agudas, infección intestinal bacteriana y amebiasis. (Política Nacional del Agua de Guatemala, 2011).

Una de las respuestas a la problemática que afronta el Caserío de la Cumbre San Agustín en relación a el abastecimiento de agua potable es la propuesta hecha a través del *Diseño de un sistema de captación y almacenaje de agua pluvial por medio de una nueva tipología estructural del techo de las viviendas del caserío cumbre de San Agustín, Morales, Izabal.* (Nájera, 2014). En dicho trabajo se estableció un área de captación de agua de lluvia con base al trabajo *“Diseño de una nueva tipología estructural para una casa en madera para gente de escasos recursos enfocada en la captación de agua de lluvia”*(Rivera, 2014), con el fin de suplir la necesidad de agua potable. Se realizó un estudio de la cantidad de precipitaciones mensuales en el área estudiada y se determinó una demanda mensual para determinar el diseño que mejor se adaptara a las condiciones. En este trabajo también se realizó el diseño de un sistema de primeras aguas para limpiar el área de captación y separarla del resto. Sin embargo, estas solo fueron propuestas de diseños tomando como base diseño de casa ideales, por lo que debía estudiarse dicha propuesta y adaptarla a estructuras ya construidas por los mismos pobladores ya que diseñar una nueva tipología estructural está fuera de los alcances del presente trabajo.

Cabe mencionar que los pobladores de Cumbre San Agustín tienen conciencia de la captación de agua pluvial, sin embargo se realiza de manera “artesanal” sin tomar en cuenta los riesgos que pueda presentar para su salud.

Ilustración 5- Captación de lluvia por pobladores de Cumbre de San Agustín



Un dato relevante es que Izabal presenta altas cantidades de precipitaciones lluviosas a lo largo del año, según datos de lluvia INSIVUMEH, las lluvias se presentan durante nueve meses al año, con un promedio anual de precipitaciones de 2800mm de agua. Este es un factor que se puede aprovechar para que los pobladores cuenten con una fuente extra de agua y así puedan satisfacer esa necesidad por medio de la ejecución del diseño presentado en este trabajo.

D. TRABAJOS PREVIOS

Los trabajos en Cumbre San Agustín iniciaron desde 2014, en donde un grupo de estudiantes trabajaron en el Megaproyecto titulado *Diseño de un sistema de suministro y purificación de agua usando tecnologías apropiadas con el fin de beneficiar a los pobladores del Caserío Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal; facilitando el acceso al agua potable y con ello mejorar las condiciones de vida de la población*. En este trabajo se realizaron varios módulos los cuales buscaron mejorar la calidad de vida de los pobladores a partir de propuestas de diseños de tipología estructural para casas de madera enfocada en la captación de agua de lluvia, diseño de captación y almacenaje de agua pluvial, diseño de sistema de potabilización de agua, diseño de sistema de tratamiento de agua utilizada en lavado de ropa, diseño de duchas con un sistema de tratamiento de aguas, diseño de una red hidráulica para el sistema de abastecimiento de agua, sistema de riego y mejoramiento de procesos de cultivo de piña y análisis físico-químicos y microbiológicos de fuente de agua, todo esto acompañado con un programa de educación para el manejo adecuado de agua. De los megaproyectos mencionados anteriormente se describen dos módulos que tienen mayor relación con este trabajo:

1. Megaproyecto. "Diseño de un sistema de suministro y purificación de agua usando tecnologías apropiadas con el fin de beneficiar a los pobladores del Caserío Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal; facilitando el acceso al agua potable y con ello mejorar las condiciones de vida de la población".

a. Módulo de captación de agua pluvial. En el módulo presentado por Michelle Nájera se presentó el diseño de un sistema de captación y almacenaje de agua pluvial por medio de una nueva tipología estructural del techo de las viviendas para almacenar el agua captada y así suplir la necesidad de agua potable. El diseño presentado se basó en las dimensiones del módulo *Diseño de una nueva tipología estructural para una casa de madera para gente de escasos recursos enfocada en la captación de agua de lluvia*. Los diseños se presentaron para viviendas de diferentes tamaños y cantidades de habitantes.

b. Módulo de análisis químicos. En el módulo presentado por Marlin Caballeros se realizaron análisis de aguas en diferentes puntos de muestreo. A continuación se muestran los resultados obtenidos de los análisis físicos y microbiológicos del agua.

Tabla 3- Resultados obtenidos de todos los parámetros físicos analizados en las muestras de agua durante los cuatro muestreos realizados.

Lugar	Parámetro	Media	Desviación Estándar	Varianza
Quebrada1	pH	7.605	0.219	0.048
Quebrada2	pH	7.608	0.216	0.047
Nacimiento1	pH	5.845	0.145	0.021
Nacimiento2	pH	6.528	0.269	0.072
Quebrada1	Turbidez	0.013	0.009	0.000
Quebrada2	Turbidez	0.113	0.190	0.036
Nacimiento1	Turbidez	0.019	0.017	0.00001
Nacimiento2	Turbidez	0.007	0.009	0.00003
Quebrada1	Conductividad eléctrica	86.525 $\mu\text{s/cm}$	18.153	329.529
Quebrada2	Conductividad eléctrica	112.550 $\mu\text{s/cm}$	18.978	360.170
Nacimiento1	Conductividad eléctrica	97.125 $\mu\text{s/cm}$	51.681	2671.017
Nacimiento2	Conductividad eléctrica	93.875 $\mu\text{s/cm}$	57.542	3311.049
Quebrada1	DBO	38.820 mg/L	12.048	145.158
Quebrada2	DBO	47.235 mg/L	27.683	766.338
Nacimiento1	DBO	35.710 mg/L	12.592	158.566
Nacimiento2	DBO	54.860 mg/L	6.190	38.307
Quebrada1	Sólidos totales	2773.74 mg/L	1956.005	3.826*10 ⁶
Quebrada2	Sólidos totales	5415.00 mg/L	4255.540	1.811*10 ⁷
Nacimiento1	Sólidos totales	3226.25 mg/L	3286.412	1.080*10 ⁷
Nacimiento2	Sólidos totales	3523.75 mg/L	3909.378	1.528*10 ⁷

(Caballeros, 2014)

Tabla 4- *E. coli* determinada en las fuentes de agua por medio de Petrifilms™ se reportan los resultados con base en el manual de microbiología de la Universidad del Valle de Guatemala (Clark y Sigüenza, 2013).

Fecha de Muestreo	Quebrada 1 UFC/mL	Quebrada 2 UFC/mL	Nacimiento 1 UFC/mL	Nacimiento 2 UFC/mL
06/04/2014	<10	<10	250	25
04/05/2014	250	250	250	25
09/06/2014	<10	250	36	250
16/09/2014	250	2*10 ³	<10	250

(Caballeros, 2014)

Tabla 5- Coliformes determinadas en las fuentes de agua por medio de Petrifilms™ se reportan los resultados con base en el manual de microbiología de la Universidad del Valle de Guatemala (Clark y Sigüenza, 2013)

Fecha de Muestreo	Quebrada 1 UFC/mL	Quebrada 2 UFC/mL	Nacimiento 1 UFC/mL	Nacimiento 2 UFC/mL
06/04/2014	25	<10	250	250
04/05/2014	7*10 ³	4*10 ²	9*10 ³	25
09/06/2014	1*10 ²	2*10 ³	2*10 ³	250
16/09/2014	2*10 ³	6*10 ³	25	8*10 ²

(Caballeros, 2014)

2. Megaproyecto. “Diseño, implementación, mejora y capacitación de sistemas de captación y tratamiento de agua en el Caserío Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal.”

En el año 2015 se dio seguimiento a estas propuestas y en el Megaproyecto *Diseño, implementación, mejora y capacitación de sistemas de captación y tratamiento de agua en el Caserío Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal*, se trabajó en la instalación de sistemas para abastecer de agua a la comunidad. El trabajo consta de varios módulos los cuales fueron un sistema de bombeo y colección de agua del río complementada con una bomba mecánica de pistón para llevar el agua del río al área donde se encuentran las casas de la comunidad. Además se presentó un módulo del diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales usando procesos biológicos a partir de cáscara de coco como medio de remoción de contaminantes. Todo esto acompañado con un programa de empoderamiento a vecinos de la comunidad para la formación de promotores de salud.

En el módulo presentado por Juan José Gudiel se diseñó e implementó un sistema de bombeo y colección de agua de río para abastecer de agua a la comunidad. Debido a la falta de servicio de electricidad se implementó una bomba de ariete y un sistema de filtrado *in situ*, como se puede observar en la Ilustración#6.

Ilustración 6- Toma de agua del sistema de bombeo



(Gudiel, 2015)

En el módulo presentado por José Shin se diseñó e instaló una bomba mecánica manual de pistón para el transporte del agua colectada por la bomba de ariete y conducirla hacia las casas de la comunidad. Esta se puede observar en la Ilustración #7.

Ilustración 7- Bomba mecánica de pistón



(Shin, 2015)

VI. METODOLOGÍA

Se describe a continuación la metodología de trabajo a través de la cuál se diseñó e implementó un sistema de captación de agua y sus sistemas auxiliares en un área neutral para beneficio de la mayor cantidad de pobladores del caserío.

Para identificar el área de instalación se realizaron visitas al caserío y se contactó con el COCODE de la comunidad, con quien se mantuvo relación cercana para determinar el mejor lugar para la instalación del sistema, se aprovechó que esta persona es el enlace directo con los pobladores y pudo brindar información de las necesidades de los habitantes, lo cual fue determinante para llevar a cabo el presente trabajo.

Este trabajo dio continuación a propuestas que ya se tenían previamente, consistentes en un diseño para recolección de aguas, creación de filtros con materiales oriundos del caserío, diseño de pilas y duchas y un estudio microbiológico de pozos y ríos.

Para el presente trabajo se puso en marcha la propuesta de diseñar un sistema de recolección de agua adaptándose a las necesidades de la comunidad y se instaló en un lugar que permite que esta recolección sea de fácil acceso para los pobladores. El trabajo incluye el diseño, construcción e instalación del sistema en el área de captación de agua, un dispositivo de almacenamiento, los sistemas de recolección y conducción de agua, interceptor de primeras aguas que retiene impurezas y una desviación de agua sin impurezas hacia el tanque de almacenamiento.

Anteriormente se había presentado un sistema de recolección de agua (Nájera, 2014), a partir de esta propuesta se diseñó un sistema a escala real y se instaló siguiendo las condiciones que se presentan en el lugar.

El primer paso para llevar a cabo el proyecto fue establecer las bases de diseño, las cuales incluyen un diagrama de flujo, el balance de masa correspondiente y diseño de equipos. Para la construcción e instalación del sistema se debió asegurar la fácil obtención de materiales de construcción, tiempo disponible para construir e instalar el sistema y el costo del mismo.

El procedimiento para diseñar, construir e instalar el sistema se describe a continuación.

A. DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL

1. Bases de diseño. Para realizar el diseño del sistema de captación de agua pluvial se establecieron las bases de diseño, las cuales incluyen un diagrama de flujo indicando las entradas y salidas del sistema; un balance de masa indicando los flujos de entrada y salidas del sistema; finalmente los diseños de equipos necesarios para el buen funcionamiento del sistema.

2. Determinación de la precipitación promedio mensual. Para poder determinar la cantidad de agua disponible en el lugar y asegurar cubrir una demanda de agua por la población es necesario conocer las precipitaciones pluviales en el lugar de estudio. Estos datos se obtuvieron del INSIVUMEH quienes proporcionaron la precipitación mensual de Morales, Izabal y se tomaron datos del año 2011 a julio de 2015. Con estos datos se obtuvo la precipitación promedio mensual durante los 5 años seleccionados. Dichos datos se pueden encontrar en la Tabla#25, en el apartado de anexos.

3. Determinación del área de captación. Se realizó un estudio en la comunidad con ayuda del COCODE para determinar cual es el área más adecuada para instalar el sistema. Esto incluyó buscar un área de captación adecuada que no se encontrara en malas condiciones y que fuera un lugar de fácil acceso para la población. De esta manera se determinó que sería la iglesia comunal en donde se instalará el sistema. Para esto se estudió el techo que recolectará el agua y la transportará al resto del sistema, se tomó en cuenta que el tipo del material del techo es lámina y su coeficiente de escurrimiento respectivo es 0.9.

4. Diseño de sistema de almacenamiento de agua de lluvia

a. Acumulación de agua por mes. Para determinar la cantidad de agua que se puede captar cada mes se calculó la precipitación promedio mensual a partir de datos del INSIVUMEH, y el área de captación que se seleccionó. El área de captación de la iglesia comunal cuenta con un techo de 12x2.55m y el material del mismo es lámina, con coeficiente de escorrentía de 0.9. La acumulación se obtuvo a partir de la siguiente ecuación:

$$A_i = Pp_i * A * C_e \quad \text{Ecuación 1}$$

En donde:

A_i = *acumulación de agua por mes*
 Pp_i = *precipitación promedio mensual*
 A = *área de captación*
 C_e = *coeficiente de escorrentía*

b. **Demanda diaria.** La demanda diaria se estimó a partir de la cantidad de personas que estarán beneficiadas y el uso que se le dará al agua captada. Para lo que se aplicaron entrevistas a los pobladores, y se determinó que asisten un aproximado de 35 personas a la iglesia tres veces a la semana y realizan actividades de convivencia y realizan limpieza al menos una vez por semana.

c. **Caudal de área de captación.** El caudal máximo en el área de captación está dado por el mes que presenta mayor acumulación de lluvia, para esto fue necesario conocer los datos de acumulación de agua por mes y así se determinó que el mes de Agosto presenta mayores precipitaciones. Para conocer el caudal que será recibido por segundo se realizó un aproximado de las horas de lluvia al día, de esta manera se conocieron los metros cúbicos de agua por segundo.

5. Diseño y selección de canaletas. Las canaletas se seleccionaron tomando en cuenta factores económicos y facilidad de obtención y transporte de las mismas. Fue así como se decidió seleccionar canaletas prefabricadas de 0.01x0.09m.

Para determinar si el tamaño de las canaletas seleccionadas era el adecuado se calculó el caudal máximo de agua proveniente del techo de la iglesia que será el caudal que deberán soportar, esto se realizó tal y como se mencionó en el inciso anterior, caudal de área de captación.

Se realizaron algunos cálculos previos para obtener los datos necesarios que determinaron el caudal en las canaletas. Esto se describen a continuación.

a. **Altura de llenado de canaletas.** Se determinó la altura de llenado de las canaletas, asumiendo un 65% de llenado de las mismas.

$$h(m) = \text{altura de canaleta}(m) * \% \text{ de llenado} \quad \text{Ecuación 2}$$

b. **Área de canaletas.** Luego se determinó el área de las canaletas, debido a que se seleccionaron canaletas prefabricadas solo debía conocerse la altura y ancho de las mismas.

$$A(m^2) = \text{alto}(m) * \text{ancho}(m) \quad \text{Ecuación 3}$$

Debido a que se utilizaron canaletas no circulares el factor de fricción de las mismas se determinaron utilizando el diámetro equivalente, para llegar a este valor se deben determinar los cálculos que se muestran a continuación.

c. Perímetro mojado de canaleta: Este se refiere a la parte de la canaleta que esta en contacto con el fluido. Este se determinó con la ecuación a continuación:

$$P(m) = 2 * alto(m) + ancho(m) \quad \text{Ecuación 4}$$

d. Radio hidráulico: el radio hidráulico es la relación entre área de la sección transversal del canal y su perímetro mojado. Se determinó utilizando la ecuación:

$$r_H(m) = \frac{\text{área}(m^2)}{\text{perímetro mojado}(m)} \quad \text{Ecuación 5}$$

e. Diámetro equivalente: Se determinó a partir de la ecuación a continuación.

$$D_{eq}(m) = 4 * r_H(m) \quad \text{Ecuación 6}$$

f. Caudal de canaleta: para calcular el caudal en la canaleta se debe conocer el diámetro equivalente, que fue calculado como se mostró previamente. Además deberá conocerse la velocidad lineal del fluido, en este caso el agua de lluvia y se toma como base de cálculo 1 m/s . Para esto se utilizó la ecuación a continuación.

$$Q \left(\frac{m^3}{s} \right) = \frac{\pi}{4} * (D_{eq}(m))^2 * v \left(\frac{m}{s} \right) \quad \text{Ecuación 7}$$

6. Sistema de tuberías. El sistema de tuberías conduce el agua desde el techo hacia los tanques correspondientes. La selección de tamaño de tubería se determinó a partir del caudal dentro la misma y la velocidad del agua, la relación de estos dos datos determinan el área de la tubería necesaria y a partir de este valor se obtuvo el diámetro correspondiente, con la ecuación a continuación.

$$D(m) = \sqrt{\frac{4}{\pi} * A(m^2)} \quad \text{Ecuación 8}$$

7. Diseño y construcción del sistema interceptor de primeras aguas. El sistema de primeras aguas tiene el objetivo de retener las impurezas de las primeras precipitaciones pluviales. El sistema incluye el tanque de acumulación de primeras aguas, el sistema de tuberías y una válvula de retención que desviaré el agua limpia de la impura. Los pasos para su construcción se describen a continuación.

a. Tanque de acumulación de primeras aguas. El volumen del tanque se seleccionó de acuerdo al volumen necesario para limpiar el área de captación de lluvia. Según la literatura (UNATSABAR 2011) se requiere de 1L de agua para limpiar una superficie de $1m^2$, esto incluye tanto el área de canaletas como área de captación, por lo que

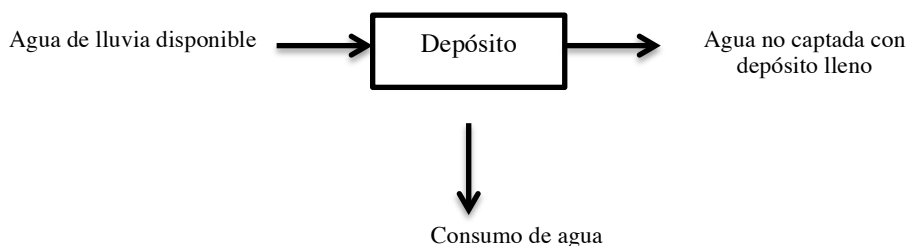
el volumen se determinó sumando el área del techo y canaletas y haciendo la relación correspondiente.

Una vez seleccionado el tanque del volumen correspondiente, a este se le perforaron dos agujeros: uno en la parte baja para la salida de agua y uno en la parte superior para la entrada de agua que viene de las canaletas. En cada agujero se colocó un adaptador macho unido a un adaptador hembra para que queden ajustados. Entre estos dos adaptadores se colocó un hule para que funcione como empaque, luego estos se pegaron con silicón para asegurarlos y evitar fugas de agua. En el agujero inferior se colocó una válvula de bola para que en su momento el barril sea vaciado.

b. Tuberías y válvula de retención. En el agujero superior del tanque se colocó un tubo unido al adaptador y un codo para unirlo con la tubería que conduce el agua desde las canaletas. Para realizar la válvula de retención se colocó una reducción unido al tubo, el tamaño del tubo y pelota debe ser el adecuado para dejar pasar agua y que la pelota se pueda mover dentro del mismo. Luego se colocó otra reducción para unir un niple que debe ser de menor diámetro por lo que la pelota plástica no puede pasar y hace que el agua no siga bajando, de esta manera la desvía hacia el tanque de almacenamiento. El procedimiento detallado junto con fotografías se encuentra en el apartado de anexos.

8. Diseño del sistema de captación de agua

a. Volumen del tanque de almacenamiento. El volumen del tanque de almacenamiento se determinó mediante la cantidad de agua de entrada y salida del tanque para determinar la acumulación de agua al mes. Las entradas y salidas que tendrá el depósito de almacenamiento se muestran a continuación:



La demanda diaria de agua es equivalente al consumo de agua mensual utilizada para las diferentes actividades propuestas.

$$\text{Demanda diaria} = \text{cantidad de agua requerida para las actividades propuestas}$$

Ecuación 9

Con los datos de la acumulación de agua por mes y la cantidad de agua requerida para cubrir la demanda se determinó el agua sobrante que deberá ser almacenada en el tanque, utilizando la ecuación a continuación.

$$\text{Agua sobrante} = \text{agua precipitada disponible} - \text{agua para cubrir demanda}$$

Ecuación 10

b. Sobredimensionamiento del tanque. Se determinó el porcentaje de sobredimensionamiento que requiere el tanque, sobre todo para los meses que no cubren la demanda de agua por lo que se requiere que los meses de mayor precipitación acumulen mayor cantidad de agua para que de esta manera se pueda cubrir la demanda. Para esto se utilizó la siguiente ecuación.

$$\% \text{ de sobredimensionamiento} = \left(\frac{\sum \text{precipitación de meses que no cubren demanda}}{12 \text{ meses}} \right) \frac{1}{\text{demanda mensual}} * 100\%$$

Ecuación 11

Finalmente, se determinó nuevamente el dimensionamiento del tanque esta vez tomando en cuenta el porcentaje de sobredimensionamiento correspondiente.

Los planos del sistema de captación de agua pluvial se encuentran en anexos inciso F.

9. Costo y evaluación del sistema de abastecimiento de agua. Conociendo las especificaciones y requerimientos para instalar el sistema completo se buscaron los materiales necesarios y sus precios correspondientes, buscando aquellos que fueran de menor precio y así determinar el costo del sistema. Se realizó un cuadro comparativo con evaluaciones económicas, sociales y ambientales para determinar factibilidad del mismo.

10. Análisis comparativo de sistemas de abastecimiento de agua instalados en Cumbre San Agustín. Se realizaron análisis cualitativos de los sistemas tomando en cuenta las ventajas y desventajas de cada sistema instalado ya que el trabajo en general tuvo como base el punto de vista cualitativo y no se contaba con suficientes datos numéricos para realizar un estudio desde el punto de vista cuantitativo.

11. Análisis fisicoquímicos. Utilizando la norma COGUANOR NGO 29 001:99 se determinaron los análisis que eran factibles llevar a cabo para conocer algunas características del agua pluvial recolectada y así determinar los posibles usos que se le pueden dar. Para el muestreo se seguirán los aspectos a continuación de manera que las muestras sean representativas para el análisis.

a. **Parámetros de estudio.** En este caso se establecieron los parámetros físico-químicos que eran factibles de analizar de acuerdo a como se dicta en la norma COGUANOR NGO 29 001:99. Debido al tiempo de transporte desde Izabal a Guatemala y las condiciones que debían tener las muestras para analizarse se decidió realizar únicamente análisis físicos y organolépticos.

b. **Tomas de muestras de agua.** Para la toma de muestras de agua se utilizaron frascos de polipropileno esterilizados con agua a más de 100°C. Se tomaron muestras del agua recolectada en el tanque de almacenamiento. Dichas muestras se guardaron en una hielera para mantenerlas a una temperatura adecuada hasta el momento de realizar las pruebas de laboratorio. Las pruebas se realizaron lo más pronto posible intentando no dejar pasar más de 24 horas a partir de la toma de la muestra.

c. **Volumen y número de muestras a determinar.** Se definirá la cantidad de muestra de agua a recoger, se debe conocer si será suficiente para llevar a cabo los análisis establecidos y repeticiones en caso necesario. La elección adecuada del mínimo de muestras a recoger y analizar deberán ser estadísticamente representativo.

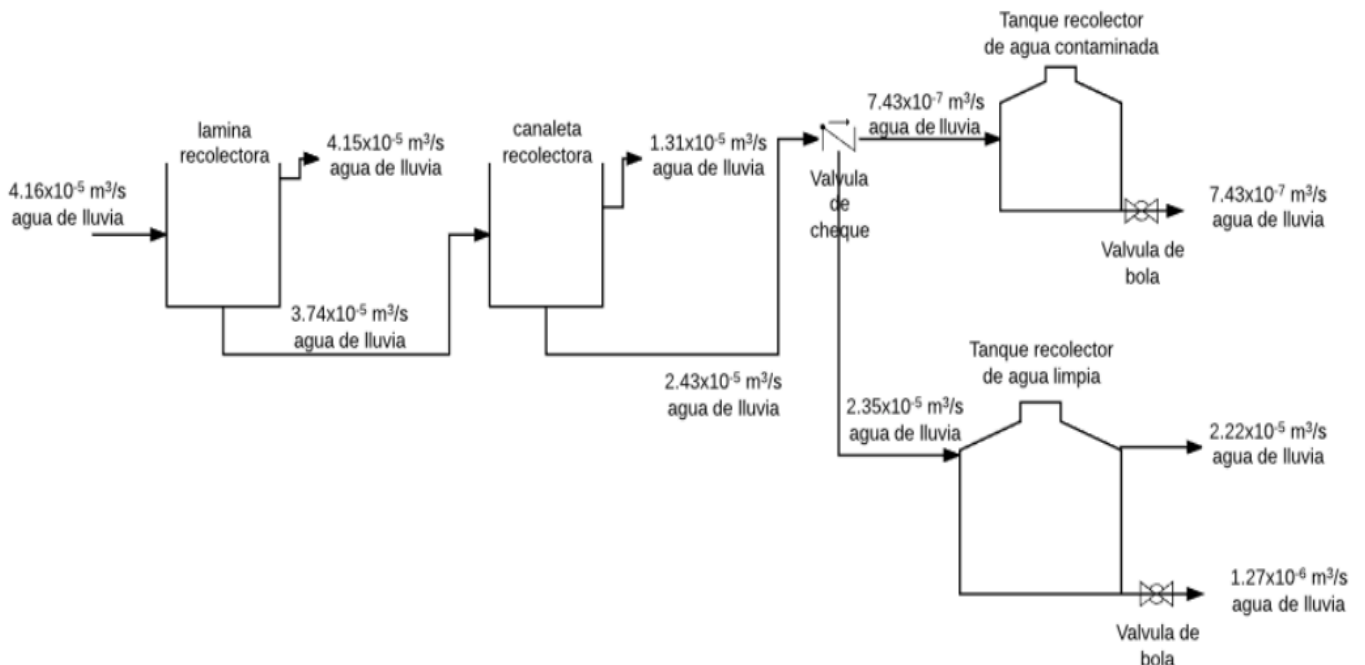
d. **Mediciones de parámetros físicos y organolépticos.** Las mediciones correspondientes se realizaron en triplicado y se siguió el procedimiento establecido en “Manual de procedimientos colorímetro HACH”. Los procedimientos se pueden observar en ilustración#12,13,14 y 15, en el apartado de anexos.

12. Elaboración de manual de mantenimiento. Junto con una persona especializada en educación se trabajó un manual que indique a los pobladores el mantenimiento del sistema, este se elaboró de manera que sea de fácil comprensión para los pobladores y posteriormente se realizó una visita en donde se presentó de forma oral dicho manual. El trabajo detallado se puede encontrar en el Megaproyecto *Diseño, implementación, mejora y capacitación para uso de sistemas de captación y tratamiento de agua en el Caserío Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal*; módulo *Proceso educativo para la formación y empoderamiento de promotores de salud*.

VII. RESULTADOS

A continuación se muestra un esquema, parte de las bases de diseño, necesario para llevar a cabo el diseño del sistema de captación de agua pluvial instalado en la Iglesia de la comunidad Cumbre de San Agustín. El esquema indica los flujos de entradas de agua de lluvia al sistema e indica las salidas de agua que representa el agua que no puede ser captada debido a rebalse.

Ilustración 8- Esquema de sistema de captación de agua pluvial a instalar en Iglesia comunal del Caserío Cumbre de San Agustín* .

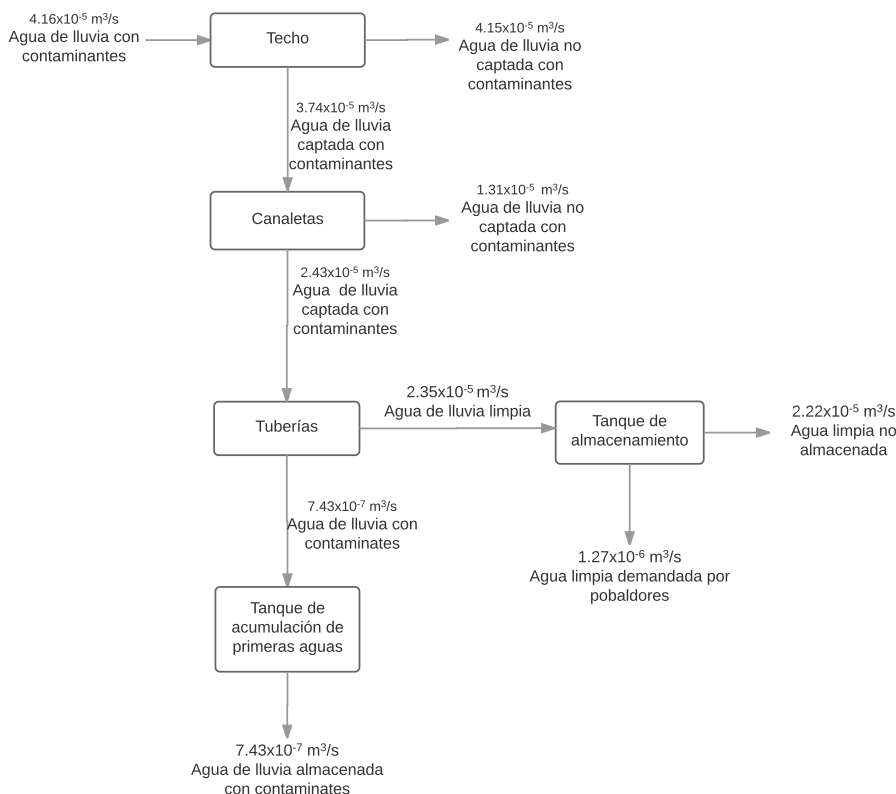


*Nota: los flujos de agua de lluvia que salen en la parte superior del símbolo de la lámina y canaleta recolectora, mostradas en el esquema, indican el agua que no puede ser captada por salpicaduras, filtración u otros fenómenos similares. El flujo que sale de la parte superior del tanque recolector de agua limpia, indica el agua que no puede ser almacenada debido a rebalse.

El flujo de salida del tanque recolector de agua contaminada indica el agua almacenada por este y que debe ser descargada después de cada lluvia, y utilizada para riego. El flujo de salida del tanque recolector de agua limpia, regulado por la válvula de bola, indica el agua almacenada, que será utilizada por los pobladores de la comunidad.

En la siguiente ilustración se muestra el balance de masa indicando los flujos de lluvia de entrada y salida en cada parte del sistema.

Ilustración 9- Balance de masa del sistema de captación de agua pluvial*.



*Nota: los flujos de agua de lluvia que salen del techo y canaleta indican el agua que no puede ser captada por salpicaduras, filtración u otros fenómenos similares. El flujo superior del tanque de almacenamiento, indica el agua que no puede ser almacenada debido a rebalse.

Las tablas# 6, 7, 8, 9 y 10 muestran los resultados de diseño de equipos necesarios para la instalación del sistema de captación de agua pluvial.

Tabla 6- Especificaciones del techo de iglesia, área de captación de agua de lluvia.

Material de techo	Lámina galvanizada
Coefficiente de escorrentia	0.9
Frente (m)	2.55 ± 5.00E-04
Largo (m)	12.00 ± 5.00E-04
Área total (m)	30.60 ± 2.00E-04
Acumulación pluvial mensual (m³/mes)	11.7 ± 2.00E-04*
Promedio de días llovidos al mes	21.75*
Promedio de hora de lluvia al día	4
Caudal recibido (m³/s)	$3.74 \times 10^{-5} \pm 2.00E-04$

*Nota: La acumulación pluvial y los días llovidos al mes son promedios de los datos de lluvia proporcionados por INSIVUMEH. Los cálculos y resultados del área de captación se basaron en datos del mes que presenta mayor cantidad de precipitaciones pluviales, siendo este el mes de Agosto, lo cual representa la cantidad máxima que podría captar el sistema.

Tabla 7- Especificaciones de canaletas*

Tipo	Canaletas de PVC cuadradas
Estilo	Colonial
Ancho (m)	0.09 ± 5.00E-04
Alto (m)	0.10 ± 5.00E-04
Largo (m)	6.00 ± 5.00E-04
Velocidad lineal de agua en canaletas (m/s)	1
Altura de llenado en canaleta (m)	0.065 ± 5.00E-04
Área de canaletas (m²)	0.009 ± 6.73E-05
Perímetro mojado (m)	0.29 ± 7.07E-04
Radio hidráulico (m)	0.031 ± 2.44E-04
Diámetro equivalente (m)	0.124 ± 2.44E-04
Caudal capaz de soportar (m³/s)	0.012 ± 2.44E-04
Cantidad de canaletas requeridas	2

*Nota: Los datos se determinaron a partir de dimensiones de canaletas pre fabricadas cuadradas estilo colonial.

Tabla 8- Especificaciones de tuberías que transportan agua de lluvia

Material	PVC
Diámetro interior (mm)	71.4
Diámetro nominal requerido (mm)	75

*Nota: El dibujo con el sistema de tuberías puede observarse en la ilustración#10.

Tabla 9- Especificaciones para determinar el volumen necesario del tanque de primeras agua

área de canaletas (m²)	9.00E-3 ± 7.47E-03
área de techo (m²)	30.60 ± 2.00E-04
área total a limpiar (m²)	30.61 ± 7.48E-03
Volumen necesario de tanque (L)	30.61 ± 7.48E-03*
Volumen de tanque instalado (L)	55
Alto de tanque (m)	0.20 ± 5.00E-04
Ancho de tanque (m)	0.10 ± 5.00E-04

*Nota: El volumen del tanque es equivalente a la superficie que debe limpiar, se requiere de 1L de agua de lluvia por cada m² de superficie a limpiar, incluyendo techo y canaletas.

Tabla 10- Especificaciones de tanque de almacenamiento

Volumen de tanque requerido (L)	280 ± 2.00E-04
Porcentaje de sobredimensionamiento de tanque	6%
Volumen final de tanque que se requiere instalar (L)	297 ± 2.00E-04*
Volumen de tanque instalado en la comunidad (L)	220
Alto de tanque	0.80 ± 5.00E-04
Ancho de tanque	0.20 ± 5.00E-04

*Nota: El volumen del tanque requerido para instalar en el sistema es de 297 L, sin embargo por factores económicos se instaló un tanque con capacidad de 220 L por lo que se requiere de otro tanque de igual volumen colocado en serie para lograr captar al menos 297 L de agua de lluvia.

Ilustración 10- Esquema con especificación de tuberías de sistema de captación de agua pluvial

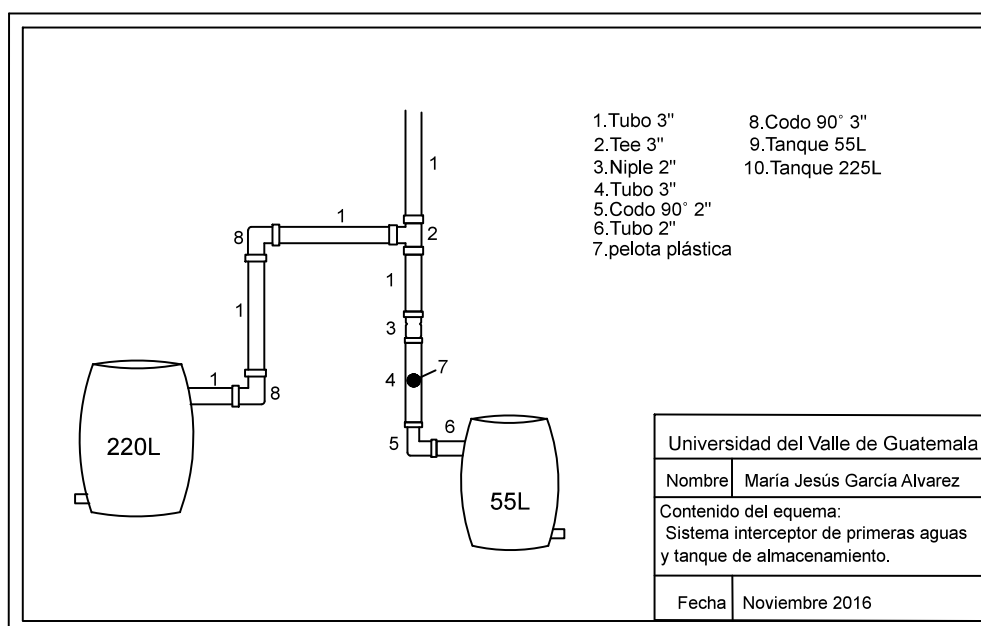


Tabla 11- Materiales y precios utilizados para la instalación del sistema de captación de agua

Material	Unidades	Costo unitario	Total
Canaletas estilo colonial	2	Q296.00	Q592.00
Tee 3"	1	Q36.00	Q36.00
Tubería 3"	1	Q79.00	Q79.00

Material	Unidades	Costo unitario	Total
Reducción 3" a 2"	3	Q7.00	Q21.00
Niple de 2"	1	Q16.00	Q16.00
Pelota de plástico	1	Q1.50	Q1.50
Codo de 90° 2"	1	Q16.00	Q16.00
Tubería de 2"	1	Q45.00	Q45.00
Coplas	3	Q1.50	Q4.50
Adaptador hembra 2"	1	Q5.00	Q5.00
Adaptador macho 2"	1	Q5.00	Q5.00
Adaptador hembra 3/4"	2	Q1.75	Q3.50
Adaptador macho 3/4"	2	Q1.75	Q3.50
Válvula de bola	2	Q15.00	Q30.00
Tubo 3/4"	1	Q19.50	Q19.50
Adaptador hembra 3"	1	Q22.00	Q22.00
Adaptador macho 3"	1	Q17.00	Q17.00
Codo 90° 3"	2	Q35.00	Q70.00
Barril 220L	1	Q274.00	Q274.00
Barril 55L	1	Q150.00	Q150.00
Total			Q1,410.50

En la siguiente tabla se presentan las evaluaciones económica, ambiental y social realizadas antes de la instalación del sistema, la cuales se tomaron en cuenta para la implementación su implementación.

Tabla 12- Evaluación para implementación de sistema de captación de agua pluvial

Evaluación económica	Evaluación ambiental	Evaluación social
<p>El agua de lluvia es un recurso gratuito.</p> <p>Se puede sustituir en actividades que no requieran de su consumo.</p> <p>Disminución de uso de agua potable u obtenida de otra forma aprovechándola para otros usos.</p> <p>Reducción de tarifa de agua potable.</p> <p>Gasto de inversión y mantenimiento.</p>	<p>Conservación de agua de ríos.</p> <p>Fomenta cultura de conservación y uso óptimo de agua.</p> <p>Utilización de materiales duraderos.</p>	<p>Aumento de disponibilidad del servicio de agua.</p> <p>Facilitación al acceso de agua.</p> <p>Mejorar la calidad de vida de los habitantes</p>

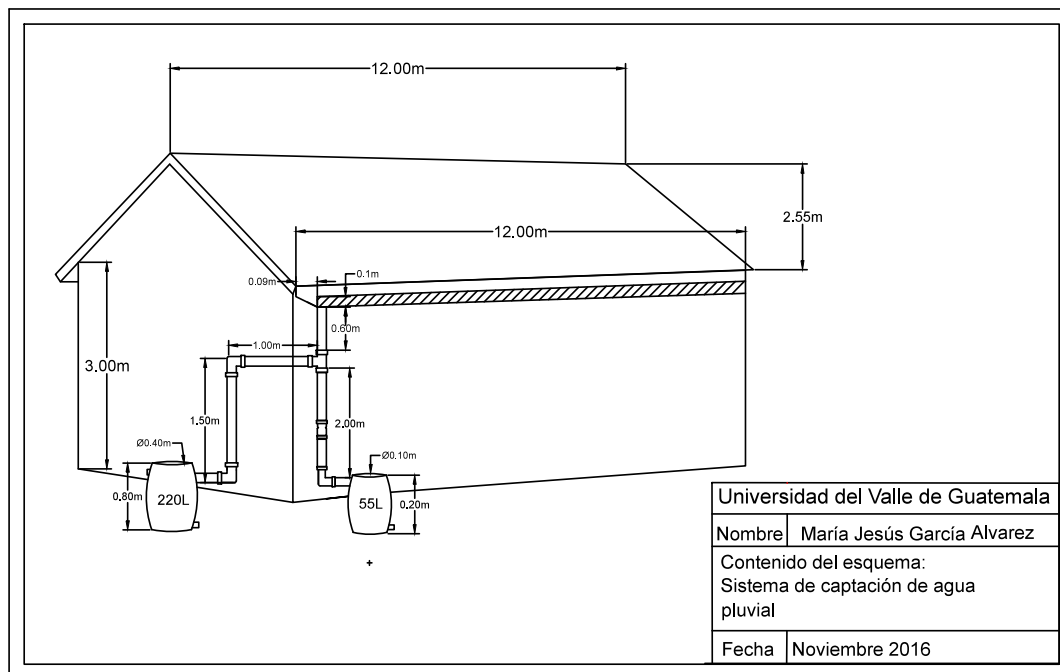
A continuación se muestran ventajas y desventajas entre el sistema de captación de agua pluvial, la bomba mecánica manual y la bomba de ariete que fueron instalados en el Caserío Cumbre de San Agustín.

Tabla 13- Comparación de los sistemas de abastecimiento de agua instalados en Cumbre de San Agustín.

Proyecto	Ventaja	Desventaja
Sistema de captación de agua pluvial	<p>Puede ser instalado en cualquier vivienda, formal o semiformal.</p> <p>Es una forma de fácil acceso al agua.</p> <p>El agua captada es menos contaminada que la del río.</p> <p>Es una forma de aprovechar agua pluvial.</p>	<p>No cubre la demanda en época seca.</p> <p>No se aconseja que se utilice para su consumo, sin embargo es preferible al agua del río.</p>
Bomba mecánica manual	<p>Aprovechamiento de alto caudal en río.</p> <p>Siempre existe un flujo continuo de río, aunque en época seca es menor.</p>	<p>Necesidad de un río cercano a viviendas.</p> <p>Solo beneficia a pobladores aledaños al río.</p> <p>En época seca el caudal del río baja considerablemente.</p> <p>Alta contaminación de agua por lo que no es apta para su consumo.</p>
Bomba de ariete	<p>No requiere energía eléctrica para funcionar.</p> <p>Trabaja únicamente con energía cinética y potencial proveída por el río.</p> <p>Funciona sin interrupción mientras el río tenga un suficiente caudal.</p>	<p>Necesidad de una alta caída de presión en el río.</p> <p>Solo beneficia a pobladores aledaños al río.</p> <p>Alta contaminación de agua pone en riesgo salud de los pobladores.</p>

La siguiente ilustración muestra el resultado del diseño del sistema de captación de agua pluvial para instalar en la iglesia comunal del Caserío Cumbre de San Agustín

Ilustración 11- Esquema del sistema de captación de agua pluvial a instalar en iglesia comunal de Caserío Cumbre de San Agustín.



La ilustración a continuación muestra el sistema de captación pluvial instalado en la iglesia comunal de Caserío Cumbre de San Agustín. El sistema se instaló con todos sus equipos y materiales requeridos como se muestra en la Ilustración #10, sin embargo se tuvieron varias limitaciones durante la instalación lo cual impidió la instalación correcta como se muestra en el esquema en la Ilustración #11 .

Para el uso y mantenimiento correcto del sistema se trabajó junto a una educadora con quien se realizaron talleres de uso y mantenimiento del sistema de fácil comprensión para los pobladores, la descripción de estos se pueden encontrar en la sección de anexos.

Ilustración 12-Sistema de captación pluvial instalado



Los siguientes son los resultados de algunos parámetros analizados del agua pluvial captada por el sistema. Se tomaron muestras en agosto, septiembre y octubre. Los resultados mostrados en la Tabla #14, son promedios de análisis realizados en triplicado.

Tabla 14- Resultados de promedios de características físicas y organolépticas del agua de lluvia captada por el sistema instalado, en los meses de agosto, septiembre y octubre.

Característica	Resultado de promedios	Desviación estándar
Olor	cumple	—
Turbidez (NTU)*	2	± 0.6
pH	7.61	± 5.77E-03
Sólidos suspendidos (mg/L)	32	± 0.58
*Unidades nefelométricas de turbiedad (NTU).		

*Nota: Estos resultados se basan en la norma COGUANOR NGO 29 001:99.

VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El objetivo del trabajo fue el diseño e implementación de un sistema de captación de agua pluvial en el caserío Cumbre de San Agustín del Municipio de Morales, Izabal. Se buscó un lugar neutral para la comunidad con el fin de no crear problema entre los pobladores y lograr que varios pudieran beneficiarse del proyecto. Para alcanzar dicho objetivo se realizaron varios viajes al caserío y así determinar el mejor lugar de implementación. Se estudiaron dos posibilidades para colocar el sistema, en la iglesia o escuela de la comunidad. Se analizaron ambas alternativas, se tenía la información de que la escuela recibe agua aunque con poca frecuencia durante la semana. Otro factor importante es que la infraestructura de la escuela es formal, con cimientos, piso, paredes de block y costaneras. La iglesia en cambio es una construcción no formal, paredes de madera rústica y techo de lámina. Se concluyó entonces que la escuela se encontraba en mejores condiciones arquitectónicas que la iglesia. De esta manera se estableció que el sistema sería instalado en la escuela, para esto se estudió a mayor detalle el área para poder implementar el sistema y lograr adaptarlo de la mejor manera.

El primer paso para llevar a cabo el proyecto fue establecer las bases de diseño, las cuales incluyen la precipitación en la zona, el tipo de material del que está construida la superficie de captación, el número de personas que serían beneficiadas y la demanda de agua.

El estudio en detalle de esta primera fase se menciona a continuación:

El primer dato recolectado fue la precipitación pluvial de Morales, obtenido a partir del informe del INSIVUMEH, dicha entidad proporcionó la precipitación pluvial diaria desde Enero de 2010 hasta Julio de 2015, las precipitaciones se miden en mm de agua, en donde 1 mm agua equivale a 1 L/m². Estos datos fueron indispensables para llevar a cabo este trabajo, de estos dependió la construcción del sistema.

Seguidamente se estudió la superficie de captación, que en este caso ya estaba construida. Esta superficie es de lámina y de dos aguas. Teniendo esta información se determinó que el coeficiente de escorrentía es de 0.9, es decir que se podrá captar 90% del agua que precipita sobre la lámina. A pesar que la infraestructura de la escuela está en mejores condiciones, la misma se encuentra ubicada junto a una montaña, por lo que se hace complicado el acceso a uno de los lados, es decir a una de las aguas de la lámina. Bajo esta consideración se decidió colocar las canaletas únicamente en un lado del techo.

La selección del tipo y tamaño de canaletas se realizó tomando en cuenta el factor económico, pues se deseaba mantener el costo del sistema lo más bajo posible. Se realizaron cotizaciones de varias canaletas, debido a la ubicación del lugar se decidió comprarlas en Morales, las canaletas más baratas encontradas fueron canaletas tipo colonial y canaletas de zinc; estas últimas fueron descartadas ya que a pesar de su bajo precio no presentan una buena resistencia. De esta manera se seleccionaron las canaletas cuadradas estilo colonial. Para determinar que el tamaño de las canaletas fuera adecuado para el caudal a recibir se calculó el caudal en las mismas, utilizando la ecuación 7. Con esto se determinó que el caudal de las canaletas es de $0.012\text{m}^3/\text{s}$, de igual manera se calculó el caudal en el techo de la escuela para así determinar que las canaletas tuvieran el tamaño adecuado para soportar el caudal que irán a recibir.

Ya que se contaba con las canaletas estas fueron colocadas en la escuela. Al realizar una siguiente visita se encontró que los pobladores habían desarmado el sistema para trasladarlo a la iglesia, misma que es considerablemente más pequeña y es una construcción rústica elaborada por los mismos pobladores. Esto implica que su infraestructura no es la más adecuada para instalar las canaletas que se colocaron inicialmente en la escuela. Al realizar varias encuestas con los pobladores se conoció que muchos de ellos preferían tener el sistema en la iglesia, a pesar de haber trabajado con el COCODE desde el inicio de este proyecto y haber acordado colocar el sistema en la escuela en consideración principalmente a su mejor infraestructura, los pobladores actuaron sin tomar en cuenta las razones que se tomaron en la primera instalación. También se dialogó con las encargadas de la escuela y dicen no haber tenido idea del proyecto a pesar que se llevaba más de un año trabajando en el mismo. Se sabía que la municipalidad de Morales también estaba involucrada sin embargo fue evidente que no le dieron seguimiento al proyecto. Lastimosamente y a pesar de todos estos inconvenientes se tuvo que seguir el trabajo con los cambios que realizaron los pobladores.

Como se mencionó, las canaletas ya estaban instaladas en la iglesia por lo que tuvo que readaptarse el sistema con base a los cambios realizados por los pobladores. Debido a que la iglesia es más pequeña que la escuela se sabía que el tamaño de las canaletas no representaría un problema, de igual manera se realizaron los cálculos correspondientes y tal como se esperaba las canaletas sí eran adecuadas y soportaban el caudal del techo de la iglesia, el cual sería de $3.74 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{s}$.

El resto de la instalación del sistema se colocó adecuándose a la manera que los pobladores habían re-instalado las canaletas, por ejemplo las canaletas fueron colocadas de tal manera que la bajada de agua quedó en la entrada de la iglesia, sin embargo se trató de re-colocarla a un costado para que no interrumpiera el paso. La iglesia tiene un techo de dos

aguas pero dado que en la escuela solo se había colocado canaletas de un lado no se contaba con más accesorios para colocar del otro lado de la iglesia.

En la segunda fase se diseñó y construyó el sistema de primeras aguas:

El volumen del tanque de primeras aguas se determinó a partir del conocimiento que se requiere de 1L de agua para limpiar una superficie de 1m^2 . Con este dato se determinó que se debía hacer limpieza tanto del techo como de las canaletas, estas pueden estar expuestas a varios contaminantes antes del inicio de la lluvia. Esto puede incluir polvo o tierra, musgo, hojas o incluso desechos fecales de insectos o pájaros. Se determinó que la superficie total a limpiar era de 30.61m^2 , lo cual dio como resultado un volumen de tanque de 30.61L, se buscaron y cotizaron tanques del volumen deseado. El tanque que más se adecuaba era un barril de 55L de boca abierta. Como se requería limpiar 30.61L el tanque se construyó de manera que únicamente acumulara aproximadamente 32L.

Previo a la instalación cabe mencionar que se hizo una prueba del funcionamiento del sistema. Se compró el material necesario, todo se realizó como se describe en la metodología. Inicialmente se quiso trabajar con una pelota de hule, sin embargo esta no dio buenos resultados ya que era muy pesada y el agua no logró subirla a flote para tapar la tubería, mecanismo que hace desviar el agua al tanque de almacenamiento. Se optó por probar con pelotas plásticas y sí funcionó adecuadamente por lo que se dejó de esa manera. La pelota de plástico presentó el peso adecuado para que flotara en el agua y tapara la tubería en la que se encontraba para así desviar el agua al tanque de almacenamiento. Debido a que se contaba con una tubería de conducción de 3 pulgadas se debió hacer un ajuste y reducción de diámetros de tuberías para que la pelota quedara justa en la tubería.

Una vez asegurado el funcionamiento del sistema se pegaron las piezas PVC, exceptuando las partes que deben de separarse para lograr el mantenimiento del sistema siendo estas los tanques de primeras aguas y de almacenamiento y la tubería donde se encuentra la válvula de retención. Es importante mencionar que el tanque de primeras aguas debe vaciarse constantemente para asegurar que la limpieza del área de captación se realice adecuadamente por lo que se dejó a una persona encargada para esto. El detalle de la construcción del tanque se encuentra en el apartado de metodología y anexos.

Para evaluar la dimensión del tanque de almacenamiento se requirió conocer la precipitación pluvial en el lugar a partir de los datos que se obtuvieron desde un inicio por el INSIVUMEH. Se determinó la precipitación promedio mensual, tal como se esperaba se obtuvo que los meses de la época seca marzo y abril son los que presentan una baja precipitación durante el año. Esto es un factor a tomar en cuenta ya que generalmente durante esta época no se cubren las demandas de agua.

La última fase del proyecto se describe a continuación:

Para determinar el volumen del tanque de almacenamiento se realizó un balance de masa determinando la cantidad de agua que entraría al tanque y la cantidad de agua que saldría de este y así conocer la cantidad de agua que sería acumulada, la cual representa el volumen del mismo.

Se determinó la cantidad de agua que podía ser captada mensualmente siendo el mes de agosto en donde se tendrá una mayor captación de agua y abril tendrá la menor captación de agua. Seguidamente se estimó una demanda de agua de acuerdo a los posibles usos que se le dará al agua. Como se determinó anteriormente el agua no podría tener uso bebible por lo que se propone que se use para limpieza de la iglesia, riego de plantaciones de alrededor u otras actividades similares. Con base a estas actividades se dio como propuesta una demanda de agua de 110L/día. Conociendo la entrada y salida de agua mensual se determinó el agua sobrante mensual.

En los meses de marzo y abril se presentaron valores negativos, lo cual indica que durante estos meses no se cubre la demanda de agua. El mes de febrero presentó un valor muy cercano a cero, por lo que cubriría la demanda pero sería muy justo. Tomando en cuenta esto se realizó un sobredimensionamiento a partir de los datos negativos obtenidos, suponiendo que en los meses de mayor precipitación se pueda captar el agua que no puede ser captada en los meses de la época seca. Como resultado de este análisis se obtuvo que se requería de un sobredimensionamiento de 6%. Finalmente se determinó el volumen final del tanque de almacenamiento, el cual estaba determinado por el mes que presenta mayor precipitación pues este representa la cantidad máxima que puede ser captada. El volumen del tanque es de 297L, conociendo este dato se buscaron y cotizaron barriles de diferentes empresas. Se optó por comprar a Lacoplast, quienes contaban con barriles de diferentes tamaños. Se seleccionó un barril de 220L de boca ancha, para el sistema se requería de al menos dos barriles, sin embargo por factores económicos solo pudo comprarse un barril.

Una vez se obtuvo el barril este tuvo que adaptarse al sistema. Se realizaron dos agujeros en la parte superior del tanque, uno de entrada de agua la cual conectaba al desvío del sistema de primera agua y el otro agujero se realizó como rebalse, como se mencionó, la cantidad a captar en los meses de lluvia será mayor al volumen del barril por lo que podría rebalsarse, además también se hizo tomando en cuenta los fenómenos meteorológicos que pueden presentarse en el país tal como "La Niña", en donde la precipitación pluvial será incrementada y el sistema podría no darse abasto. Este rebalse se construyó de tal manera para que en un futuro puedan colocarse tanques en serie y poder tener una mayor captación y aprovechamiento de agua. Al agujero se le colocó una malla para evitar el ingreso de sustancias contaminantes o insectos y lograr mantener más limpia el agua dentro del tanque.

Al mismo tanque se le realizó un agujero en la parte inferior para la salida de agua. Aquí se colocó una válvula que será en donde los pobladores podrán obtener el agua, el agujero se colocó lo más bajo posible para poder vaciar el tanque. Sin embargo se observó que era más adecuado construir y adaptar una bomba manual que saque el agua desde la parte superior del tanque. Por el momento el tanque fue colocado en alto para que fuera más fácil la obtención del agua, pero se debe considerar si queda la posibilidad de colocar una bomba en la tapadera del tanque.

La construcción del sistema de primeras aguas y el tanque de almacenamiento se realizaron antes de llegar a la comunidad ya que se requería de algunos materiales y servicios eléctricos que no se cuentan en el lugar, esto causó ciertos problemas ya que al momento de llegar a la aldea se encontraron otras dificultades. Un problema fue que el agujero en la parte superior del tanque de almacenamiento quedó levemente inclinado de tal manera que el tubo que se uniría con el sistema que venía de las canaletas quedaba inclinado, para lograr colocarlo de una manera adecuada se optó por colocar la tubería inclinada utilizando codos de 45°, que dio solución al problema.

Se determinó el costo total del sistema con el fin de conocer la viabilidad del proyecto y que en algún momento se pueda replicar, sobre todo como proyecto de desarrollo comunitario por parte de la municipalidad de Morales. En la tabla#11 se puede observar el detalle de los materiales utilizados y su precio. Se determinó que el sistema tiene un costo de Q.1,410.50, gasto que definitivamente los pobladores no pueden cubrir. Es un proyecto que puede ser utilizado por parte de la Municipalidad de Morales y de otras regiones del país para acoplarlo a diferentes comunidades carentes de agua. De acuerdo con el Plan de Desarrollo de Morales, 2010 (PDM), el 21% de viviendas en el área rural de Morales no cuentan con el servicio de agua.

Como parte de la determinación de factibilidad del sistema se realizó una evaluación económica, ambiental y social al sistema de captación de agua pluvial. A partir de esto se hizo evidente la existencia de una necesidad no satisfecha en la carencia de servicio de agua y el sistema propone solucionar dicho problema. Un análisis de este tipo corrobora ventajas económicas, sociales y ambientales del proyecto. El sistema propuso una forma fácil de obtener el agua, el cual es un servicio esencial del que carecen los pobladores. La evaluación detallada se puede observar en la Tabla No.12.

Se realizó un análisis comparativo de los sistemas de abastecimiento de agua instalados en Caserío Cumbre de San Agustín. los análisis se basaron mayormente en un análisis cualitativo en donde se determinaron las ventajas y desventajas de cada sistema. Los resultados se pueden observar en la Tabla No. 13.

Es evidente que cada sistema de abastecimiento de agua tiene sus ventajas y desventajas. Desde el punto de vista económico una bomba mecánica manual o de ariete es más económica ya que requiere de menos materiales de construcción que un sistema de recolección de agua. Además el flujo de agua obtenido por el sistema de captación pluvial es menor que un flujo bombeado desde el río ya que el río provee un flujo de agua continuo mientras que la lluvia únicamente se da durante ciertas horas al día.

Sin embargo, un sistema de captación de agua pluvial tiene la ventaja que puede instalarse en cualquier tipo vivienda beneficiando a los habitantes de la misma, a diferencia de las otras bombas que requieren de un río cercano e incluso una caída de presión para poder aprovechar dicha agua. En tal caso, las bombas fueron de beneficio únicamente para los pobladores aledaños al río.

En el caso del Caserío Cumbre de San Agustín, el sistema beneficia a aquellas personas con viviendas lejanas al río facilitándoles el acceso de agua para que de esta manera no deban recorrer kilómetros cargando agua para realizar sus actividades diarias. Además es una forma de aprovechar una fuente que muchas veces no se toma en cuenta como una forma de obtención de agua. Este sistema puede ser replicable en cualquier vivienda y cualquier población con problemas de acceso al líquido.

El sistema instalado tiene como fin que los pobladores se beneficien de este servicio. Sin embargo, no es necesariamente apta para consumo humano. El agua puede contener partículas de contaminación urbana y presentar acidez. Para tener una mejor idea de la composición del agua se realizaron pruebas de características físicas y organolépticas basándose en la Norma COGUANOR, en donde se establecen los rangos aceptables de la composición de agua potable. En la Tabla No. 14 se puede observar los resultados obtenidos de las pruebas que pudieron realizarse. El agua presentó una turbidez de 2 NTU dicho valor se encuentra dentro del rango establecido por la norma. El potencial de hidrógeno en el agua es de 7.61, el cual se encuentra dentro del límite máximo permisible pero fuera del límite máximo aceptable. Y los sólidos suspendidos fueron de 32 mg/L, lo cual también se encuentra dentro del límite máximo permisible. De acuerdo a los resultados, los parámetros evaluados se encuentra dentro o cercanos al límite aceptable sin embargo se requiere de un análisis más completo y detallado para determinar si el agua cuenta con otro tipo de contaminantes y conocer que tipo de tratamientos se le pueden dar para que pueda ser utilizada para consumo humano. Cabe mencionar que estos resultados pueden variar de acuerdo a la época del año, ya que en el mes de mayo, en el cual se presentan las primeras lluvias de la época lluviosa esta puede presentarse más ácida y no cumplir con los parámetros de la norma. Por lo que es importante que se realicen análisis durante varias épocas al año para conocer la calidad de agua según la época correspondiente.

Es indispensable que los pobladores tomen en cuenta la importancia del mantenimiento del sistema. Se requiere de limpieza en las tuberías, asegurar que las hojas de árboles cercanos no tapen el sistema, que los tanques se encuentren cerrados todo el tiempo para evitar el paso de contaminantes o que propicie la reproducción de insectos. Para esto se trabajó en conjunto con una Profesional de Educación quien se encargó de facilitar a los pobladores la capacitación educativa relacionada con el uso y mantenimiento adecuado.

IX. CONCLUSIONES

Se instaló un sistema de captación de agua pluvial en la iglesia comunal del Caserío Cumbre de San Agustín con un tanque de almacenaje de 220 L, sin embargo el sistema podría llegar a almacenar hasta 297 L de agua pluvial en época lluviosa. Debido a factores económicos se colocó únicamente un tanque de 220 L, pero se requiere de otro tanque de igual volumen para satisfacer una demanda diaria de 110 L de agua, la cual según las muestras analizadas posteriormente a la instalación del sistema, cumplen con las características físicas y organolépticas regidas por la norma COGUANOR NGO 29 001:99, siendo estas olor no rechazable, turbidez de 2 NTU, pH de 7.61 y sólidos suspendidos 32 mg/L.

El sistema instalado de primeras aguas tiene una capacidad de 30.61L, ya que debe limpiar una superficie de 30.61m^2 , esto asegura que no se hayan arrastrado contaminantes y sustancias no deseadas al tanque de almacenamiento.

El costo total del sistema de captación de agua pluvial instalado con capacidad de almacenar 220 L es de Q.1,410.50, el cual incluye todos los accesorios, tuberías y tanques necesarios para el funcionamiento adecuado del mismo.

Los análisis comparativos entre el sistema de abastecimiento de agua pluvial con las bombas de captación de agua de río determinaron que un sistema de captación de agua pluvial puede adaptarse a cualquier tipo de vivienda beneficiando a sus habitantes facilitándoles el acceso a este servicio. Y utilizar el agua de lluvia para su consumo en vez de agua de río disminuye el riesgo de enfermedades para los pobladores de la comunidad.

X. RECOMENDACIONES

Realizar mejoras al sistema presentado, incluyendo otro tanque de almacenamiento de agua colocado en serie al ya instalado para almacenar mayor cantidad de agua, instalar una bomba manual al tanque de almacenamiento para que las personas puedan tomar agua de una forma fácil y práctica, colocar bases metálicas a los tanques para que se encuentren seguros y modificar la válvula de retención colocándola en la tubería horizontal en la entrada del tanque de acumulación de primeras aguas para asegurar que el sistema de retención de impurezas tenga un mejor funcionamiento y mayor duración.

Utilizar el diseño del sistema de captación de agua pluvial presentado en este trabajo para adecuarlo a otras viviendas, tomando en cuenta sus materiales de construcción y dimensiones y realizar las mejoras recomendadas para beneficiar a más pobladores; tanto en esta comunidad como en otras áreas del país que carecen de servicio de agua.

Realizar un análisis completo de calidad al agua basándose en la norma COGUANOR NGO 29 001:99, para determinar el tipo de contaminantes que puede tener presentes y el tratamiento adecuado que pueda dársele para que el agua pluvial captada pueda tener fines potables y no represente ningún riesgo a los pobladores.

XI. BIBLIOGRAFÍA

1. Bartle, Phil. 2007. *Fuentes de agua potable*. <http://cec.vcn.bc.ca/mpfc/modules/wat-sous.htm> [25 de Junio de 2015]
2. Caballeros, Marlin. 2014. Análisis preliminar del estado físico, químico y microbiológico las fuentes de agua del Caserío Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal. Tesis Universidad del Valle de Guatemala. 70 págs.
3. Colom, E. 2010. Propuesta para actualizar los contenidos de Política Nacional y Estrategia Nacional de Gestión Integrada de los Recursos hídricos de SEGEPLAN., 2006. GEA/BID. Guatemala. 35 págs.
4. Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Morales. 2010. Plan de Desarrollo Municipal Morales, Izabal, años 2011 a 2025. Guatemala. 104 págs.
5. Enciclopedia de Guatemala. 1998. Grupo Editorial Océano. Barcelona: Océano. 2 vols
6. Gobierno de la República. 2011. *Política Nacional del Agua de Guatemala y su Estrategia*. Guatemala. 48 págs.
7. Gudiel, Juan; J. Shin. 2015. Diseño, implementación, mejora y capacitación para uso de sistemas de captación y tratamiento de agua en el Caserío Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal. Megaproyecto Universidad del Valle de Guatemala. 245 págs.
8. Hill, John; D. Kolb. 1999. *Química para el nuevo milenio*. 8ª ed. México, D.F. : Prentice Hall. 704 págs.
9. Jimenez, Blanca. 2005. *La contaminación ambiental en México*. Causas, efectos y tecnología apropiada. México, D.F. : Limusa. 926 págs.
10. Kumar, K. 2002. Rain water harvesting and conservartion manual. Nueva Delhi: Departamento de trabajos públicos. 84 págs.
11. Lentini, E. 2010. Servicios de agua potable y saneamiento en Guatemala: beneficios potenciales y determinantes de éxito. CEPAL-UN/GTZ, Colección de documentos de proyecto CEPAL, Santiago de Chile. 95 págs.
12. McCabe, Warren; J. Smith y P. Harriot. 2007. Operaciones unitarias en ingeniería química. McGraw-Hill Interamericana Editores. México, D.F. 1189 págs.
13. Municipalidad de Morales. 2010. Convenio 03-3013-2010-Estrategia de agua y saneamiento. Municipalidad de Morales y plan internacional INC. Unidad de programa Gualán. Aldea Cumbre de San Agustín. 29 págs.

14. Nájera, Michelle. 2014. Diseño de sistema de captación y almacenaje de agua pluvial por medio de una nueva tipología estructural del techo de las viviendas del Caserío Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal. Tesis Universidad del Valle de Guatemala. 60 págs.
15. Organización Panamericana de Salud.
http://www.paho.org/gut/index.php?option=com_joomlabook&Itemid=221
16. Pastor, Andrea, *et al.* 2014. *Ciencias aplicadas I*. Madrid: Paraninfo. 409 págs.
17. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. 2013. Guatemala.
<http://www.gt.undp.org/>
18. SEGEPLAN. 2006. Política nacional de gestión integrada de los recursos hídricos (PNGIRH) y de la Estrategia nacional de gestión integrada de los recursos hídricos (ENGIRH). SEGEPLAN. Guatemala. 33 págs.
19. UNATSABAR, 2011. Guía de diseño para captación del agua de lluvia.
http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/sanea/ettanque_septico.pdf [15 de Junio de 2015]
20. Valtueña, José. 2002. *Enciclopedia de la ecología y la salud*. Madrid: Editorial Safeliz. 421 págs.

XII. ANEXOS

A. CÁLCULOS DE MUESTRA

1. Precipitación promedio mensual. Se obtuvieron los milímetros de agua precipitados al día en Morales, Izabal; estos datos fueron proporcionados por el INSIVUMEH y se analizó desde Enero de 2011 hasta julio de 2015, a partir de esto se realizó un promedio de los milímetros precipitados al mes durante los cinco años analizados para así determinar la precipitación promedio mensual en el lugar. A continuación se muestra un ejemplo para el año 2011.

Tabla 15- Precipitación promedio mensual en el año 2011

Año 2011	
Mes	Precipitación mensual (mm agua)
Enero	96.3
Febrero	60.3
Marzo	107.7
Abril	8.3
Mayo	100
Junio	214.9
Julio	193.5
Agosto	223.5
Septiembre	311.5
Octubre	231.6
Noviembre	113.9
Diciembre	122.7

Se realizó el mismo cálculo para todos los meses de los cinco años analizados, estos se pueden observar en la Tabla#17.

Tabla 16- Promedio de precipitaciones en el mes de enero de los cinco años analizados

Año	Precipitación en enero (mm agua/mes)
2011	96.3
2012	197.5
2013	106.3
2014	114.4
2015	229.3
Promedio	148.76

Se obtuvo la precipitación mensual de los cinco años analizados. La Tabla # 16 muestra los resultados del mes de enero para los cinco años. Los resultados del promedio de precipitación mensual durante los años 2011 a 2015 se pueden observar en la Tabla#17.

2. Acumulación de lluvia mensual. A partir de los promedios mensuales de precipitaciones de los cinco años evaluados, el material del área de captación y el coeficiente de escorrentía del mismo, se determinó la cantidad de agua que sería captada por el techo de la iglesia.

$$A_m = P_m * A_c * C_e \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

A_m = acumulación de lluvia mensual (m^3 /mes)

P_m = Precipitación mensual (L/m^2)

A_c = área de captación (m^2)

C_e = coeficiente de escorrentía

De la literatura (UNATSABAR, 2011) se sabe que 1mm de agua precipitada equivale a 1L por m^2 de superficie. $1mm \text{ agua} = 1 \frac{L}{m^2}$

Ejemplo para el mes de enero:

$$A_m = 148.8 \frac{L}{m^2} * 30.6m^2 * 0.9 = 4,097.9L$$

$$A_m = 4,097.9L * \left(\frac{1m^3}{1000L} \right) = 4.1m^3$$

La acumulación de lluvia mensual durante todos los meses se detalla en la Tabla#18.

3. **Determinación de canaletas.** Se seleccionaron las canaletas prefabricadas estilo colonial, ya que estas reducían el costo del sistema y cumplían con el caudal que se tendrá durante la captación de agua.

a. **Determinación de caudal en canaletas.** Se seleccionaron canaletas prefabricadas por fines de minimizar costos del sistema. Se prefirió utilizar canaletas cuadradas estilo colonial, las cuales son las de menor precio. Dichas canaletas tienen un tamaño de 0.10mx0.09m, se calculó el caudal máximo que son capaces de soportar y así se determinó si era capaz de soportar el caudal de agua proveniente del techo de la iglesia.

El caudal de las canaletas se determinó mediante las siguientes ecuaciones:

1) **Altura de llenado:** Se determinó la altura de llenado de las canaletas, asumiendo un 65% de llenado de las mismas.

$$h(m) = \text{altura de canaleta}(m) * \% \text{ de llenado} \quad \text{Ecuación 13}$$

$$h = 0.1 \pm 5.00 \times 10^{-4} m * 65\% = 0.065 \pm 5.00 \times 10^{-4} m$$

2) **Área de canaletas**

$$A(m^2) = \text{alto}(m) * \text{ancho}(m) \quad \text{Ecuación 14}$$

$$A = 0.1 \pm 5.00 \times 10^{-4} m * 0.09 \pm 5.00 \times 10^{-4} m = 9 \times 10^{-3} \pm 6.73 \times 10^{-5} m^2$$

3) **Perímetro mojado de canaleta**

$$P(m) = (2 * \text{alto})m + \text{ancho}(m) \quad \text{Ecuación 15}$$

$$P = (2 * 0.1m \pm 5.00 \times 10^{-4}) + (0.09 \pm 5.00 \times 10^{-4} m) = 0.29 \pm 7.07 \times 10^{-4} m$$

4) **Radio hidráulico**

$$r_H(m) = \frac{\text{área}(m^2)}{\text{perímetro mojado}(m)} \quad \text{Ecuación 16}$$

$$r_H = \frac{9 \times 10^{-3} \pm 6.73 \times 10^{-5} m^2}{0.29 \pm 7.07 \times 10^{-4} m} = 0.031 \pm 2.44 \times 10^{-4} m$$

5) Diámetro equivalente

$$D_{eq}(m) = 4 * r_H(m) \quad \text{Ecuación 17}$$

$$D_{eq} = 4 * (0.031 \pm 2.44 \times 10^{-4} m) = 0.124 \pm 2.44 \times 10^{-4} m$$

6) Caudal de canaleta. Como base de diseño y considerando el tipo de fluido con el que se está trabajando, la velocidad lineal se toma como 1m/s.

$$Q \left(\frac{m^3}{s} \right) = \frac{\pi}{4} * (D_{eq}(m))^2 * v \left(\frac{m}{s} \right) \quad \text{Ecuación 18}$$

$$Q = \frac{\pi}{4} * (0.124 \pm 2.44 \times 10^{-4} m)^2 * \left(1 \frac{m}{s} \right) = 0.012 \pm 2.44 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

b. Caudal en área de captación. Para determinar si la canaleta puede soportar el caudal del agua captada por el techo, se determina el caudal en el techo. El abastecimiento máximo se da en el mes de agosto por lo que se calcula con dicho valor pues este es el valor máximo que deberá soportar.

De este mes se determinó la cantidad de días que presentan precipitación a partir de los datos de INSIVUMEH, estos datos se pueden observar en la Tabla# 20. Con esto se hizo un aproximado de las horas de lluvia al día para luego determinar el caudal que sería recibido por segundo.

Acumulación en agosto: $11.7 m^3/mes$

$$Q \left(\frac{m^3}{s} \right) = \frac{11.7 \pm 2.00 \times 10^{-4} m^3}{mes} * \frac{1 mes}{21.75 días} * \frac{1 día}{4 horas} * \frac{1 hora}{3,600s} = 3.74 \times 10^{-5} \pm 2.00 \times 10^{-4} m^3/s$$

Ecuación 19

La Tabla# 21 muestra datos para todos los meses del año, sin embargo los cálculos se basan en el dato del mes de agosto.

4. Volumen de tanque de acumulación de primeras aguas. Para determinar el volumen del tanque para primeras aguas se requiere conocer el área de limpieza que incluye el área de captación y el área de las canaletas que conducen el agua.

$$\text{área de canaletas} = 9.00 \times 10^{-3} \pm 6.73 \times 10^{-5} \text{m}^2$$

$$\text{área de captación} = 30.60 \text{m}^2 \pm 2.00 \times 10^{-4}$$

Según (UNATSABAR, 2011), para limpiar 1m^2 se requiere de 1L de agua. Por lo que el área total de limpieza es la suma del área de canaletas y del techo.

$$\text{área total} = \text{área de canaletas} + \text{área de captación} \quad \text{Ecuación 20}$$

$$\text{área total} = 9.00 \times 10^{-3} \pm 6.73 \times 10^{-5} \text{m}^2 + 30.60 \pm 2.00 \times 10^{-4} \text{m}^2 = 30.61 \pm 2.11 \times 10^{-4} \text{m}^2$$

Sabiendo que la relación de limpieza es 1L de agua para 1m^2 de superficie.

$$\text{Volumen de tanque} = 30.61 \pm 2.11 \times 10^{-4} \text{m}^2 * \left(\frac{1\text{L}}{1\text{m}^2} \right) = 30.61 \pm 2.11 \times 10^{-4} \text{L}$$

Ecuación 21

5. Determinación de demanda de agua. Una persona promedio consume de 100-150L/día considerándose un consumo normal. El agua captada puede tener uso para limpieza lo cual requiere de aproximadamente 10L y se destinan 100L a otras actividades. De esta manera se determinó una demanda diaria de 100L, por lo que la demanda de agua al mes es:

$$110 \frac{\text{L}}{\text{día}} * \left(\frac{30 \text{días}}{1 \text{mes}} \right) * \left(\frac{1 \text{m}^3}{1000 \text{L}} \right) = 3.3 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} \quad \text{Ecuación 22}$$

6. Volumen de tanque de almacenamiento. El volumen de tanque de almacenamiento se realizó a partir de un balance de masa en donde se determinó la acumulación o captación de agua pluvial, la cantidad que sería demandada y la cantidad de agua sobrante. Esto se realizó para todos los meses del año utilizando los datos de la acumulación de lluvia mensual.

$$\text{Agua sobrante} = \text{agua precipitada disponible} - \text{agua para cubrir demanda}$$

Ecuación 23

La Tabla# 22 muestra los resultados obtenidos para todos los meses del año. A continuación se muestra un ejemplo del mes de agosto, mes con mayor precipitación pluvial.

$$\text{Agua sobrante} = 11.7 \pm 2.00 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} - 3.3 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} = 8.4 \pm 2.00 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{mes}}$$

Por lo que la acumulación diaria en el tanque sería,

$$8.4 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} * \left(\frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}} \right) = 0.28 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \text{ ó } 280 \pm 2.00 \times 10^{-4} \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

a. Sobredimensionamiento del tanque: Fue necesario realizar un sobredimensionamiento del tanque debido que los meses de marzo y abril no cubren la demanda de agua.

$$\% \text{ de sobredimensionamiento} = \frac{\left(\frac{\sum \text{precipitación de meses que no cubren demanda}}{12 \text{ meses}} \right)}{\text{demanda mensual}} * 100\% \quad \text{Ecuación 24}$$

$$\% \text{ de sobredimensionamiento} = \frac{\left(\frac{2.37}{12 \text{ meses}} \right)}{3.3} * 100\% = 6\%$$

Con este dato se realiza de nuevo el dimensionamiento del volumen del tanque de almacenamiento con el porcentaje correspondiente de sobredimensionamiento. Los resultados se pueden observar en la Tabla# 23.

Ejemplo del mes de agosto, mes con mayor precipitación pluvial.

Sabiendo el volumen del tanque es $0.28 \text{m}^3/\text{día}$ se calcula el 6% de sobredimensionamiento de este.

Por lo que la acumulación diaria en el tanque sería,

$$0.28 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} + \left(0.28 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * 6\% \right) = 0.297 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \text{ ó } 297 \pm 2.00 \times 10^{-4} \frac{\text{L}}{\text{día}} \quad \text{Ecuación 25}$$

Para determinar el volumen se utiliza el resultado del mes que presenta mayor precipitación, siendo este el mes de agosto. Por lo que el volumen del tanque es de 297L.

B. DATOS CALCULADOS

Tabla 17- Promedio de precipitaciones mensuales del año 2011 a 2015 (mm agua o L/m²)

Mes	Año					Promedio mensual
	2011	2012	2013	2014	2015	
Enero	96.3	197.5	106.3	114.4	229.3	148.8
Febrero	60.3	129.2	77.7	196.3	144.1	121.5
Marzo	107.7	58.0	51.7	96.7	250.7	113.0
Abril	8.3	36.0	9.2	98.1	51.0	40.5
Mayo	100.0	175.6	157.5	225.5	34.4	138.6
Junio	214.9	288.5	1052.0	137.3	146.2	367.8
Julio	193.5	188.1	1202.0	192.7	143.0	383.9
Agosto	223.5	142.3	1112.0	224.6	—	425.6
Septiembre	311.5	193.4	704.5	339.0	—	387.1
Octubre	231.6	294.3	189.0	378.7	—	273.4
Noviembre	113.9	113.6	167.5	296.6	—	172.9
Diciembre	122.7	72.2	267.5	231.0	—	173.4

Estos datos fueron obtenidos a partir de informes proporcionados por INSIVUMEH.

Tabla 18- Acumulación mensual de agua de lluvia en techo de iglesia comuna

Mes	Acumulación (m ³ /mes)	
Enero	4.1	± 2.00E-04
Febrero	3.3	± 2.00E-04
Marzo	3.1	± 2.00E-04
Abril	1.1	± 2.00E-04
Mayo	3.8	± 2.00E-04
Junio	10.1	± 2.00E-04
Julio	10.6	± 2.00E-04
Agosto	11.7	± 2.00E-04
Septiembre	10.7	± 2.00E-04
Octubre	7.5	± 2.00E-04
Noviembre	4.8	± 2.00E-04
Diciembre	4.8	± 2.00E-04

Tabla 19- Datos requeridos para determinación de caudal en canaleta

Característica	Resultado
Altura (m)	0.10
Ancho (m)	0.09
Velocidad lineal (m/s)	1
Altura de llenado (m)	0.065
Área de canaletas (m ²)	0.009
Perímetro mojado (m)	0.29
Radio hidráulico (m)	0.031
Diámetro equivalente (m)	0.124
Caudal (m ³ /s)	0.012

Tabla 20- Cantidad de días que presentan lluvia al mes durante los 5 años analizados

Mes	Año					Promedio mensual
	2011	2012	2013	2014	2015	
Enero	12	19	22	17	25	19
Febrero	14	18	8	17	12	14
Marzo	13	12	12	9	15	12
Abril	8	9	6	17	7	9
Mayo	8	18	11	17	9	13
Junio	19	25	21	15	25	21
Julio	27	25	23	17	12	21
Agosto	21	24	21	21	—	22
Septiembre	23	21	17	24	—	21
Octubre	18	24	22	24	—	22
Noviembre	18	23	17	18	—	19
Diciembre	19	16	20	22	—	19

Tabla 21- Caudal recibido en área de captación a partir de acumulación de lluvia

Mes	Promedio de días llovidos al mes	Precipitación (m ³ /mes)	Caudal (m ³ /s)	
Enero	19.00	4.1	1.50E-05	±2.00E-04
Febrero	13.80	3.3	1.68E-05	±2.00E-04
Marzo	12.20	3.1	1.77E-05	±2.00E-04
Abril	9.40	1.1	8.24E-06	±2.00E-04
Mayo	12.60	3.8	2.10E-05	±2.00E-04
Junio	21.00	10.1	3.35E-05	±2.00E-04
Julio	20.80	10.6	3.53E-05	±2.00E-04
Agosto	21.75	11.7	3.74E-05	±2.00E-04
Septiembre	21.25	10.7	3.48E-05	±2.00E-04
Octubre	22.00	7.5	2.38E-05	±2.00E-04
Noviembre	19.00	4.8	1.74E-05	±2.00E-04
Diciembre	19.25	4.8	1.72E-05	±2.00E-04

Tabla 22- Determinación de agua sobrante en tanque de almacenamiento

Mes	Precipitación (m ³ /mes)	Agua para cubrir demanda (m ³ /mes)	Agua sobrante (m ³ /mes)	Agua sobrante (m ³)/día
Enero	4.1	3.3	0.80	0.03
Febrero	3.3	3.3	0.05	0.00
Marzo	3.1	3.3	-0.19	-0.01
Abril	1.1	3.3	-2.18	-0.07
Mayo	3.8	3.3	0.52	0.02
Junio	10.1	3.3	6.83	0.23
Julio	10.6	3.3	7.27	0.24
Agosto	11.7	3.3	8.42	0.28
Septiembre	10.7	3.3	7.36	0.25
Octubre	7.5	3.3	4.23	0.14
Noviembre	4.8	3.3	1.46	0.05
Diciembre	4.8	3.3	1.47	0.05

Tabla 23- Sobredimensionamiento en tanque de almacenamiento

Mes	Precipitación (m ³ /mes)	Agua demandada (m ³ /mes)	Agua sobrante (m ³ /mes)	Sobre dimensión (m ³ /día)	Sobre dimensión (L/día)
Enero	4.1	3.3	0.80	0.028	28.2
Febrero	3.3	3.3	0.05	0.002	1.6
Marzo	3.1	3.3	-0.19	-0.007	-6.7
Abril	1.1	3.3	-2.18	-0.077	-77.2
Mayo	3.8	3.3	0.52	0.018	18.3
Junio	10.1	3.3	6.83	0.241	241.3
Julio	10.6	3.3	7.27	0.257	256.9
Agosto	11.7	3.3	8.42	0.298	297.5
Septiembre	10.7	3.3	7.36	0.260	260.1
Octubre	7.5	3.3	4.23	0.149	149.4
Noviembre	4.8	3.3	1.46	0.052	51.6
Diciembre	4.8	3.3	1.47	0.052	52.1

Tabla 24- Resultados obtenidos de análisis de agua captada por el sistema, tomada en diferentes fechas

Fecha	Parámetro			
	Turbiedad (NTU)*	pH	solidos suspendidos (mg/L)	olor
15/08/15	3	7.61	32	cumple
13/09/15	2	7.61	31	cumple
3/10/15	2	7.60	32	cumple

*Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).

Tabla 25- Promedio de resultados de análisis de agua captada por el sistema instalado, realizados en triplicado

Parámetro	muestra 1	muestra 2	muestra 3	Promedio	Desviación estándar
Turbiedad (NTU)*	3	2	2	3	± 0.6
pH	7.61	7.61	7.60	7.61	± 5.77E-03
Sólidos suspendidos (mg/L)	32	31	32	32	± 0.58

*Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).

C. ANÁLISIS DE ERROR

1. Incertidumbres para suma y resta

$$S_y = \sqrt{S_a^2 + S_b^2 + S_c^2}$$

Ejemplo para determinar el área total de limpieza del techo

$$S_y = \sqrt{(6.13 \times 10^{-3})^2 + (6.73 \times 10^{-5})^2} = 6.13 \times 10^{-3}$$

2. Incertidumbre para multiplicaciones y divisiones

$$S_y = y \sqrt{\left(\frac{S_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{S_b}{b}\right)^2 + \left(\frac{S_c}{c}\right)^2}$$

Ejemplo para determinar área de canaletas

$$S_y = 9.00 \times 10^{-3} \sqrt{\left(\frac{5.00 \times 10^{-4}}{0.09}\right)^2 + \left(\frac{5.00 \times 10^{-4}}{0.1}\right)^2} = 6.73 \times 10^{-5}$$

3. Incertidumbre para potenciación





$$S_y = y * x \left(\frac{S_a}{a}\right)$$

Ejemplo de caudal en canaletas

$$S_y = 1.24 \times 10^{-1} * 2 \left(\frac{7.86 \times 10^{-3}}{1.24 \times 10^{-1}}\right) = 1.57 \times 10^{-2}$$

D. ELABORACIÓN DE TANQUE DE ACUMULACIÓN DE PRIMERAS AGUAS

A continuación se muestra en detalle la elaboración del sistema interceptor de primeras aguas, utilizado para retener toda impureza que se encuentre en el techo al inicio de las lluvias.

	<p>Tanque de primeras aguas:</p> <p>Se selecciona el volumen adecuado de acuerdo al volumen necesario para limpiar el área de captación de lluvia. En este trabajo se utilizó un tanque de 55L.</p>
	<p>Se perforaron 2 agujeros: uno en la parte baja para la salida de agua y uno en la parte superior para la entrada de agua que viene de las canaletas.</p> <p>El agujero se realizó con un barreno, utilizando brocas menores a $\frac{3}{4}$" , una vez se tuvo el agujero se raspó con lima hasta lograr colocar los adaptadores correspondientes, los de 2" en la parte superior y $\frac{3}{4}$" en la parte inferior.</p>
 	<p>En ambos agujeros, se colocó un adaptador macho y se unió con un adaptador hembra, del respectivo tamaño, para que quedaran ajustados. Entre estos dos adaptadores se colocó un hule para que funcionará como empaque, luego estos se pegaron con silicón para asegurarlos y evitar fugas de agua.</p>

	
	<p>En el agujero inferior se colocó una válvula de bola para que en su momento el barril sea vaciado.</p>
 	<p>En la caída de las canaletas se colocó un tubo de 3" y luego una Tee que desvía el agua del tanque de primeras aguas al tanque de almacenamiento. De nuevo se volvió a colocar un tubo de 3" y luego una reducción para unir un niple de diámetro de 2", nuevamente se colocó un tubo de 3" en donde se ubicó la pelota plástica, el tamaño del tubo y pelota era el adecuado para dejar pasar agua y que la pelota se pudiera mover dentro del mismo, sin embargo al momento que el tanque de primeras agua se encuentre lleno, la pelota tapaná el paso de agua por el niple haciendo que el agua no pueda seguir bajando y se desviara, a través de la Tee, al tanque de almacenamiento.</p> <p>Después del tubo donde se encuentra la pelota, se colocó un tubo de 2" con un codo de 90° para unirlo con otro tubo de 2" que esta colocado en el agujero superior del tanque.</p>

E. PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS FÍSICOS Y ORGANOLÉPTICOS


A continuación se muestran los procedimientos utilizados para realizar los análisis físicos y organolépticos del agua de lluvia captada por el sistema instalado.


Ilustración 13- Procedimiento para determinación de turbidez utilizando el colorímetro HACH


Method 8237


TURBIDITY (0 to 1000 FAU) **For water, wastewater, and seawater**

Absorptometric Method*













- 1.** Enter the stored program number for turbidity.
Press: **PRGM**
The display will show:
PRGM ?
Note:
1 FAU=1 NTU=1 FTU when measuring formazin. These are not equivalent when measuring other types of standards or samples.
- 2.** Press: **95 ENTER**
The display will show **FAU** and the **ZERO** icon.
- 3.** Fill a sample cell with 10 mL of deionized water (the blank).
Note: Wipe the surface of the cell with a soft cloth.
Note: For highly colored samples, use a filtered portion of sample in place of the deionized water.
- 4.** Place the blank into the cell holder. Tightly cover the sample cell with the instrument cap.









- 5.** Press: **ZERO**
The cursor will move to the right, then the display will show:
0 FAU
- 6.** Fill another sample cell with 10 mL of sample.
Note: Mix the sample well before transferring it to the sample cell.
Note: Wipe the surface of the cell with a soft cloth.
- 7.** Place the sample cell into the cell holder. Tightly cover the sample cell with the instrument cap.
- 8.** Press: **READ**
The cursor will move to the right, then the result in Formazin Attenuation Units (FAU) will be displayed.
Note: Standard Adjust may be performed using a prepared standard (see Section I).

* Adapted from FWPCA *Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes*, 275 (1969)

Ilustración 14- Procedimiento para determinación de pH utilizando el colorímetro HACH

pH, continued

**9. Press: READ**

The cursor will move to the right, then the result in pH units will be displayed.

Note: Use of the Standard Adjust feature is highly recommended. See Accuracy Check.

Note: Any reading below 6.5 pH units will be erroneous.

Ilustración 15- Procedimiento para determinación de sólidos suspendidos utilizando el colorímetro

Method 8006

SUSPENDED SOLIDS (0 to 750 mg/L) **For water and wastewater**

Photometric Method* (Also called Nonfilterable Residue)

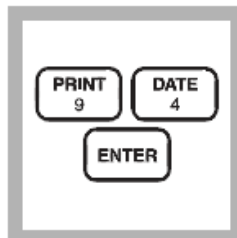


1. Enter the stored program number for suspended solids.

Press: **PRGM**

The display will show:

PRGM ?

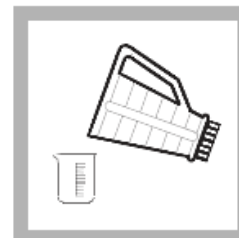


2. Press: **9** **ENTER**

The display will show **mg/L, SuSld** and the **ZERO** icon.



3. Blend 500 mL of sample in a blender at high speed for exactly 2 minutes.



4. Pour the blended sample into a 600-mL beaker.

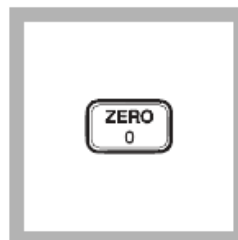


5. Fill a sample cell with 25 mL of tap water or deionized water (the blank).

Note: Remove gas bubbles in the water by swirling or tapping the bottom of the cell on a table.



6. Place the blank in the cell holder. Tightly cover the sample cell with the instrument cap.



7. Press: **ZERO**
The cursor will move to the right, then the display will show:

0 mg/L SuSld



8. Stir the sample thoroughly and immediately pour 25 mL of the blended sample into a sample cell (the prepared sample).

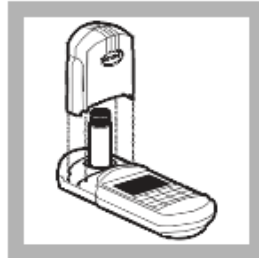
* Adapted from *Sewage and Industrial Wastes*, 31, 1159 (1959).

Ilustración 16- continuación de procedimiento de sólidos suspendidos

SUSPENDED SOLIDS, continued



9. Swirl the prepared sample cell to remove any gas bubbles and uniformly suspend any residue.



10. Place the prepared sample into the cell holder. Tightly cover the sample cell with the instrument cap.



11. Press: **READ**

The cursor will move to the right, then the result in mg/L suspended solids will be displayed.

F. DATOS DE PRECIPITACIONES LLUVIOSAS EN MORALES, IZABAL.

A continuación se muestran los registros diarios de precipitaciones lluviosas en Morales, Izabal a partir de Enero 2011 a Julio 2015. Los datos fueron proporcionados por el Instituto nacional de sismología, vulcanología, meteorología e hidrología (INSIVUMEH).

Tabla 26- Datos de lluvias diarias en Morales, Izabal desde Enero 2011 a Julio 2015

Fecha	Lluvia (mm de agua)
1/01/11	0
2/01/11	1.1
3/01/11	0
4/01/11	0.1
5/01/11	0
6/01/11	0
7/01/11	0
8/01/11	0
9/01/11	0
10/01/11	0
11/01/11	0.5
12/01/11	2.3
13/01/11	14.1
14/01/11	0.1
15/01/11	0.5
16/01/11	3.4
17/01/11	3.7
18/01/11	4.0
19/01/11	4.3
20/01/11	4.6
21/01/11	4.8
22/01/11	5.1
23/01/11	5.4
24/01/11	5.7
25/01/11	6.0
26/01/11	6.2
27/01/11	6.5
28/01/11	6.8
29/01/11	7.1
30/01/11	7.3
31/01/11	7.6
1/02/11	7.9
2/02/11	8.2
3/02/11	8.5
4/02/11	8.7
5/02/11	9.0
6/02/11	9.3
7/02/11	9.6

Fecha	Lluvia (mm de agua)
8/02/11	9.9
9/02/11	10.1
10/02/11	0
11/02/11	7.5
12/02/11	5.1
13/02/11	18.1
14/02/11	1.4
15/02/11	4.6
16/02/11	0.9
17/02/11	0.1
18/02/11	0.9
19/02/11	8.4
20/02/11	0.5
21/02/11	0
22/02/11	0
23/02/11	0.4
24/02/11	0
25/02/11	0
26/02/11	0
27/02/11	0
28/02/11	0
1/03/11	0
2/03/11	0
3/03/11	0
4/03/11	0
5/03/11	0
6/03/11	0
7/03/11	0
8/03/11	0
9/03/11	0
10/03/11	13.2
11/03/11	8.9
12/03/11	24.7
13/03/11	0.2
14/03/11	0
15/03/11	6.3
16/03/11	12.5
17/03/11	10.1

Fecha	Lluvia (mm de agua)
18/03/11	2.1
19/03/11	3.2
20/03/11	8.4
21/03/11	16.9
22/03/11	1.1
23/03/11	0.1
24/03/11	0
25/03/11	0
26/03/11	0
27/03/11	0
28/03/11	0
29/03/11	0
30/03/11	0
31/03/11	0
1/04/11	0
2/04/11	0
3/04/11	0
4/04/11	0
5/04/11	0
6/04/11	0
7/04/11	0.1
8/04/11	0
9/04/11	0
10/04/11	0
11/04/11	0
12/04/11	0
13/04/11	0
14/04/11	0
15/04/11	0
16/04/11	0
17/04/11	0
18/04/11	0
19/04/11	0
20/04/11	0
21/04/11	5.3
22/04/11	0.4
23/04/11	0.8
24/04/11	0.2
25/04/11	0.1
26/04/11	0
27/04/11	0
28/04/11	0.1
29/04/11	1.3
30/04/11	0
1/05/11	0
2/05/11	0
3/05/11	12

Fecha	Lluvia (mm de agua)
4/05/11	30
5/05/11	0.6
6/05/11	0
7/05/11	0
8/05/11	0
9/05/11	0
10/05/11	19.6
11/05/11	0
12/05/11	12.7
13/05/11	0.2
14/05/11	21.4
15/05/11	0
16/05/11	0
17/05/11	0
18/05/11	0.3
19/05/11	0
20/05/11	0
21/05/11	0
22/05/11	0
23/05/11	0.2
24/05/11	1.4
25/05/11	0
26/05/11	0
27/05/11	0
28/05/11	0
29/05/11	0
30/05/11	1.2
31/05/11	0.4
1/06/11	6.2
2/06/11	0.3
3/06/11	0
4/06/11	0
5/06/11	0
6/06/11	0.7
7/06/11	0
8/06/11	0
9/06/11	0
10/06/11	1
11/06/11	23.5
12/06/11	1.7
13/06/11	55.1
14/06/11	26.7
15/06/11	0
16/06/11	18.3
17/06/11	1.2
18/06/11	0.9
19/06/11	0.1

Fecha	Lluvia (mm de agua)
20/06/11	0.1
21/06/11	0
22/06/11	0
23/06/11	0
24/06/11	45.2
25/06/11	28
26/06/11	3.4
27/06/11	0.2
28/06/11	1.1
29/06/11	1.2
30/06/11	0
1/07/11	0.9
2/07/11	10
3/07/11	2
4/07/11	26.2
5/07/11	6.8
6/07/11	0
7/07/11	1.7
8/07/11	0
9/07/11	0.8
10/07/11	14.4
11/07/11	1.6
12/07/11	32.5
13/07/11	1.3
14/07/11	0
15/07/11	0
16/07/11	2.1
17/07/11	1.5
18/07/11	2.1
19/07/11	3.1
20/07/11	2.7
21/07/11	0.3
22/07/11	10
23/07/11	0.1
24/07/11	7.5
25/07/11	29.1
26/07/11	2.2
27/07/11	2.3
28/07/11	0.9
29/07/11	3.6
30/07/11	15
31/07/11	12.8
1/08/11	19.8
2/08/11	0.1
3/08/11	0.2
4/08/11	0.1
5/08/11	0

Fecha	Lluvia (mm de agua)
6/08/11	8.6
7/08/11	0.1
8/08/11	3.3
9/08/11	0
10/08/11	0
11/08/11	0.1
12/08/11	0
13/08/11	0.6
14/08/11	1
15/08/11	0
16/08/11	0
17/08/11	25.5
18/08/11	32.4
19/08/11	0
20/08/11	3.9
21/08/11	2.4
22/08/11	0.1
23/08/11	6.1
24/08/11	0
25/08/11	0
26/08/11	7.1
27/08/11	31.2
28/08/11	11.1
29/08/11	0
30/08/11	46.2
31/08/11	23.6
1/09/11	1.8
2/09/11	2.8
3/09/11	22.2
4/09/11	4.3
5/09/11	3.6
6/09/11	1
7/09/11	0.7
8/09/11	44.2
9/09/11	15.1
10/09/11	0
11/09/11	39.1
12/09/11	29
13/09/11	19.2
14/09/11	0
15/09/11	0
16/09/11	9.2
17/09/11	25.7
18/09/11	0.1
19/09/11	15.3
20/09/11	16.9
21/09/11	0.1

Fecha	Lluvia (mm de agua)
22/09/11	0
23/09/11	1.3
24/09/11	0
25/09/11	0
26/09/11	0
27/09/11	6
28/09/11	0.4
29/09/11	32.2
30/09/11	21.3
1/10/11	21.7
2/10/11	24.2
3/10/11	23.3
4/10/11	12
5/10/11	2.1
6/10/11	4.4
7/10/11	12.7
8/10/11	0.2
9/10/11	0
10/10/11	0
11/10/11	24.2
12/10/11	0.1
13/10/11	0.1
14/10/11	11.1
15/10/11	81.9
16/10/11	0.3
17/10/11	0
18/10/11	0
19/10/11	8.8
20/10/11	0
21/10/11	0
22/10/11	0.2
23/10/11	0
24/10/11	0
25/10/11	0
26/10/11	0
27/10/11	0
28/10/11	0
29/10/11	1.6
30/10/11	2.7
31/10/11	0
1/11/11	0
2/11/11	0
3/11/11	8.9
4/11/11	2.6
5/11/11	2.7
6/11/11	5.6
7/11/11	12.7

Fecha	Lluvia (mm de agua)
8/11/11	0
9/11/11	0
10/11/11	0.4
11/11/11	10
12/11/11	3.5
13/11/11	2
14/11/11	0
15/11/11	0
16/11/11	0
17/11/11	26.2
18/11/11	13
19/11/11	3.7
20/11/11	0.9
21/11/11	9.2
22/11/11	0.1
23/11/11	11.2
24/11/11	1.1
25/11/11	0.1
26/11/11	0
27/11/11	0
28/11/11	0
29/11/11	0
30/11/11	0
1/12/11	0
2/12/11	3
3/12/11	2.1
4/12/11	0
5/12/11	0.1
6/12/11	0
7/12/11	9.7
8/12/11	5.3
9/12/11	7.2
10/12/11	1.4
11/12/11	0
12/12/11	0
13/12/11	14.7
14/12/11	11.6
15/12/11	0.2
16/12/11	0
17/12/11	0.6
18/12/11	15
19/12/11	1.2
20/12/11	0
21/12/11	0
22/12/11	0
23/12/11	38.6
24/12/11	7.8

Fecha	Lluvia (mm de agua)
25/12/11	1.9
26/12/11	1.9
27/12/11	0.1
28/12/11	0
29/12/11	0
30/12/11	0
31/12/11	0.3
1/01/12	30.5
2/01/12	50.4
3/01/12	8.1
4/01/12	4.4
5/01/12	7.3
6/01/12	2.9
7/01/12	0
8/01/12	0
9/01/12	0
10/01/12	0
11/01/12	0
12/01/12	0
13/01/12	7.6
14/01/12	23.2
15/01/12	1.5
16/01/12	5.6
17/01/12	1.2
18/01/12	2.8
19/01/12	3.3
20/01/12	0.1
21/01/12	0
22/01/12	0
23/01/12	0
24/01/12	0
25/01/12	0
26/01/12	0
27/01/12	4.6
28/01/12	6.6
29/01/12	22.9
30/01/12	6.4
31/01/12	8.1
1/02/12	10.8
2/02/12	8.5
3/02/12	35.6
4/02/12	0.1
5/02/12	0
6/02/12	1.3
7/02/12	0
8/02/12	3.3
9/02/12	0.3

Fecha	Lluvia (mm de agua)
10/02/12	2.3
11/02/12	0.9
12/02/12	22.9
13/02/12	4.7
14/02/12	0
15/02/12	0.1
16/02/12	0.1
17/02/12	8.5
18/02/12	0
19/02/12	0
20/02/12	0
21/02/12	0
22/02/12	0
23/02/12	0
24/02/12	0
25/02/12	0
26/02/12	0.9
27/02/12	25.1
28/02/12	3.7
29/02/12	0.1
1/03/12	0
2/03/12	0
3/03/12	0
4/03/12	1
5/03/12	0.9
6/03/12	0.7
7/03/12	33.5
8/03/12	0
9/03/12	0.3
10/03/12	9.4
11/03/12	0
12/03/12	0
13/03/12	0.5
14/03/12	7.9
15/03/12	1.8
16/03/12	0.1
17/03/12	1.6
18/03/12	0
19/03/12	0
20/03/12	0.3
21/03/12	0
22/03/12	0
23/03/12	0
24/03/12	0
25/03/12	0
26/03/12	0
27/03/12	0

Fecha	Lluvia (mm de agua)
28/03/12	0
29/03/12	0
30/03/12	0
31/03/12	0
1/04/12	0
2/04/12	0
3/04/12	16.7
4/04/12	3.4
5/04/12	0
6/04/12	0
7/04/12	0
8/04/12	0
9/04/12	0
10/04/12	7.3
11/04/12	0
12/04/12	0
13/04/12	0
14/04/12	0
15/04/12	0.9
16/04/12	0.1
17/04/12	0.3
18/04/12	4.8
19/04/12	2.4
20/04/12	0
21/04/12	0
22/04/12	0
23/04/12	0
24/04/12	0
25/04/12	0
26/04/12	0
27/04/12	0
28/04/12	0
29/04/12	0
30/04/12	0.1
1/05/12	0.4
2/05/12	0.5
3/05/12	0
4/05/12	0
5/05/12	9.8
6/05/12	0
7/05/12	0
8/05/12	0
9/05/12	0
10/05/12	0
11/05/12	0
12/05/12	0
13/05/12	11.6

Fecha	Lluvia (mm de agua)
14/05/12	3.4
15/05/12	19.7
16/05/12	18.2
17/05/12	27.4
18/05/12	11.1
19/05/12	21.9
20/05/12	1.4
21/05/12	13.8
22/05/12	1
23/05/12	26.3
24/05/12	0
25/05/12	0
26/05/12	0.5
27/05/12	2.8
28/05/12	1.9
29/05/12	3.9
30/05/12	0
31/05/12	0
1/06/12	0.1
2/06/12	26.3
3/06/12	25.3
4/06/12	2.7
5/06/12	15.6
6/06/12	2.7
7/06/12	0
8/06/12	0
9/06/12	1.4
10/06/12	0.1
11/06/12	0.1
12/06/12	0.1
13/06/12	5.3
14/06/12	3.3
15/06/12	1.8
16/06/12	0
17/06/12	30.8
18/06/12	31.2
19/06/12	0.1
20/06/12	0.6
21/06/12	45.5
22/06/12	6.5
23/06/12	3.7
24/06/12	4.1
25/06/12	0
26/06/12	17
27/06/12	0.1
28/06/12	0.6
29/06/12	63.5

Fecha	Lluvia (mm de agua)
30/06/12	0
1/07/12	0
2/07/12	2
3/07/12	3
4/07/12	14.3
5/07/12	1.4
6/07/12	0
7/07/12	9.8
8/07/12	0.1
9/07/12	9
10/07/12	2.4
11/07/12	1.1
12/07/12	0
13/07/12	0
14/07/12	0
15/07/12	2.7
16/07/12	0.6
17/07/12	3.7
18/07/12	8
19/07/12	33.2
20/07/12	18.9
21/07/12	5.1
22/07/12	5.9
23/07/12	6.1
24/07/12	0.3
25/07/12	0.1
26/07/12	0.9
27/07/12	0
28/07/12	21.7
29/07/12	12.7
30/07/12	25
31/07/12	0.1
1/08/12	0.4
2/08/12	3.1
3/08/12	9.2
4/08/12	0.5
5/08/12	0
6/08/12	11.5
7/08/12	0.6
8/08/12	0.6
9/08/12	2.1
10/08/12	18.6
11/08/12	5
12/08/12	0.1
13/08/12	0
14/08/12	0
15/08/12	14.4

Fecha	Lluvia (mm de agua)
16/08/12	5.5
17/08/12	8
18/08/12	0.2
19/08/12	0
20/08/12	0
21/08/12	4.4
22/08/12	0.4
23/08/12	3.5
24/08/12	2.6
25/08/12	0
26/08/12	49.4
27/08/12	0.2
28/08/12	0.3
29/08/12	1.1
30/08/12	0.1
31/08/12	0.5
1/09/12	0.3
2/09/12	0.1
3/09/12	0.1
4/09/12	1.8
5/09/12	0
6/09/12	0
7/09/12	4
8/09/12	0.1
9/09/12	17.9
10/09/12	0.7
11/09/12	0
12/09/12	4.4
13/09/12	11.6
14/09/12	10.5
15/09/12	5
16/09/12	23.2
17/09/12	23.9
18/09/12	0.1
19/09/12	0
20/09/12	46.7
21/09/12	5.6
22/09/12	7
23/09/12	0.2
24/09/12	27.7
25/09/12	2.5
26/09/12	0
27/09/12	0
28/09/12	0
29/09/12	0
30/09/12	0
1/10/12	0

Fecha	Lluvia (mm de agua)
2/10/12	11.5
3/10/12	12.3
4/10/12	6.2
5/10/12	41.6
6/10/12	0.1
7/10/12	0
8/10/12	8.8
9/10/12	19.5
10/10/12	38.2
11/10/12	3.8
12/10/12	16
13/10/12	3.8
14/10/12	17.4
15/10/12	4.3
16/10/12	2.4
17/10/12	0
18/10/12	0
19/10/12	0
20/10/12	11.5
21/10/12	21
22/10/12	15.6
23/10/12	15.4
24/10/12	14
25/10/12	0.1
26/10/12	8.2
27/10/12	0.1
28/10/12	0
29/10/12	14.1
30/10/12	8.4
31/10/12	0
1/11/12	0.2
2/11/12	2.7
3/11/12	7.5
4/11/12	0.1
5/11/12	16.7
6/11/12	5.6
7/11/12	0.2
8/11/12	6.1
9/11/12	1.1
10/11/12	4.2
11/11/12	0.8
12/11/12	8
13/11/12	19.1
14/11/12	1.5
15/11/12	8.2
16/11/12	0
17/11/12	0

Fecha	Lluvia (mm de agua)
18/11/12	0
19/11/12	0
20/11/12	0
21/11/12	0.6
22/11/12	5.9
23/11/12	0.8
24/11/12	4.7
25/11/12	0
26/11/12	0
27/11/12	5.9
28/11/12	12.5
29/11/12	0.9
30/11/12	0.3
1/12/12	0.3
2/12/12	1.6
3/12/12	0.9
4/12/12	3.1
5/12/12	0.3
6/12/12	0.3
7/12/12	0
8/12/12	0
9/12/12	0
10/12/12	0
11/12/12	0
12/12/12	1
13/12/12	11.3
14/12/12	1.1
15/12/12	0
16/12/12	0
17/12/12	0.1
18/12/12	0
19/12/12	0
20/12/12	0
21/12/12	1
22/12/12	25.4
23/12/12	3.5
24/12/12	0.1
25/12/12	0
26/12/12	0
27/12/12	0
28/12/12	0
29/12/12	0
30/12/12	20.5
31/12/12	1.7
1/01/13	0.5
2/01/13	0
3/01/13	0

Fecha	Lluvia (mm de agua)
4/01/13	5.5
5/01/13	7.9
6/01/13	3.5
7/01/13	5.7
8/01/13	5
9/01/13	0.1
10/01/13	0.1
11/01/13	0.1
12/01/13	0
13/01/13	0
14/01/13	5.4
15/01/13	0.1
16/01/13	14.4
17/01/13	7.8
18/01/13	2.9
19/01/13	2.1
20/01/13	8.3
21/01/13	3.6
22/01/13	0.2
23/01/13	2.4
24/01/13	26.7
25/01/13	3.9
26/01/13	0
27/01/13	0.1
28/01/13	0
29/01/13	0
30/01/13	0
31/01/13	0
1/02/13	6
2/02/13	7.6
3/02/13	17.7
4/02/13	0.1
5/02/13	0
6/02/13	0
7/02/13	0
8/02/13	0
9/02/13	0
10/02/13	0
11/02/13	0
12/02/13	0
13/02/13	0
14/02/13	0
15/02/13	5.6
16/02/13	35.2
17/02/13	5.2
18/02/13	0
19/02/13	0

Fecha	Lluvia (mm de agua)
20/02/13	0.3
21/02/13	0
22/02/13	0
23/02/13	0
24/02/13	0
25/02/13	0
26/02/13	0
27/02/13	0
28/02/13	0
1/03/13	1.3
2/03/13	2
3/03/13	0
4/03/13	0
5/03/13	0
6/03/13	0
7/03/13	0.1
8/03/13	0
9/03/13	0
10/03/13	0
11/03/13	0
12/03/13	0.2
13/03/13	5.8
14/03/13	7.7
15/03/13	4.5
16/03/13	0.1
17/03/13	0
18/03/13	0
19/03/13	0
20/03/13	0
21/03/13	0
22/03/13	0
23/03/13	0
24/03/13	0
25/03/13	0
26/03/13	4.1
27/03/13	4.3
28/03/13	4.5
29/03/13	0
30/03/13	0
31/03/13	17.1
1/04/13	0
2/04/13	0
3/04/13	0
4/04/13	2
5/04/13	1.3
6/04/13	0.4
7/04/13	0

Fecha	Lluvia (mm de agua)
8/04/13	0.8
9/04/13	0
10/04/13	0
11/04/13	0
12/04/13	0
13/04/13	0
14/04/13	0
15/04/13	0
16/04/13	3.4
17/04/13	0
18/04/13	0
19/04/13	0
20/04/13	0
21/04/13	0
22/04/13	0
23/04/13	0
24/04/13	0
25/04/13	0
26/04/13	1.3
27/04/13	0
28/04/13	0
29/04/13	0
30/04/13	0
1/05/13	0
2/05/13	0
3/05/13	7.6
4/05/13	0
5/05/13	0
6/05/13	0
7/05/13	0
8/05/13	0
9/05/13	0
10/05/13	0
11/05/13	0
12/05/13	1.4
13/05/13	2.8
14/05/13	0.8
15/05/13	0.4
16/05/13	0
17/05/13	0
18/05/13	0
19/05/13	0
20/05/13	0
21/05/13	0
22/05/13	0
23/05/13	0
24/05/13	0

Fecha	Lluvia (mm de agua)
25/05/13	0.4
26/05/13	1.6
27/05/13	42.5
28/05/13	84
29/05/13	0
30/05/13	8
31/05/13	8
1/06/13	2
2/06/13	162
3/06/13	24
4/06/13	70
5/06/13	0
6/06/13	214
7/06/13	46
8/06/13	0
9/06/13	0
10/06/13	42
11/06/13	0
12/06/13	84
13/06/13	44
14/06/13	2
15/06/13	2
16/06/13	14
17/06/13	52
18/06/13	0
19/06/13	0
20/06/13	44
21/06/13	68
22/06/13	2
23/06/13	8
24/06/13	42
25/06/13	10
26/06/13	0
27/06/13	0
28/06/13	0
29/06/13	106
30/06/13	14
1/07/13	70
2/07/13	122
3/07/13	160
4/07/13	10
5/07/13	26
6/07/13	0
7/07/13	0
8/07/13	52
9/07/13	2
10/07/13	192

Fecha	Lluvia (mm de agua)
11/07/13	20
12/07/13	16
13/07/13	6
14/07/13	0
15/07/13	0
16/07/13	4
17/07/13	16
18/07/13	0
19/07/13	0
20/07/13	38
21/07/13	0
22/07/13	40
23/07/13	32
24/07/13	2
25/07/13	14
26/07/13	122
27/07/13	2
28/07/13	0
29/07/13	98
30/07/13	154
31/07/13	4
1/08/13	0
2/08/13	0
3/08/13	0
4/08/13	126
5/08/13	282
6/08/13	0
7/08/13	0
8/08/13	0
9/08/13	2
10/08/13	0
11/08/13	60
12/08/13	4
13/08/13	10
14/08/13	6
15/08/13	0
16/08/13	80
17/08/13	2
18/08/13	0
19/08/13	12
20/08/13	20
21/08/13	16
22/08/13	14
23/08/13	138
24/08/13	90
25/08/13	2
26/08/13	0

Fecha	Lluvia (mm de agua)
27/08/13	114
28/08/13	2
29/08/13	54
30/08/13	4
31/08/13	74
1/09/13	306
2/09/13	20
3/09/13	6
4/09/13	0
5/09/13	0
6/09/13	0
7/09/13	0
8/09/13	180
9/09/13	2
10/09/13	0
11/09/13	16
12/09/13	0
13/09/13	1
14/09/13	0
15/09/13	0
16/09/13	3.5
17/09/13	53.5
18/09/13	9.5
19/09/13	6
20/09/13	21.5
21/09/13	4
22/09/13	5.5
23/09/13	63.5
24/09/13	6
25/09/13	0.5
26/09/13	0
27/09/13	0
28/09/13	0
29/09/13	0
30/09/13	0
1/10/13	0
2/10/13	0
3/10/13	1
4/10/13	0
5/10/13	0
6/10/13	20.5
7/10/13	1.5
8/10/13	0
9/10/13	3.5
10/10/13	1
11/10/13	8.5
12/10/13	0

Fecha	Lluvia (mm de agua)
13/10/13	0.5
14/10/13	8.5
15/10/13	4
16/10/13	0.5
17/10/13	1.5
18/10/13	9
19/10/13	11
20/10/13	2
21/10/13	0.5
22/10/13	0
23/10/13	0
24/10/13	7
25/10/13	2.5
26/10/13	44
27/10/13	11
28/10/13	22
29/10/13	24.5
30/10/13	4.5
31/10/13	0
1/11/13	0
2/11/13	0
3/11/13	0
4/11/13	9
5/11/13	0
6/11/13	0
7/11/13	11.5
8/11/13	68
9/11/13	11.5
10/11/13	1.5
11/11/13	11.5
12/11/13	11
13/11/13	5.5
14/11/13	0.5
15/11/13	0
16/11/13	0
17/11/13	0
18/11/13	0.5
19/11/13	1.5
20/11/13	0
21/11/13	0
22/11/13	3.5
23/11/13	16.5
24/11/13	5.5
25/11/13	5.5
26/11/13	3.5
27/11/13	1
28/11/13	0

Fecha	Lluvia (mm de agua)
29/11/13	0
30/11/13	0
1/12/13	1
2/12/13	0
3/12/13	0
4/12/13	0
5/12/13	0
6/12/13	0
7/12/13	2.5
8/12/13	0.5
9/12/13	0
10/12/13	34.5
11/12/13	3
12/12/13	2
13/12/13	6.5
14/12/13	0
15/12/13	7
16/12/13	125
17/12/13	35.5
18/12/13	2.5
19/12/13	0.5
20/12/13	0
21/12/13	0
22/12/13	0
23/12/13	4
24/12/13	10.5
25/12/13	19
26/12/13	4
27/12/13	0.5
28/12/13	0.5
29/12/13	5
30/12/13	0
31/12/13	3.5
1/01/14	13
2/01/14	0
3/01/14	2.5
4/01/14	0
5/01/14	0
6/01/14	4
7/01/14	19
8/01/14	25.5
9/01/14	1
10/01/14	0
11/01/14	0
12/01/14	0
13/01/14	0
14/01/14	0

Fecha	Lluvia (mm de agua)
15/01/14	21
16/01/14	0.5
17/01/14	0
18/01/14	0
19/01/14	2
20/01/14	5.5
21/01/14	0
22/01/14	2
23/01/14	0.5
24/01/14	8
25/01/14	16.5
26/01/14	0.5
27/01/14	0
28/01/14	0
29/01/14	1.5
30/01/14	4
31/01/14	0
1/02/14	0.5
2/02/14	0
3/02/14	0
4/02/14	0
5/02/14	0
6/02/14	11.5
7/02/14	5.5
8/02/14	10
9/02/14	6.5
10/02/14	0.5
11/02/14	0
12/02/14	0.5
13/02/14	25.5
14/02/14	23
15/02/14	1.5
16/02/14	53
17/02/14	37.5
18/02/14	25
19/02/14	0.5
20/02/14	0
21/02/14	0
22/02/14	1
23/02/14	2.5
24/02/14	0
25/02/14	1
26/02/14	0
27/02/14	0
28/02/14	0
1/03/14	0
2/03/14	0

Fecha	Lluvia (mm de agua)
3/03/14	0
4/03/14	0
5/03/14	0
6/03/14	0
7/03/14	11.5
8/03/14	0
9/03/14	0
10/03/14	4
11/03/14	0
12/03/14	0
13/03/14	76.5
14/03/14	4.5
15/03/14	0
16/03/14	0
17/03/14	0
18/03/14	0
19/03/14	0
20/03/14	0
21/03/14	0.5
22/03/14	0
23/03/14	0
24/03/14	0.5
25/03/14	1.5
26/03/14	0
27/03/14	0
28/03/14	0
29/03/14	0
30/03/14	0
31/03/14	0
1/04/14	0
2/04/14	13.5
3/04/14	0
4/04/14	0
5/04/14	0
6/04/14	0
7/04/14	0
8/04/14	4
9/04/14	1
10/04/14	0
11/04/14	0
12/04/14	0
13/04/14	0
14/04/14	0
15/04/14	0
16/04/14	1.5
17/04/14	0
18/04/14	0

Fecha	Lluvia (mm de agua)
19/04/14	26
20/04/14	10.5
21/04/14	12
22/04/14	1
23/04/14	0
24/04/14	0
25/04/14	0
26/04/14	0
27/04/14	0
28/04/14	0
29/04/14	0
30/04/14	17.5
1/05/14	21
2/05/14	1.5
3/05/14	12
4/05/14	20.5
5/05/14	0
6/05/14	0
7/05/14	0
8/05/14	0
9/05/14	7
10/05/14	28.5
11/05/14	0
12/05/14	0
13/05/14	0
14/05/14	4.5
15/05/14	3
16/05/14	8
17/05/14	0
18/05/14	0
19/05/14	0
20/05/14	0
21/05/14	2
22/05/14	36.5
23/05/14	1
24/05/14	1.5
25/05/14	0
26/05/14	9
27/05/14	0
28/05/14	0.5
29/05/14	0
30/05/14	26
31/05/14	23
1/06/14	32
2/06/14	1.5
3/06/14	0.5
4/06/14	29

Fecha	Lluvia (mm de agua)
5/06/14	0
6/06/14	12
7/06/14	1
8/06/14	0
9/06/14	2
10/06/14	0
11/06/14	0
12/06/14	0
13/06/14	0.5
14/06/14	7.5
15/06/14	2
16/06/14	0.5
17/06/14	0
18/06/14	4
19/06/14	0
20/06/14	0
21/06/14	14
22/06/14	2.5
23/06/14	0
24/06/14	0
25/06/14	0
26/06/14	0
27/06/14	0.5
28/06/14	0
29/06/14	0
30/06/14	0
1/07/14	0
2/07/14	11
3/07/14	12.5
4/07/14	0
5/07/14	37.5
6/07/14	0
7/07/14	0
8/07/14	0
9/07/14	0
10/07/14	0
11/07/14	0.5
12/07/14	14
13/07/14	7.5
14/07/14	10.5
15/07/14	0.5
16/07/14	0
17/07/14	0
18/07/14	0
19/07/14	0
20/07/14	0.5
21/07/14	14.5

Fecha	Lluvia (mm de agua)
22/07/14	15
23/07/14	2.5
24/07/14	0.5
25/07/14	9
26/07/14	2
27/07/14	10.5
28/07/14	5.5
29/07/14	0
30/07/14	0
31/07/14	0
1/08/14	0
2/08/14	4
3/08/14	0
4/08/14	0
5/08/14	13
6/08/14	19
7/08/14	21.5
8/08/14	1
9/08/14	0.5
10/08/14	10.5
11/08/14	0.5
12/08/14	18.5
13/08/14	0
14/08/14	16.5
15/08/14	4
16/08/14	6
17/08/14	0.5
18/08/14	2
19/08/14	7
20/08/14	1
21/08/14	0
22/08/14	5.5
23/08/14	0
24/08/14	0
25/08/14	0
26/08/14	0
27/08/14	0
28/08/14	2.5
29/08/14	14.5
30/08/14	41.5
31/08/14	3.5
1/09/14	0
2/09/14	4.5
3/09/14	0.5
4/09/14	0
5/09/14	21
6/09/14	0.5

Fecha	Lluvia (mm de agua)
7/09/14	16.5
8/09/14	0
9/09/14	9
10/09/14	21
11/09/14	11.5
12/09/14	5
13/09/14	6.5
14/09/14	0.5
15/09/14	61.5
16/09/14	1.5
17/09/14	3.5
18/09/14	0
19/09/14	0
20/09/14	0
21/09/14	0.5
22/09/14	21.5
23/09/14	13.5
24/09/14	27.5
25/09/14	9.5
26/09/14	2.5
27/09/14	16.5
28/09/14	1.5
29/09/14	19.5
30/09/14	1
1/10/14	18
2/10/14	0
3/10/14	14.5
4/10/14	12.5
5/10/14	0.5
6/10/14	0.5
7/10/14	0
8/10/14	22.5
9/10/14	9
10/10/14	7.5
11/10/14	3
12/10/14	6.5
13/10/14	5
14/10/14	1.5
15/10/14	35
16/10/14	1.5
17/10/14	4.5
18/10/14	2.5
19/10/14	0
20/10/14	28.5
21/10/14	6
22/10/14	0
23/10/14	4

Fecha	Lluvia (mm de agua)
24/10/14	13
25/10/14	9
26/10/14	0
27/10/14	0
28/10/14	0
29/10/14	0
30/10/14	38.5
31/10/14	54.5
1/11/14	33
2/11/14	16
3/11/14	7
4/11/14	24.5
5/11/14	3.5
6/11/14	0.5
7/11/14	0
8/11/14	0
9/11/14	2
10/11/14	0
11/11/14	0
12/11/14	0
13/11/14	0
14/11/14	0
15/11/14	1.5
16/11/14	0
17/11/14	0
18/11/14	15.5
19/11/14	26.5
20/11/14	49.5
21/11/14	2.5
22/11/14	0
23/11/14	0
24/11/14	0
25/11/14	26.5
26/11/14	12
27/11/14	11.5
28/11/14	23
29/11/14	10
30/11/14	2.5
1/12/14	4
2/12/14	49
3/12/14	2.5
4/12/14	1
5/12/14	0.5
6/12/14	26.5
7/12/14	8
8/12/14	6
9/12/14	12.5

Fecha	Lluvia (mm de agua)
10/12/14	3
11/12/14	2
12/12/14	15.5
13/12/14	12.5
14/12/14	10
15/12/14	0
16/12/14	1
17/12/14	0
18/12/14	0
19/12/14	71.5
20/12/14	0.5
21/12/14	5
22/12/14	0
23/12/14	0
24/12/14	0
25/12/14	10
26/12/14	1
27/12/14	0
28/12/14	0
29/12/14	0
30/12/14	9
31/12/14	30.5
1/01/15	26
2/01/15	13.5
3/01/15	0
4/01/15	38.5
5/01/15	3.5
6/01/15	30
7/01/15	13
8/01/15	2
9/01/15	0.5
10/01/15	2
11/01/15	0.5
12/01/15	0.5
13/01/15	7.5
14/01/15	9.5
15/01/15	9.5
16/01/15	22.5
17/01/15	3.5
18/01/15	11
19/01/15	1
20/01/15	0.5
21/01/15	0
22/01/15	0
23/01/15	0
24/01/15	74.5
25/01/15	11.5

Fecha	Lluvia (mm de agua)
26/01/15	1
27/01/15	0
28/01/15	0.5
29/01/15	3
30/01/15	1
31/01/15	0
1/02/15	0.5
2/02/15	0
3/02/15	0
4/02/15	13
5/02/15	1.5
6/02/15	18
7/02/15	4.5
8/02/15	0
9/02/15	0
10/02/15	0
11/02/15	0
12/02/15	0
13/02/15	22
14/02/15	16.5
15/02/15	10
16/02/15	0.5
17/02/15	0
18/02/15	0
19/02/15	22
20/02/15	6
21/02/15	0
22/02/15	0
23/02/15	0
24/02/15	0
25/02/15	0
26/02/15	0
27/02/15	21
28/02/15	2
1/03/15	10.5
2/03/15	20.5
3/03/15	4
4/03/15	0
5/03/15	0
6/03/15	9
7/03/15	21.5
8/03/15	10
9/03/15	0
10/03/15	0
11/03/15	0
12/03/15	6
13/03/15	0.5

Fecha	Lluvia (mm de agua)
14/03/15	0
15/03/15	5.5
16/03/15	7
17/03/15	6
18/03/15	0
19/03/15	0
20/03/15	0
21/03/15	0
22/03/15	0
23/03/15	0
24/03/15	0
25/03/15	0
26/03/15	0
27/03/15	44
28/03/15	84
29/03/15	10.5
30/03/15	1.5
31/03/15	0
1/04/15	0
2/04/15	0
3/04/15	7.5
4/04/15	0
5/04/15	19
6/04/15	0
7/04/15	9
8/04/15	0.5
9/04/15	6.5
10/04/15	0
11/04/15	0
12/04/15	0
13/04/15	0
14/04/15	0
15/04/15	0
16/04/15	0
17/04/15	0
18/04/15	0
19/04/15	0
20/04/15	0
21/04/15	0
22/04/15	0
23/04/15	0
24/04/15	0
25/04/15	0
26/04/15	0
27/04/15	0
28/04/15	0
29/04/15	4.5

Fecha	Lluvia (mm de agua)
30/04/15	2.5
1/05/15	0
2/05/15	8.5
3/05/15	5
4/05/15	0
5/05/15	0
6/05/15	0
7/05/15	0
8/05/15	0.5
9/05/15	14.5
10/05/15	0
11/05/15	0
12/05/15	0
13/05/15	0
14/05/15	1
15/05/15	1.5
16/05/15	0
17/05/15	0
18/05/15	0
19/05/15	0
20/05/15	0
21/05/15	0
22/05/15	3
23/05/15	0.5
24/05/15	0
25/05/15	0
26/05/15	0
27/05/15	1
28/05/15	0
29/05/15	0
30/05/15	0
31/05/15	0
1/06/15	5
2/06/15	8.5
3/06/15	0.5
4/06/15	0
5/06/15	0.5
6/06/15	10
7/06/15	0.5
8/06/15	22
9/06/15	0
10/06/15	14.5
11/06/15	5.5
12/06/15	3
13/06/15	13.5
14/06/15	0.5

Fecha	Lluvia (mm de agua)
15/06/15	0
16/06/15	7.5
17/06/15	0.5
18/06/15	2
19/06/15	2.5
20/06/15	3
21/06/15	0.5
22/06/15	0.5
23/06/15	1
24/06/15	5.5
25/06/15	53.5
26/06/15	2
27/06/15	0.5
28/06/15	0.5
29/06/15	0
30/06/15	0
1/07/15	0
2/07/15	0
3/07/15	0
4/07/15	2
5/07/15	0
6/07/15	0
7/07/15	0
8/07/15	0
9/07/15	25.5
10/07/15	11
11/07/15	0
12/07/15	4
13/07/15	0
14/07/15	0
15/07/15	0
16/07/15	0
17/07/15	0
18/07/15	7.5
19/07/15	7
20/07/15	4
21/07/15	0.5
22/07/15	0
23/07/15	1.5
24/07/15	33
25/07/15	3.5
26/07/15	43.5
27/07/15	0

G. DESCRIPCIÓN DE TALLERES EDUCATIVOS PARA USO Y MANTENIMIENTO DE SISTEMA INSTALADO

A continuación se describe la metodología utilizada por la educadora quien se encargó de realizar los talleres adecuados para los pobladores en cuanto al uso y mantenimiento de los sistemas instalados en la comunidad.

La planificación y ejecución de los talleres tuvo como base tres enfoques que se describen en el siguiente cuadro:

Tabla 27- Enfoques educativos

Enfoque	Metodología
1. Tradicionalista	La educadora brinda información en una solo vía, de ella hacia los pobladores.
2. Constructivista	Participación activa de los pobladores, actividades lúdicas para desarrollar y alcanzar aprendizajes. La participación va en doble vía.
3. De educación para y por la comunidad	

A partir de los enfoques mencionados anteriormente, se llevaron a cabo cuatro talleres. A continuación se muestran los objetivos planteados para realizar dichos talleres y sus resultados correspondientes.

Tabla 28- Resultados de talleres impartidos en la comunidad

Objetivo	Resultados
Diseñar y planificar talleres para concientizar a la comunidad en prácticas saludables del uso del agua, con base en los hallazgos del equipo utilizando métodos tradicionales, constructivistas y de la teoría por y para la comunidad.	Como primer etapa se diseñaron y planificaron tres talleres: 1) Concientización: consecuencias del uso inadecuado del agua 2) Explicación e importancia del proyecto a implementar como solución comunitaria (Megaproyecto "Diseño, implementación, mejora y capacitación para uso de sistemas de captación y tratamiento de agua en el Caserío Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal") y 3) Uso adecuado y mantenimiento del proyecto.
Ejecutar y evaluar el programa educativo, diseñado para formación de promotores de la salud.	Como segunda etapa se realizó un cuarto taller: 4) "Promotores de la salud". Este taller se ejecutó dado a que se conoció la necesidad de promotores de salud, éstos se dedicarán a la transmisión de información en toda la comunidad, facilitando así el proceso de comunicación. A este proceso de comunicación se le denominó organización comunitaria. Este taller tuvo como resultado la participación de 12 personas de la comunidad, quienes estuvieron de acuerdo en participar y se comprometieron para continuar con la promoción de la organización comunitaria.

Objetivo	Resultados
Diseñar y evaluar el uso de material didáctico que se utilizará en los talleres de capacitación, el cual debe adecuarse al nivel educativo de la comunidad.	En conjunto con el diseño y planificación de los talleres, se realizó material didáctico tomando en cuenta las características de la comunidad, en donde los adultos mayoritariamente son analfabetas. Se usaron dibujos y actividades lúdicas que permitieron una mejor comprensión de los temas tratados en cada taller.

Las actividades educativas fueron de gran apoyo para la presente investigación ya que permitieron que los recursos se optimicen para beneficio de toda la población.

El trabajo detallado se puede encontrar en el Megaproyecto *Diseño, implementación, mejora y capacitación para uso de sistemas de captación y tratamiento de agua en el Caserío Cumbre de San Agustín, Morales, Izabal*; módulo *Proceso Educativo para la formación y empoderamiento de promotores de salud*.

XIII. GLOSARIO

1. Agua potable: Agua que por sus características organolépticas, físicas, químicas y bacteriológicas, no representa un riesgo para la salud del consumidor y cumple con lo establecido en la Norma COGUANOR NTG-29-001
2. Características físicas y organolépticas: Son aquellas que se detectan sensorialmente o por medios analíticos de laboratorio.
3. Coeficiente de escurrentía: El coeficiente de escurrimiento representa la cantidad de agua que se pierde o no puede ser captada ya sea por filtración, evaporación u otros fenómenos que no hacen posible que toda el agua sea captada. Este valor depende del tipo de superficie e impermeabilizante donde cae el agua.
4. Coliformes: Bacterias gram-negativas que fermentan la lactosa a una temperatura de 35 a 37°C. El grupo de coliformes totales incluye varios géneros, de los cuales todo pueden ser de origen fecal. También pueden habitar en el suelo o aguas superficiales en países con temperaturas muy altas pueden abundar bacterias coliformes de origen no fecal.
5. *Escherichia coli*: Bacteria habitual en el intestino del ser humano y otros animales de sangre caliente. La mayoría de cepas son inofensivas sin embargo algunas pueden causar una grave enfermedad de transmisión alimentaria, la infección se transmite por consumo de agua o alimentos contaminados.
6. Límite máximo aceptable: Es el valor de la concentración de cualquier característica del agua arriba de la cual dichas características son percibidas por consumidores desde el punto de vista sensorial pero sin que implique un daño a la salud.
7. Límite máximo permisible: Es el valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba de la cual el agua no es adecuada para consumo humano.
8. Potencial de hidrogeno: Indica la concentración de iones hidronio en una disolución, determinando la acidez o alcalinidad de la misma.
9. Turbiedad: Es la medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a presencia de partículas en suspensión.
10. UFC: Unidades formadoras de colonias: es un valor que indica el grado de contaminación microbiológica de un ambiente. Expresa la cantidad de microorganismos en un volumen de metro cubico de agua.
11. Unidades nefelométricas de turbiedad: Unidad utilizada para medir la turbidez de un fluido, corresponde con la concentración de un patrón y se basa en la dispersión de la luz por partículas en suspensión en una disolución, midiendo el haz de luz en dirección que forma un ángulo recto 90°.