



**CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA -CONCYT-
SECRETARÍA NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA -SENACYT-
FONDO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA -FONACYT-
INSTITUTO PRIVADO DE INVESTIGACIÓN SOBRE CAMBIO
CLIMÁTICO -ICC-**

INFORME FINAL

**AGUA POTABLE PARA COMUNIDADES RURALES Y ESCUELAS
BASADA EN EL ALMACENAMIENTO DEL AGUA DE LLUVIA. UN APORTE
DEL PARQUE TECNOLÓGICO DE SANTA LUCÍA COTZUMALGUAPA,
ESCUINTLA.**

PROYECTO MULTICYT No. 02 - 2015

Ph.D. Alex Alí Guerra Noriega

GUATEMALA, 27 DE MARZO 2017



AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo, ha sido posible gracias al apoyo financiero dentro del Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología, -FONACYT-, otorgado por la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología -SENACYT- y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología -CONCYT-.

RESUMEN

El agua es fundamental para la vida, debe proveerse tanto en calidad como en cantidad para garantizar la salud y el desarrollo del ser humano. El proveer de agua potable es un reto grande para el desarrollo, sobre todo en países como Guatemala, donde la institucionalidad es muy débil, existe falta de voluntad política y escasos recursos financieros. El ejecutar proyectos de agua entubada/potable de la forma tradicional es muy costoso, por lo cual, existe la necesidad de innovar para proveer de agua limpia a la población.

En búsqueda de estas alternativas y de aprovechar los recursos naturales, se planteó el proyecto "Agua potable para comunidades rurales y escuelas basadas en el almacenamiento del agua de lluvia. Un aporte del parque tecnológico de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla". El municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa aparentemente cuenta con una oferta de agua para satisfacer la demanda de la población del casco urbano (Mena, 2014). Los grandes retos se tienen a nivel comunitario, donde las principales fuentes de agua son escasas, no satisfacen la demanda de la población tanto en cantidad como en calidad.

El presente informe es el resultado del trabajo realizado del periodo comprendido entre marzo 2015 hasta abril 2016, en el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla; específicamente en 10 comunidades priorizadas. Este proyecto contó con el apoyo de la Municipalidad de Santa Lucía Cotzumalguapa y la Universidad del Valle – Campo Sur, a través del grupo ENACTUS.

A nivel local se coordinó con representantes de COCODES, comités de agua, líderes comunitarios, grupos de mujeres, entre otros. Sin embargo, el mayor número de participantes en estas comunidades, se tuvo de parte de mujeres. Ellas expresaron ser las más perjudicadas con el tema del agua, ya que son ellas las que dependen de este vital líquido para realizar las actividades diarias dentro del hogar, cocinar, limpieza y garantizar el recurso hídrico de la familia. Por esta razón, tienen mayor comprensión de la problemática hídrica a nivel comunitario, identificando las principales debilidades de los sistemas de agua entubada; además de tener un conocimiento empírico en el uso de agua de lluvia. Se aprovechó esta necesidad para transferir los conocimientos de cómo pueden tecnificar la utilización del agua de lluvia, calcular la demanda de agua de la familia y conocer la oferta en términos de precipitación. De esta manera, poner en práctica los conocimientos adquiridos por medio de los diplomados que fueron implementados en sus comunidades.

Con el propósito de conocer la calidad de agua que consumen, se realizó un muestreo a las diferentes fuentes de agua, los resultados dictaminaron que la mayor contaminación es microbiológica a través de la presencia de Coliformes totales y *Escherichia coli*. Se presentaron resultados a nivel comunitario y se capacitó sobre el tratamiento básico del agua. Finalizando el proyecto con la presentación de resultados y experiencias temáticas, a través del desarrollo de un taller a nivel departamental y otro a nivel nacional.

ABSTRACT

Water is essential for life, it must be provided in quality and quantity to guarantee the health and the development of human beings. Providing drinking water is a big challenge for development, particularly in countries like Guatemala, where institutions are weak, political will is limited, and financial resources are scarce. Executing piped water/drinking water projects in the traditional way is costly; hence, there is a need to innovate in order to provide clean water to people.

When looking for alternatives and ways to take advantage of the natural resources, the project "Drinking water for rural communities and schools based upon rainwater storage systems. A contribution from the technological park of Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla" was proposed. In theory, the *municipio* of Santa Lucía Cotzumalguapa has enough water availability to satisfy the demand of the population in town (Mena, 2014). The big challenges are at the community level, where the main water sources are limited, and do not satisfy population's demand neither in quality nor quantity.

This report is the result of the work carried out between March 2015 and April 2016, in Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla; specifically in 10 prioritized communities. This project was supported by the Municipality of Santa Lucía Cotzumalguapa and the Del Valle University, through the ENACTUS Group in their southern campus.

At the local level, this project was coordinated with the COCODES' (local development committees) representatives, water committees, community leaders, women groups, among others. The largest number of participants in those communities was women, who expressed to be the most affected by water issues, since they are the ones who depend on it to perform daily activities in their homes guaranteeing the water resources of the family. Therefore, they have a better understanding of water issues and challenges at the community level, identifying the main weaknesses of the water pipe lines. Furthermore, they have empirical knowledge on rainwater usage. This posed an opportunity to transfer knowledge on how to improve rainwater harvesting and use, calculate family's water demand, and determine water supply in terms of rainfall. This way, they can put into practice the knowledge acquired through training sessions that were facilitated in their communities.

With the purpose of obtaining data about the quality of the water that they drink, samples were taken from their water resources. Results indicated that most of the water contamination is of biological origin, in particular through total coliforms and *Escherichia coli*. Results were shown at the community level. Training on basic water treatment was provided. The project finished with two workshops where results and experiences were presented, one at the departmental level and the second at the national level.

Contenido

RESUMEN.....	ii
ABSTRACT	iii
Contenido	iv
PARTE I.....	1
I.1 INTRODUCCION	1
I.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
I.3 OBJETIVOS	5
I.3.1 Objetivo general.....	5
I.3.2 Objetivos específicos	5
I.4 METODOLOGIA	6
I.4.1 Diseño e instalación de infraestructura demostrativa de captación, almacenamiento y potabilización de agua de lluvia.....	6
I.4.2 Transferencia de tecnología sobre almacenamiento de agua a través de la capacitación y promoción a distintos niveles.....	7
I.4.3 Estrategia de sostenibilidad: creación de pequeñas empresas comunitarias dedicadas a la comercialización de agua apta para ingesta humana	8
I.4.4 Desarrollar una estrategia local que permita la coordinación interinstitucional y la aplicación de las herramientas y medios desarrollados durante el programa.....	9
I.4.5 Divulgar a las autoridades, actores sociales e instituciones en el campo de su competencia, la información obtenida del programa ejecutado	9
I.4.6 Materiales.....	9
I.4.6.1 Análisis de agua.....	11
I.4.6.1.1 Variables analizadas en el monitoreo hídrico.....	11
Parte II.....	13
II.1 MARCO TEORICO	13
II.1.1 Sistemas de captación de agua de lluvia.....	13
II.1.2 Elementos de los sistemas de captación de agua de lluvia	13
II.1.2.1 Factor humano:	13
II.1.2.2 Factores técnicos:	13
II.1.2.3 Factores Naturales	14
II.1.3 Componentes de un sistema de captación de agua de lluvia	15
II.1.3.1 Área de captación.....	16

II.1.3.2	Sistema de captación y recolección de agua.....	17
II.1.3.3	Sistema de filtración:.....	18
II.1.3.4	Sistema de almacenamiento	19
II.1.3.5	Sistema de distribución y bombeo.....	20
II.1.4	Bases para el diseño del sistema.....	21
II.1.4.1	Determinación de la demanda de agua a nivel familiar	21
II.1.4.2	Cálculo de la precipitación pluvial neta (oferta)	22
II.1.4.3	Área de captación del agua de lluvia	25
II.1.4.4	Cálculo de diámetro de tubería.....	26
II.1.4.5	Diseño del sistema de almacenamiento de agua de lluvia captada ...	27
Parte III.	28
III.1	RESULTADOS.....	28
III.1.1	Diseño e instalación de sistemas demostrativos de captación, almacenamiento y potabilización	28
III.1.1.1	Descripción Biofísica.....	28
III.1.1.2	Descripción Climática.....	31
III.1.1.3	Descripción Hidrológica	34
III.1.1.4	Tomas de muestra de agua casco urbano de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla.....	35
III.1.1.4.1	Muestra de agua a nivel escolar y comunitario de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla.....	38
III.1.1.4.1.1	Muestra de agua comunidad Miriam I.....	40
III.1.1.4.1.2	Muestra de agua comunidad El Socorro.....	42
III.1.1.4.1.3	Muestra de agua comunidad El Jabalí	43
III.1.1.4.1.4	Muestra de agua comunidad El Horizonte	45
III.1.1.4.1.5	Muestra de agua comunidad El Rosario	46
III.1.1.4.1.5	Muestra de agua comunidad El Cajón.....	48
III.1.1.4.1.6	Caseta demostrativa sobre "Sistema de Captación de Agua de Lluvia"	49
III.1.2	Transferencia de tecnología sobre almacenamiento de agua a través de la capacitación y promoción	53
III.1.3	Transferencia de tecnología sobre almacenamiento de agua a través de la capacitación y promoción	58
III.1.4	Desarrollar una estrategia local de coordinación interinstitucional durante el periodo del proyecto.....	60

III.1.4 Divulgar con las autoridades, actores sociales e instituciones en el campo de su competencia, la información obtenida del programa ejecutado	61
Parte IV.	63
IV.1 CONCLUSIONES	63
IV.2 RECOMENDACIONES.....	64
IV.3 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
IV.4 ANEXOS	68
IV.4.1 ENSAYO GENERICO.....	68
IV.4.2 ELABORACIÓN DE MANUAL PARA PARTICIPANTES DEL DIPLOMADO.....	74
Parte V	77
V.1 INFORME FINANCIERO.....	77
V.2 BIOGRAFÍA	79

Índice de Tablas

Tabla 1. Coeficiente de escurrimiento (Ce) de los diferentes materiales en el área de captación	23
Tabla 2. Precipitación promedio de la estación de Camantulul.	24
Tabla 3. Definición de diámetro de tubería según superficie de techo.....	26
Tabla 4. Diámetro de los colectores de acuerdo con el porcentaje de la pendiente y la sección longitudinal de la canaleta.	27
Tabla 5. Centros poblados para el año 2001 y 2009 del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa.....	29
Tabla 6. Registros de precipitación mensual y anual en mm (milímetros) de la estación climática de Camantulul de INSIVUMEH.	32
Tabla 7. Registros de días de lluvia mensuales y anuales de la estación climática de Camantulul de INSIVUMEH.	33
Tabla 8. Zonas de vida del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla.	34
Tabla 9. Ubicación de los puntos de muestreo y toma de muestras de agua (coordenadas GTM).	36
Tabla 10. Datos tomados <i>in situ</i> de las muestras de agua colectadas	36
Tabla 11. Resultados de variables físicas de las muestras de agua colectadas en la cabecera municipal e instalaciones de instituto.....	36
Tabla 12. Resultados de variables químicas de las muestras de agua colectadas en la cabecera municipal e instalaciones de instituto.....	37
Tabla 13. Resultados de variables microbiológicas de las muestras de agua colectadas en la cabecera municipal e instalaciones de instituto.	37
Tabla 14. Análisis de muestra de agua realizado para la escuela San Judas	39
Tabla 15. Análisis de muestras de agua realizado para la escuela San Judas.....	39
Tabla 16. Resultados de monitoreo hídrico de la comunidad Miriam I, realizado el 13 de octubre de 2015	41
Tabla 17. Resultados de monitoreo hídrico de la comunidad El Socorro, realizado el 14 de octubre de 2015	42
Tabla 18. Resultados de monitoreo hídrico realizado en tres fuentes de agua de la comunidad El Jabalí, realizado el 15 de octubre de 2015	44
Tabla 19. Resultados de monitoreo hídrico realizado en dos fuentes de agua de la comunidad El Horizonte, realizado el 15 de octubre de 2015	45
Tabla 20. Resultados de monitoreo hídrico realizado en dos fuentes de agua de la comunidad El Rosario, realizado el 27 de octubre de 2015.....	47
Tabla 21. Resultados de monitoreo hídrico realizado en dos fuentes de agua de la comunidad El Cajón, realizado el 27 de octubre de 2015.....	48
Tabla 22. Comunidades priorizadas y divididas geográficamente para el desarrollo del diplomado.....	54
Tabla 23. Temas impartidos dentro del diplomado	57
Tabla 24. Balance de agua con medida de almacenamiento por familia a partir del histórico de precipitación.	69
Tabla 25. Volumen de agua captado en litros con relación al área de captación y a la precipitación pluvial promedio.....	70

Índice de Figuras

Figura 1. Maqueta para explicar los diferentes métodos de cosecha de agua.	10
Figura 2. Componentes básicos del Sistema de Captación de Agua de Lluvia.....	15
Figura 3. Ejemplo de área de captación de agua de lluvia sobre un techo	16
Figura 4. Ejemplo de área de captación de agua de lluvia en área impermeabilizada	16
Figura 5. Elementos del sistema de recolección	17
Figura 6. Sistema de Filtrado.....	18
Figura 7. Sistema de almacenamiento de agua.....	19
Figura 8. Dibujo de una bomba de manivela.....	20
Figura 9. Jerarquía de las necesidades de agua.....	21
Figura 10. Precipitación Neta -PN para la aplicación de un sistema de captación de agua de lluvia en el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla.	24
Figura 11. Cartografía del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla..	29
Figura 12. Centros poblados del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla (2001)	30
Figura 13. Centros poblados (2009) y red vial del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla.....	30
Figura 14. Hipsometría del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla	31
Figura 15. Registro de 23 años, promedios de precipitación mensual (milímetros) estación climática Camantulul	33
Figura 16. Zonas de vida del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla	34
Figura 17. Hidrología del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla...	35
Figura 18. Principales fuentes de agua, escuela de la comunidad Miriam I; a) Pozo 1 b) Contaminación pozo 1 c) Pozo 2 y d) Pozo 3.....	40
Figura 19. Fuentes para el muestreo de agua en El Socorro. a) Pozo de agua a nivel domiciliario; b) Pozo de agua Escolar.....	43
Figura 20. Fuentes para el muestreo de agua en El Jabalí; a) Chorro más próximo al depósito aéreo (pozo comunitario El Jabalí) y ejemplo de almacenamiento de agua en toneles. b) Tanque elevado de distribución; c) Punto de muestra de agua de la escuela; d) Equipo de monitoreo (conductímetro) utilizado para la medición de parámetros <i>in situ</i> en la comunidad.....	43
Figura 21. Cosecha de agua de lluvia de manera empírica en la comunidad El Horizonte.....	46
Figura 22. Fuentes para el muestreo de agua en El Rosario; a) Pozo de la vivienda; b) Tanque elevado de la escuela.....	46
Figura 23. Croquis de la caseta demostrativa; a) vista en planta; b) vista frontal. (Sin escala).....	49
Figura 24. Trabajos preliminares para la instalación de caseta demostrativa; a) limpieza y nivelación; b) zanjeo e instalación de postes; c) fundición de bases de postes; d) ejecución de tijeras	50
Figura 25. Segunda fase de instalación de caseta demostrativa; a) instalación de tijeras; b) instalación de tendales; c) Inicio de instalación de lamina galvanizada; d) inicio de zanjeo para instalación de cisterna.....	51

Figura 26. Proceso de instalación de tanque de almacenamiento; a) fundición de losa de cemento; b) instalación y centrado de cisterna; c) llenado de agua al tanque para compactar agujero; d) relleno de lodocrecto.	51
Figura 27. Detalles de caseta demostrativa; a y b) vista lateral de caseta; c) sistema de recolección de agua; d y e) by-pass y filtro primario	52
Figura 28. Construcción final de caseta; a) fundición de piso interno; b) fundición de banquetas perimetrales; c) fundición de caminamientos hacia el tanque; d) Instalación de celosía para estabilización de estructura.	52
Figura 29. Caseta demostrativa sobre captación de agua de lluvia; a) vista interna de la caseta; b) tanque y línea de conducción; c) vista lateral con tubería de conducción; d) vista desde el tanque y tubería de rebalse	53
Figura 30. Lanzamiento COMUDE.....	56
Figura 31. Boletas de sondeo rápido.....	56
Figura 32. Gira para visitar proyectos exitosos; a) taller en Antigua Guatemala; b) exposición de una lideresa; c) visita a comunidad de La Soledad, para conocer proyectos de cosecha de agua de lluvia y; d) visita al proyecto de Atrapa niebla.	58
Figura 33. Capacitación del grupo de ENACTUS, módulo 4	59
Figura 34. Sesión sobre microcréditos, Grupo ENACTUS.	59
Figura 35. Capacitación personal de Educación, Santa Lucía Cotzumalguapa.....	60
Figura 36. Socialización y taller a directores de Escuelas del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa.....	61
Figura 37. Divulgación e intercambio de experiencias sobre Almacenamiento de agua de lluvia; a y b) taller nacional realizado el 27 de abril de 2016 en la USAC; c) taller departamental, auditorium de CENGICAÑA, 30 de marzo 2016; d) presentación SENACYT en el taller departamental.....	62
Figura 38. Invitación del taller nacional y departamental para intercambiar experiencias sobre almacenamiento de agua de lluvia, y divulgar las actividades desarrolladas dentro del proyecto MULTICYT 02-2015.....	62
Figura 39. Caratula de guía para el establecimiento de un Sistema de Almacenamiento.	74
Figura 40. Ejemplo de imágenes del folleto	75
Figura 41. Explicación en folleto.....	76

PARTE I

I.1 INTRODUCCION

El agua es un recurso vital para el desarrollo y un elemento fundamental en las funciones metabólicas que realizan los seres vivos del planeta (IICA, 1998). Sin embargo, la provisión de agua potable es uno de los retos más grandes para el desarrollo a nivel mundial. Según el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (2014), 768 millones de personas no tienen acceso a agua potable en el mundo y 1,400 niños menores de 5 años mueren a diario como consecuencia de enfermedades relacionadas con la falta de agua apta para consumo humano y las malas condiciones de saneamiento.

Los beneficios de la provisión de agua de calidad a la población son numerosos, está relacionado a la buena salud, especialmente de niños y ancianos. El agua limpia contribuye también a aumentar la seguridad alimentaria de la población debido a la reducción de enfermedades gastrointestinales, mejorando el aprovechamiento biológico de los alimentos. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés), alrededor de 840 millones de personas padecen desnutrición (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura 2008, citado en Helmreich y Horn, 2009).

Una de las metas de los objetivos de desarrollo del milenio, hacía énfasis en reducir a la mitad el porcentaje de personas con acceso al agua potable, para el año 2015 (Sistema de las Naciones Unidas en Guatemala, 2008). Hay retos grandes para alcanzar tal objetivo, y ahora su equivalente en los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en países como Guatemala, entre los cuales se encuentra la institucionalidad débil, la falta de voluntad política y, en particular, el financiamiento. Este último es particularmente grande en comunidades rurales puesto que instalar sistemas de agua potable/entubada de la forma tradicional es costoso.

Por todo ello, existe la necesidad de innovar para proveer de agua limpia a la población, tanto en la época seca como en la lluviosa. Una opción es desarrollar y utilizar sistemas de captación y almacenamiento de agua, la cual es una tecnología de bajo costo, de fácil acceso, y cuyo mantenimiento no resulta complicado para el uso doméstico (Abdulla, F. A. & Al-Shareef, 2009).

Se han utilizado sistemas de captación y almacenamiento de agua desde tiempos históricos, pero es recientemente cuando se ha comenzado a estudiar y sistematizar este fenómeno (Frost, 2011; IICA, 1998). Una de las técnicas más comunes de cosecha de agua de lluvia es la captura del recurso mediante los techos de la vivienda y su posterior almacenamiento en cisternas (Hunt & Jones, 2010).

El almacenamiento de agua ha dejado de utilizarse, en gran parte debido a que el paradigma de provisión de agua domiciliar es el de disponer de un servicio entubado. El cambio climático, unido a otras presiones como el crecimiento poblacional y el mal manejo del agua ha exacerbado los problemas originados por la escasez del recurso. En la actualidad se está retomando esta práctica milenaria, y en varios países como México y Brasil, están surgiendo abundantes casos de utilización de estos sistemas (Frost, 2011;

IICA, 1998). Aunque normalmente estas prácticas se utilizan en regiones secas en donde se produce una baja precipitación anual, en la actualidad se han utilizado también en regiones húmedas debido a los eventos de sequías cada vez más recurrentes y el aumento de la demanda entre otros motivos (Hunt & Jones, 2010).

El almacenamiento de agua de lluvia busca constituirse como una fuente de agua limpia y accesible a escala local. El agua de lluvia es generalmente de muy buena calidad por haber sido evaporada y luego condensada del entorno natural (Helmreich, B., & Horn, 2009). El reto es mantenerla limpia durante la captación (por el contacto con techos y otras superficies) y su almacenamiento. Sin embargo, esto es una tarea más fácil con el agua de lluvia que con fuentes superficiales y subterráneas contaminadas de diversas formas.

Los mayas denominaban xultunes a los sistemas de almacenamiento de agua de lluvia, en el oriente (Europa, Asia y África) los conocían como aljibes, cada cultura contaba con su propia tecnología para captar, conducir y almacenar el agua. En la actualidad existe una gran variedad de tecnología y equipo para la captación, conducción, filtración y almacenamiento del agua de lluvia.

Con el proyecto se contribuyó a fomentar el desarrollo de la cosecha de agua de lluvia a través de capacitaciones, promoción y transferencia de tecnología sobre la temática para el aprovisionamiento de agua para enfrentar la escasez del recurso hídrico; el proveer de agua a la población debe de tener ciertas características para garantizar su calidad para beber y cocinar; y no tener consecuencias en la salud, principalmente en niños y ancianos.

De acuerdo al IARNA (2002), se estima que el 80% del agua que se utilizar para consumo doméstico en poblaciones urbanas, regresa a los ríos aguas residuales sin tratamiento, lo que provoca la contaminación de las aguas superficiales.

El público objetivo en el proyecto fueron comunitarios o usuarios domiciliarios y tomadores de decisiones, no se logró el establecimiento de los sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia, solamente el sistema demostrativo en las instalaciones del ICC, que es parte del parque tecnológico de Santa Lucía Cotzumalguapa.

I.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según el Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente -IARNA- (s.f.) en Guatemala las aguas tienen un alto nivel de contaminación. Además, se estima que el 80% del agua que se utiliza para consumo doméstico en poblaciones urbanas mayores a los 2000 habitantes, regresa a los ríos sin ser tratada (IARNA, s.f.). Esto implica que se produzcan numerosas enfermedades en la población por el uso de agua contaminada. Por ejemplo, las enfermedades diarreicas agudas ocuparon el segundo lugar de causas de morbilidad y mortalidad en el país en el año 2000. Además la diarrea supuso el 43% de la mortalidad infantil ese mismo año (Ibid.). En lo referente a la seguridad alimentaria, íntimamente ligada a la calidad del agua, la desnutrición crónica se sitúa en valores elevados para Guatemala, ya que la padecen cuatro de cada diez niños y niñas, es decir el 43.4%, menores de cinco años (UNICEF, 2010).

El acceso al agua limpia es crítico especialmente ante el riesgo de desastres (inundaciones y sequías) puesto que, parte de los impactos en la población se relacionan a las enfermedades resultantes de una higiene inadecuada durante las emergencias, como las observadas en Guatemala con el huracán Mitch y la Tormenta Stan (CEPAL, 2005; UNICEF, 2005). De esta forma, el acceso al agua limpia contribuye también a reducir la vulnerabilidad climática de las comunidades rurales.

Aparte del reto de mantener la calidad del agua de lluvia, existe la meta de contar con un volumen de agua para cubrir las necesidades de la población de manera constante. Guatemala presenta una gran variedad de microclimas, lo cual provoca una distribución irregular de la precipitación sobre el territorio, con promedios anuales comprendidos entre los 700 y 5000 mm según el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (2003). Además, las lluvias se concentran, en su mayoría, entre los meses de mayo a octubre, periodo correspondiente a la época lluviosa. Sin embargo, entre noviembre y abril las lluvias son escasas o prácticamente nulas en muchos lugares. Esta distribución temporal causa épocas de escasez, incluso en las regiones más lluviosas del país. No es una excepción la vertiente del Pacífico de Guatemala, la cual recibe abundantes lluvias anualmente. No obstante, un período de 6 meses sin lluvias, acompañado de un manejo inadecuado del recurso hídrico tiene repercusiones en la disponibilidad y calidad del mismo (IARNA, 2004).

Estos problemas de calidad y escasez de agua se observan en el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa. Aunque aparentemente la oferta de agua en la municipalidad alcanzaría para satisfacer la demanda de agua de la población, incluso hasta el año 2025, la distribución temporal de la misma no es homogénea (Mena, 2014). Esto es debido a la distribución del agua que se realiza: se divide el área municipal en sectores, y estos a su vez en subsectores, se distribuye el agua mediante racionamiento, por lo que no todos los días ni a todas horas se distribuye el agua para cada subsector (Ibid.). Además, durante la época lluviosa, es común que se revienten tuberías y como resultado, que la gente se quede sin acceso a agua incluso durante varios días.

En lo que respecta a calidad de agua, según un estudio del INSIVUMEH (2008), ubicado en varias cuencas de la vertiente del Pacífico (Achiguate, Coyolate y María Linda entre otras), el agua no es apta para consumo humano según norma COGUANOR NGO

29001 Agua Potable. Sin embargo, existe falta de información en lo referente a análisis de agua, y se precisa de la realización de análisis de manera sistemática (IARNA, 2002; Mena, 2014).

Existen diversas experiencias de captación y almacenamiento de agua en Guatemala, sin embargo, estas experiencias no han sido documentadas, lo que dificulta que se expanda la utilización de la medida. Algunas de las experiencias existentes en Guatemala se mencionan a continuación. Por ejemplo, en Jalapa la ONG Plan Internacional trabajó durante 2006 y 2008 un proyecto de almacenamiento de agua de lluvia en escuelas del departamento. El agua sirvió para cubrir las necesidades de consumo de los centros durante la época seca e incluso existía excedente que era aprovechado por los hogares vecinos.

En Chiquimula en el 2009, a través de la Asociación de Servicios y Desarrollo Socioeconómico se instalaron sistemas piloto y se buscó concienciar a los habitantes y a líderes a través de capacitación sobre captación y almacenamiento de agua para apoyar a comunidades a enfrentar problemas de salud, escasez y mala gestión del recurso. En el municipio de Guatemala (zona 25), la Municipalidad en el 2013, instaló sistemas de captación de agua ante la petición de sus habitantes que solicitaban mayor cantidad del recurso para cubrir sus necesidades.

Entre los limitantes de este tipo de proyectos de encuentra el hecho de que las experiencias no se respaldan en información sobre la oferta y demanda de agua (p.ej. potencial de almacenamiento en base a precipitación histórica, consumo de agua por grupo o familia y potencial de almacenamiento del sistema de captación entre otros) ni se capacita a la gente para que pueda utilizar estos sistemas y por lo tanto puedan sacar un beneficio en forma de ahorro o ingreso. El ICC posee entre sus capacidades, el conocimiento técnico necesario para instalar o construir sistemas de captación y almacenamiento de agua acorde a las necesidades climáticas locales.

También tiene experiencia en la transferencia de tecnología asociadas al cambio climático a distintos niveles (diferentes tipos de público y con diferente grado de escolaridad). A través del proyecto se buscaba incidir en la sostenibilidad fomentando la creación de pequeñas empresas que comercialicen el excedente de agua almacenada entre sus vecinos. Para ello se contó con el apoyo de la Universidad del Valle de Guatemala, Campus Sur, a través del grupo de ENACTUS (jóvenes emprendedores). Por último, la presencia de la municipalidad de Santa Lucía Cotzumalguapa ayudó a conseguir un mayor alcance del proyecto e involucrar actores relevantes (representantes de la municipalidad y COCODEs). Los resultados del proyecto supondrán una contribución de las instituciones al parque tecnológico de la costa sur, persiguiendo el desarrollo de la región a través de la transferencia de tecnología.

I.3 OBJETIVOS

I.3.1 Objetivo general

I.3.1.1 Impulsar un sistema de provisión de agua potable para comunidades del área rural de la costa sur de Guatemala con base en el almacenamiento de agua de lluvia, dentro del marco de implementación de un parque tecnológico abierto.

I.3.2 Objetivos específicos

I.3.1.2.1 Diseño e instalación de sistemas demostrativos de captación, almacenamiento y potabilización de agua de lluvia.

I.3.1.2.2 Transferencia de tecnología sobre el almacenamiento de agua a través de la capacitación y promoción a distintos niveles.

I.3.1.2.3 Incentivar la creación de pequeñas empresas comunitarias dedicadas a la comercialización de agua apta para ingesta humana.

I.3.1.2.4 Desarrollar una estrategia local que permita la coordinación interinstitucional y la aplicación de las herramientas y medios desarrollados durante el programa.

I.3.1.2.5 Divulgar con las autoridades, actores sociales e instituciones en el campo de su competencia, la información obtenida del programa ejecutado.

I.4 METODOLOGIA

El proyecto se dividió en tres componentes acordes a los objetivos específicos del mismo.

I.4.1 Diseño e instalación de infraestructura demostrativa de captación, almacenamiento y potabilización de agua de lluvia

La primera fase consistió en el diseño e instalación del proyecto demostrativo de almacenamiento de agua, el cual se ubicó dentro de las instalaciones del instituto en Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla. Se había contemplado realizar la instalación de un sistema de captación y almacenamiento de agua a distintos niveles: domiciliar e institucional (escuelas); la falta de fondos dentro de la Secretaría durante el tiempo de ejecución del proyecto dificultó la realización del mismo.

En la fase de diseño se consideró lo siguiente:

- i. Criterios de oferta y demanda, además de su capacidad de almacenamiento, esto en base a los análisis de datos climáticos, principalmente la precipitación de la zona, consumo de agua por grupo o familia, entre otros.
- ii. Análisis de posibles sistemas y/o materiales; y
- iii. aspectos de calidad de agua.

El ICC cuenta con una red de estaciones meteorológicas, contando con registros cada 15 minutos. Dentro de las variables climáticas registradas, se cuenta con la información de precipitación. Siendo esta variable la primordial para el desarrollo de la fase de diseño. Asimismo, se cuenta con información técnica y experiencia para el desarrollo de proyectos de Cosecha de Agua de Lluvia. Toda la información disponible fue analizada y sistematizada, resultando en el diseño del sistema demostrativo.

Como se había comentado anteriormente, se tenía planificado realizar la instalación de otros sistemas, tanto a nivel domiciliar como institucional. Para la selección óptima y ubicación de esos sistemas, se contó con la información brindada por los socios del proyectos, principalmente la Dirección Municipal de Planificación – DMP – de la municipalidad de Santa Lucía Cotzumalguapa; donde se priorizaron 10 comunidades.

Para la priorización de las comunidades se establecieron criterios básicos como:

- i. No contar con un sistema de agua entubada o
- ii. Tener problemas por escasez de agua en la comunidad,
- iii. Tener sistemas de agua entubada averiados y
- iv. Ser comunidades bien organizadas con COCODES autorizados.

Se realizó una encuesta para conocer los problemas básicos respecto al acceso del agua en las comunidades, resultados que respaldaron dentro de la priorización de las comunidades. Luego de haber efectuado la selección de comunidades, se realizó la socialización del proyecto a nivel de COMUDE y posteriormente a nivel de COCODE's; además de los representantes del sector educativo, entre otros. A nivel comunitario se

realizaron diferentes visitas para conocer sus principales fuentes de agua y recabar información sobre las mismas.

Se evaluó en las comunidades priorizadas la calidad del recursos hídrico de sus fuentes de agua, tanto principales como secundarias. Se realizó con el objetivo de conocer las limitantes que pueden provocar problemas de salud en niños y ancianos; los resultados obtenidos del monitoreo hídrico fueron presentados a comunitarios en el proceso de capacitación desarrollado en los diplomados de la temática. Además se explicó, que en todos los componentes del sistema puede ocurrir algún tipo de contaminación al no manejarse adecuadamente.

El tanque de almacenamiento seleccionado para el sistema demostrativo en ICC, es una cisterna de polietileno roto moldeado de alta resistencia con capa anti-bacterial, con una capacidad de almacenamiento de 10000 litros de agua. Este tipo de tanque o depósitos de agua prefabricado, tiene la cualidad de poder instalarse bajo el suelo.

El sistema de conducción cuenta con un *By-pass* el cual sirve para facilitar la limpieza del área de captación. Asimismo el agua captada es conducida a un sistema de filtración artesanal, el cual se compone de un barril de polietileno, compuesto por diferentes capas de grava dentro del mismo.

El agua filtrada es conducida al tanque de almacenamiento, para luego ser extraída por una bomba artesanal. Todo el sistema demostrativo se realizó de una manera sencilla, para poder explicar y demostrar a las personas que son capacitadas en la temática, lo fácil y práctico de este sistema para implementarse a nivel domiciliario. La factibilidad del sistema depende de la cantidad de agua de lluvia que se cuente en la zona donde se instale.

Se efectuó el cálculo económico para ejecutar un sistema de Captación y Almacenamiento de Agua de Lluvia. Se pidieron cotizaciones con diferentes proveedores (ferreterías principalmente) del municipio; luego de la estimación se procedió a gestionar los materiales para la instalación del sistema demostrativo, el cual lo conforma un área de captación, conducción, filtración y almacenamiento.

I.4.2 Transferencia de tecnología sobre almacenamiento de agua a través de la capacitación y promoción a distintos niveles

Esta actividad se realizó a través de la capacitación, por medio de diplomados, dirigidos principalmente a usuarios domiciliarios, con el apoyo de la municipalidad y miembros de COCODES. Las comunidades priorizadas fueron aquellas que tienen problemas con el recurso hídrico para consumo humano, es decir una necesidad real, además de tener motivación para ser entes multiplicadores en sus comunidades. Este proceso es parte de la experiencia que tiene ICC en la temática y con una gran aceptación en la región.

Los diplomados se dividieron en dos grupos de usuarios domiciliarios, la división se efectuó según el área geográfica. Para el desarrollo del diplomado se planificaron cuatro sesiones teóricas y una gira de campo, para visitar experiencias exitosas.

Para el desarrollo de las sesiones, se inició con aspectos generales sobre la importancia del agua a nivel nacional y local, el ciclo del agua, manejo integrado de cuencas, almacenamiento de agua, utilidad y características de los sistemas, diversas opciones para el almacenamiento de agua, necesidad e importancia de almacenar agua, etc. Ese mismo módulo abordó cuestiones básicas de emprendimiento, administración y gestión empresarial.

La visita de campo se realizó con el objetivo que los comunitarios conozcan y aprendan sobre el funcionamiento de un sistema, desde la captación del agua de lluvia hasta la utilización para consumo. El propósito fue visitar tres proyectos de cosecha de agua que sirven para diferentes usos, por ejemplo; almacenamiento por medio de tinacos, por medio de embalses o reservorios para riego o ganado y cosecha de agua por medio de la niebla. Durante el proceso se mantuvo una gran motivación e interés sobre el tema.

El sistema demostrativo elaborado en el proyecto sirvió y servirá para la transferencia de tecnología mediante promoción. Esta consiste en realizar visitas de corta duración a la infraestructura piloto, donde se abordan especificaciones técnicas, ventajas, desventajas y demás particularidades de los sistemas de almacenamiento de agua.

El público que participó en la promoción del sistema de almacenamiento de agua fue un grupo heterogéneo formado por: usuarios domiciliarios, tomadores de decisiones, personal de centros de salud y representantes de escuelas entre otros. La transferencia de tecnología mediante promoción permite tener un mayor alcance (impactando un mayor número de gente), complementando los esfuerzos realizados para la transferencia de tecnología mediante capacitación.

I.4.3 Estrategia de sostenibilidad: creación de pequeñas empresas comunitarias dedicadas a la comercialización de agua apta para ingesta humana

Para procurar la sostenibilidad del proyecto se pensó en promover la creación de empresas familiares que vendan a un precio bajo el agua almacenada y tratada a sus vecinos en las comunidades priorizadas.

Las medidas de almacenamiento de agua son económicamente viables ya que resultan en ahorros (gastos evitados para la compra de garrafones de agua). Además de cubrir las necesidades (beber y cocinar) de todos los miembros de la familia, la medida es el resultado del excedente de agua almacenada.

El excedente podrá ser comercializado de manera que se recupere la inversión en el sistema, esto ayuda a generar una fuente de ingresos extras o diversificación de los medios de vida de los que adopten esta tecnología.

En la parte de emprendimiento, la Universidad del Valle de Guatemala, a través del Campus Sur, en especial, con la participación del equipo de jóvenes ENACTUS, jugó un papel importante pues ya tenían experiencia en promover empresas pequeñas en comunidades de la costa sur.

Para conocer las experiencias exitosas se realizó un taller departamental (Escuintla) y otro nacional involucrando a tomadores de decisiones para intercambio de experiencias.

I.4.4 Desarrollar una estrategia local que permita la coordinación interinstitucional y la aplicación de las herramientas y medios desarrollados durante el programa

Desde el planteamiento del proyecto se realizaron reuniones periódicas, según los requerimientos del trabajo. Reuniones que se continuaron durante el desarrollo del proyecto MULTICYT 02-2015.

Se realizó una planificación donde se establecieron fechas de reuniones y capacitación al personal de ENACTUS y Municipalidad, con el objetivo de conocer los requerimientos básicos para la ejecución de un sistema de almacenamiento de agua de lluvia.

Se coordinó con personal Técnico Administrativo de la Dirección Departamental de Educación, oficina del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa. El objetivo fue dar a conocer el proyecto y coordinar la realización de un muestreo de agua en una escuela priorizada por la Dirección de Educación. Asimismo, enseñar a los técnicos de educación las acciones básicas para implementar este tipo de proyectos.

I.4.5 Divulgar a las autoridades, actores sociales e instituciones en el campo de su competencia, la información obtenida del programa ejecutado

Para divulgar las acciones efectuadas dentro del proyecto, se planificaron dos talleres, uno a nivel departamental y otro a nivel nacional. Dentro de estos talleres se coordinó con diferentes organizaciones que han desarrollado proyectos de cosecha de agua, con el propósito de hacer un intercambio de experiencias a nivel interinstitucional y población. Dentro del espacio de los talleres se dieron a conocer los principales resultados del proyecto MULTICYT 02-20015.

I.4.6 Materiales

Para el desarrollo de las actividades previstas dentro del proyecto, como socialización, talleres a nivel comunitario, departamental y nacional se utilizó equipo de proyección (cañoneras y computadoras), papel manila, marcadores, entre otros. Se elaboraron diferentes tipos de materiales que sirvieron de apoyo durante la etapa de capacitación a nivel comunitario.

Dentro de los materiales se elaboró un folleto donde se explica paso a paso la implementación de un proyecto de almacenamiento, se explica cómo se calculan áreas y dimensiones básicas; se entregaron hojas de cálculo sobre áreas de captación, como hacer filtros caseros de purificación de agua. Durante las actividades se contó con equipo

demostrativo como filtros de carbón activado, bombas artesanales y una maqueta (Figura 1), donde se explican tres métodos de captación de agua, tanto de lluvia como interceptando la niebla.

En la construcción de la caseta demostrativa se utilizó; madera de pino tratada, tornillos, tuercas, clavos, lamina de zinc, cemento, arena, piedrín, block. Para la instalación del sistema de conducción se utilizó tubería, codos, tee's, tapón tipo hembra y copla con rosca de PVC de Ø4" más canales de PVC y cargadores de metal. Para el área de almacenamiento se utilizó un tinaco de polietileno roto moldeado, para extraer el agua la bomba es de tipo casera con tubería de PVC de Ø ¾" y ½" más accesorios del mismo diámetro y un cinco. Para el filtro se utilizó un barril de polietileno con grava en su interior.

Figura 1. Maqueta para explicar los diferentes métodos de cosecha de agua.



Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015

I.4.6.1 Análisis de agua

Para el muestreo de la calidad del agua de las fuentes primarias y secundarias de las comunidades priorizadas se describen a continuación los aparatos, instrumentos y técnicas utilizadas.

I.4.6.1.1 Variables analizadas en el monitoreo hídrico

- A. **Físicas:** Temperatura y conductividad eléctrica (análisis realizados *in situ* con equipo de ICC), Sólidos disueltos totales (*in situ* y laboratorio).
- i. **Temperatura:** Tiene influencia en la mayoría de procesos químicos y biológicos del agua. Afecta la cantidad de Oxígeno Disuelto en el agua, la velocidad de fotosíntesis de algas y plantas acuáticas más grandes, la actividad metabólica de organismos acuáticos y la sensibilidad de los organismos a los desechos tóxicos, parásitos y enfermedades. Una elevación de la temperatura conduce a reducir la sensibilidad del oxígeno, lo cual afecta la actividad biológica en el agua, así como la capacidad auto depurativa del río.
 - ii. **Conductividad Eléctrica:** Capacidad para transferir una corriente eléctrica, se incrementa principalmente con el contenido de iones (sólidos disueltos) y la temperatura (Fondo del Agua, 2004). Los cambios significativos en conductividad son indicadores de una descarga u otra fuente de contaminación ha entrado al río. El agua es afectada por la presencia de sólidos inorgánicos disueltos como los aniones de cloruro, nitrato, sulfato y fosfato (carga negativa) o cationes de sodio, magnesio, calcio, hierro y aluminio (carga positiva). La conductividad es afectada primordialmente por la geología. Sistemas de drenaje defectuosos aumentan la conductividad por la presencia de cloruro, fosfato o nitrato.
 - iii. **Sólidos Disueltos Totales (TDS):** La contaminación física de los sedimentos es la turbidez (limitada penetración de la luz solar) y la sedimentación que afecta a los embalses, destruye el coral, reducción de desove. Contaminación química debida a los sedimentos incluye la absorción de metales y fósforo, así como las sustancias químicas orgánicas hidrofóbicas (FAO, 1996). La concentración puede llegar a efectos laxantes y mal sabor.
- B. **Químicas:** pH, Oxígeno disuelto, fosfato, nitrito, nitrato, amonio, dureza total y sulfatos.
- i. **Potencial de Hidrógeno (pH):** Puede variar debido a la fotosíntesis, concentraciones de bicarbonato, carbonato e hidróxidos, así como la actividad microbiana. El pH para la vida acuática según EPA (Environment Protection Agency USA) es de

- 6.5 a 8.5 (EPA, 2000). Fuera de 6 – 9 puede ser dañino para la vida acuática. Las variaciones de pH pueden causar perturbaciones celulares y destrucción eventual de la flora y fauna acuática.
- ii. **Fosfato:** (Nutriente) Es introducido a los cuerpos de agua como descargas fecales, detergentes con aditivos fosfatos y fertilizantes agrícolas, los fosfatos totales no deberán exceder dentro del lago o embalses 0.025 mg/L y de 0.05 mg/L en afluentes a lagos y embalses.
 - iii. **Nitrito:** (Nutriente) La aparición depende de la vía oxidativa medida por bacterias del género *Nitrosomas*, que convierten el amonio en Nitritos consumiendo el Oxígeno Disuelto en el Agua. Su evaluación es importante para determinar el estado de autodepuración de un cuerpo de agua y la periodicidad de las descargas de este.
 - iv. **Nitrato:** (Nutriente) Proviene del último estado de putrefacción de la materia orgánica a través de las bacterias de los géneros *Nitrosomas* y *Nitrobacter*. También es incorporado al agua por la descomposición natural de la materia nitrogenada de las aguas de desecho, como de fertilizantes agrícolas.
 - v. **Amonio:** (Nutriente) Resultado de los desechos metabólicos tanto de algas como los organismos en el medio en forma de excretas, así como el resultado de la descomposición de la materia orgánica. Es indicador de contaminación reciente de un cuerpo de agua o la cercanía de una fuente de contaminación. El amonio es muy tóxico en forma de amoníaco, equilibrio que desplaza al incrementarse el pH.
 - vi. **Dureza del Agua:** Concentración de compuestos minerales, en particular sales de magnesio y calcio, y el grado de dureza es directamente proporcional a la concentración de sales metálicas. La dureza del agua tiene una distinción compartida entre dureza temporal (o de carbonatos) y dureza permanente (o de no-carbonatos).
 - vii. **Sulfato:** Presencia de Azufre proveniente de la oxidación de la *Pirita* (Mineral Brillante (Sulfuro de Hierro)) y del uso del ácido sulfúrico, en los vertidos de ciertas industrias (EPA, 2000).

C. **Microbiología:** Coliformes totales y *Escherichia coli*.

Estos microorganismos solo están presentes en las excretas de los seres vivos de sangre caliente (humanos, animales domésticos y silvestres). La presencia de contaminación fecal humana se determina al existir *E. coli*.

Parte II

II.1 MARCO TEORICO

II.1.1 Sistemas de captación de agua de lluvia

En la actualidad estos sistemas representan una alternativa viable para garantizar agua y puede utilizarse para diversos usos. El recurso básico para estos sistemas es la precipitación pluvial, siendo este recurso natural el más valioso, que debe aprovecharse para satisfacer la demanda real de agua (Anaya, 2010).

Los Sistemas de captación y aprovechamiento de agua de lluvia para uso doméstico y consumo humano a nivel familiar y comunitario representan una solución para abastecer en cantidad y calidad a las numerosas poblaciones rurales, periurbanas y urbanas que sufren la carencia de este vital líquido (Phillips, Tschida, Hernández, & Hernández Martínez, 2008).

II.1.2 Elementos de los sistemas de captación de agua de lluvia

II.1.2.1 Factor humano:

El factor humano es el elemento más importante dentro de estos sistemas, ya que pretenden solucionar o mitigar la demanda de agua de las personas, garantizando agua segura en cantidad y calidad para el consumo humano. Dentro de los elementos que se encuentran relacionados directamente con la necesidad de acceso al agua se tienen por ejemplo:

- Cantidad de usuarios del recurso.
- Deseo de iniciar un sistema de aprovechamientos de los recursos naturales.
- Responsabilidad de hacer del sistema de captación algo sustentable (Adler, Carmona, & Bojalil, 2008)

Por esto se denomina a este factor como la "Demanda" del recurso hídrico, se debe estimar la cantidad mínima de litros de agua/día/habitante. La demanda también dependerá de los usos que se quieran dar al agua.

II.1.2.2 Factores técnicos:

Dentro de este factor se determina la factibilidad del sistema, se establece el uso que se le dará al agua, la ubicación óptima, el tipo de techo, sus dimensiones, materiales a utilizar y costos de instalación del proyecto (Adler, Carmona, & Bojalil, 2008). Anaya (2007) agrega que se deben tomar en cuenta todas aquellas obras de infraestructura como medidas de estabilización de taludes; rehabilitación de la capa del suelo y medidas para la restitución de las capas vegetativas, muros de contención, si la zona que se ha identificado para el establecimiento del proyecto lo requiere, de esta manera garantizar una mejor estabilidad e instalación del proyecto.

Otros requerimientos que recomienda el Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia - CIDECALLI- al momento de ejecutar grandes proyectos como reservorios o pequeñas lagunas para el almacenamiento de agua de lluvia, la cual puede ser utilizada para riego de cultivos, ganado o una red de distribución de agua entubada a nivel de comunidades, son los siguientes:

- i. **Información general de la zona:** se deben conocer los planos, mapas, vías de comunicación, superficie de la zona donde se quiera implementar el proyecto, coordenadas.
- ii. **Medio Ambiente:** Se deberá analizar las condiciones generales de relieve; hidrología superficial y subterránea en la zona de explotación; y número de individuos y especies de vegetación arbórea; tipo de suelo, se recomienda de efectuar análisis de suelos, identificar posibles fallas geológicas, entre otros estudios técnicos que agreguen valor al proyecto y seguridad al mismo.
- iii. **Identificación de impactos ambientales:** Previo a la implementación se debe analizar el impacto ambiental que tendrá el proyecto en la zona. Se debe analizar el acondicionamiento del terreno y construcción; e impactos ambientales y medidas de mitigación a ejecutar. Estas medidas se deben prever para evitar ruptura de embalses los cuales pueden llegar a provocar inundaciones súbitas en comunidades de la parte baja del proyecto.

II.1.2.3 Factores Naturales

Para cumplir con la demanda de agua de la población, cultivo o ganado, se necesita contar con el elemento básico la lluvia, denominándose como "oferta"; el éxito del proyecto dependerá de ésta. Con este factor natural se debe dimensionar el sistema, de esta forma se garantiza que la población cuente con agua durante los meses más críticos del año.

Dentro de esta oferta influyen los factores como la irregularidad del lluvia en: cantidad (precipitación), intensidad y duración de las lluvias, distribución en tiempo y espacio (Salinas, 2001, citado en Díaz, 2013). Es importante analizar lluvias máximas, cuáles son los meses con mayor disponibilidad del recurso, cuales son los meses con mayor carencia de agua (temporada seca).(Adler, Carmona, & Bojalil, 2008). Se debe contar con registros históricos de precipitación, lo recomendable es tener un mínimo de diez años para el análisis y conocer los promedios de lluvia por mes (Díaz, 2013).

II.1.3 Componentes de un sistema de captación de agua de lluvia

El CIDECALLI (2007) indica que un sistema de captación de agua de lluvia se compone de los siguientes elementos:

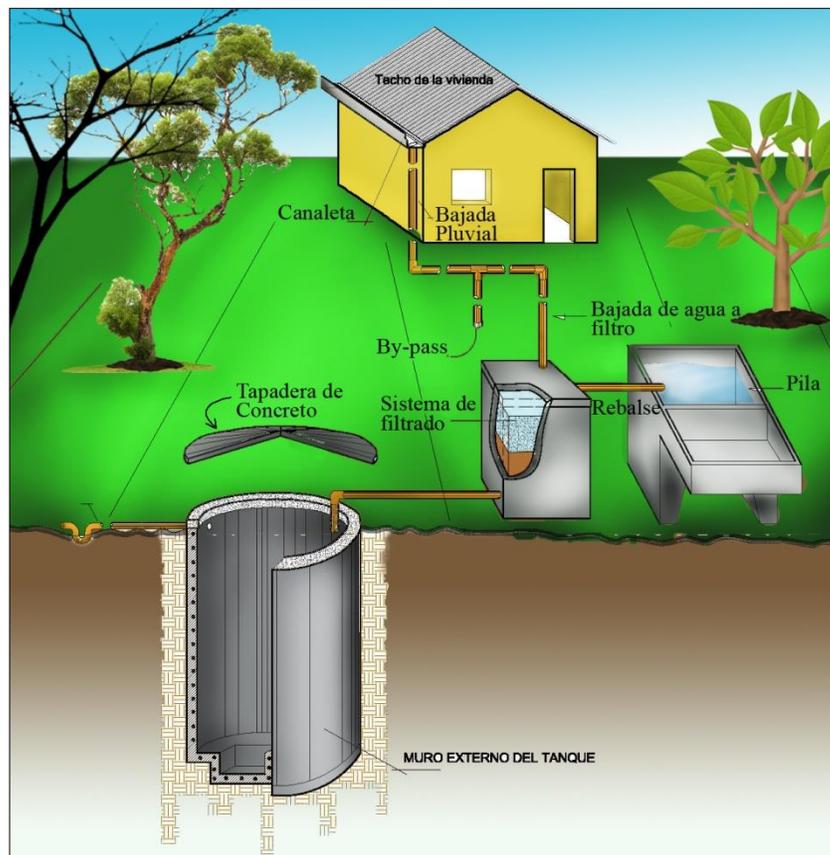
- Localización del sitio para su construcción.
- Área de Captación.
- Sistema de Conducción.
- Infraestructura y almacenamiento.

Además Ayala (2011) hace mención que el sistema debe tener componentes adicionales, mencionando los siguientes:

- Filtración y tratamiento.
- Sistema de bombeo.

En la (Figura 2) se ejemplifican los componentes que se compone un sistema de cosecha de agua a nivel domiciliario.

Figura 2. Componentes básicos del Sistema de Captación de Agua de Lluvia



Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015

II.1.3.1 Área de captación

Esta área se refiere a la superficie donde caerá la lluvia, la cual servirá para recolectar la escorrentía del agua de lluvia que cae en superficies permeables (FAO, 2013; Garduño, 2006). La mayoría de los sistemas y sobre todo los proyectos que se ejecutan a nivel familiar, utilizan la captación en los techos siendo esta la forma más conocida y difundida (Velasco et al., 2000) , los cuales deben tener las siguientes cualidades:

- i. Adecuada pendiente.
- ii. Techo impermeabilizado
- iii. No debe desprender olores, ni colores o sustancias que contaminen el agua (Díaz, 2013).

Estos techos pueden ser desde losas de concreto, techos inclinados compuestos por teja, diferentes tipos de láminas, invernaderos. Es importante que las áreas de captación se limpien antes de impermeabilizarlas; si son de lámina galvanizada o asbesto se recomienda revisar si tienen algún deterioro y en su caso sustituirlas, antes de su impermeabilización (Garduño, 2006).

El área de captación no sólo pueden ser los techos, el CIDECALLI (2007) hacen referencia que también se pueden utilizar las superficies impermeables como los son canchas, patios, estacionamientos, que no desprendan residuos o contaminantes al contacto con el agua e incrementen el costo del tratamiento para obtener un producto de calidad

Figura 3. Ejemplo de área de captación de agua de lluvia sobre un techo



Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015

Figura 4. Ejemplo de área de captación de agua de lluvia en área impermeabilizada



Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015

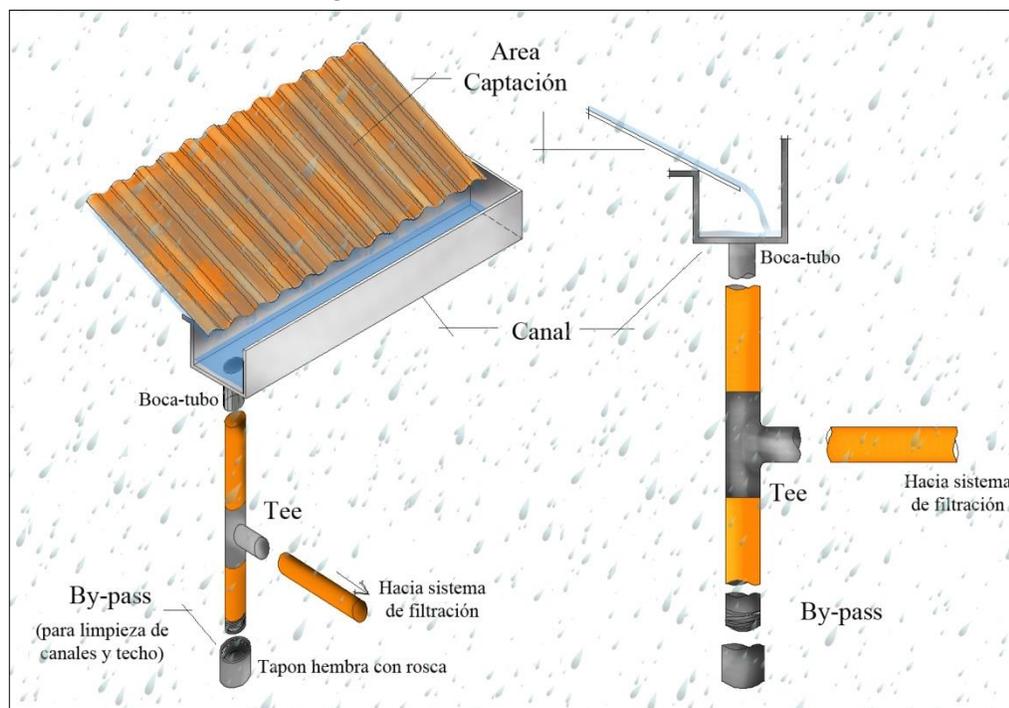
II.1.3.2 Sistema de captación y recolección de agua

Este es un conjunto de elementos que sirven para recolectar el agua y conducirla hacia el tanque de almacenamiento. Se compone de elementos de PVC, aluminio, lámina galvanizada (canales, bajadas pluviales de canales y tubería).

El canal es el elemento que se instala en la parte baja del techo, su objetivo es capturar el 100% del agua que cae sobre la superficie de captación (techo) este elemento debe ser diseñado para soportar los caudales máximos, según lluvias extremas de la zona donde se ubica el proyecto. Debe contar con soportes resistentes para resistir el peso del agua, así como evitar que se llene de hojas u objetos que obstruyan la circulación del mismo. Se recomienda que tenga un % adecuado de pendiente para lograr evacuar el agua.

Seguidamente a la bajada del canal se dispone de una conexión llamada boca tubo, la cual conecta con el tubo de conducción. Se debe calcular el diámetro " \varnothing " mínimo del tubo, según las precipitaciones de la zona y la capacidad de evacuar el agua. Es recomendable dejar en la parte baja un By-Pass para dar mantenimiento al techo y al sistema de canales. En la Figura 5 se ejemplifican los elementos básicos que conforman el sistema de recolección de agua.

Figura 5. Elementos del sistema de recolección



Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015

II.1.3.3 Sistema de filtración:

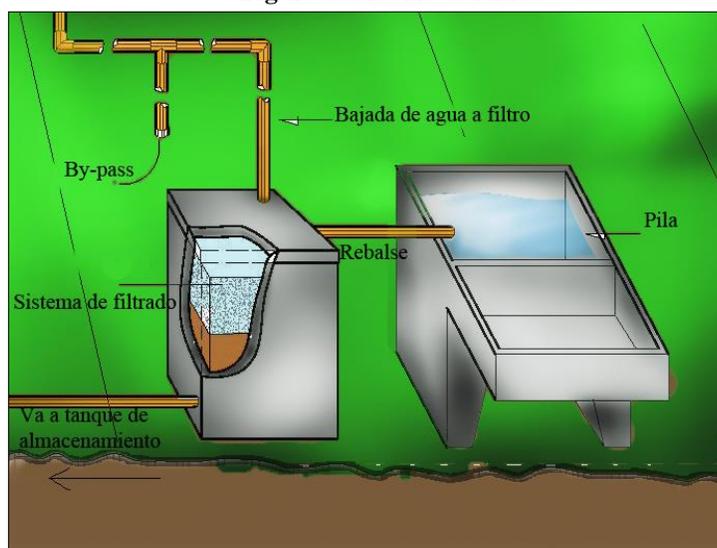
Inicialmente los sistemas de captación de agua de lluvia, captaban la lluvia y era conducida directamente al tanque de almacenamiento para luego ser utilizada, previo a utilizarse recomendaban dar algún tratamiento para consumirla (Díaz, 2013; Garduño, 2006). En la actualidad se recomienda dar un tratamiento previo antes de almacenarla así como, antes de consumirla. Asegurándose contar con una mejor calidad de agua.

El primer filtro servirá para eliminar impurezas que se encuentren en el área de captación y conducción-Figura 6, también denominados como sedimentadores. Generalmente los filtros están compuestos por capas de materiales porosos (gravas en diferentes tamaños), materiales finos (arena) y carbón activado, que permite purificar este líquido por medio de la gravedad, al pasar por cada una de las capas (Díaz, 2013; Velasco et al., 2000).

Adicionalmente a los elementos que garantizan un cierto nivel de calidad del agua, pueden agregarse mantas para separar las capas de materiales e incrementar el nivel de filtrado. El exterior puede ser construido de block o bien puede utilizarse con barriles o toneles de polietileno. La municipalidad de Guatemala en los proyectos escolares implementa una batería de barriles de polietileno implementando una sola capa de material por cada uno, de esta manera aseguran captar mayor cantidad de agua (Cobos, 2016).

El filtrado se realiza de una manera lenta, por lo cual, se recomienda dejar instalado un tubo de rebalse para evitar la saturación y desbordamiento del agua, de esta manera tener un control sobre ese exceso. Lo mejor sería instalar un tanque o una pila para aprovechar ese excedente de agua. Por último, se debe dar un tratamiento luego de extraerla del tanque de almacenamiento, previo a consumirla, de esta manera se garantiza consumir un agua de buena calidad.

Figura 6. Sistema de Filtrado



Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015

II.1.3.4 Sistema de almacenamiento

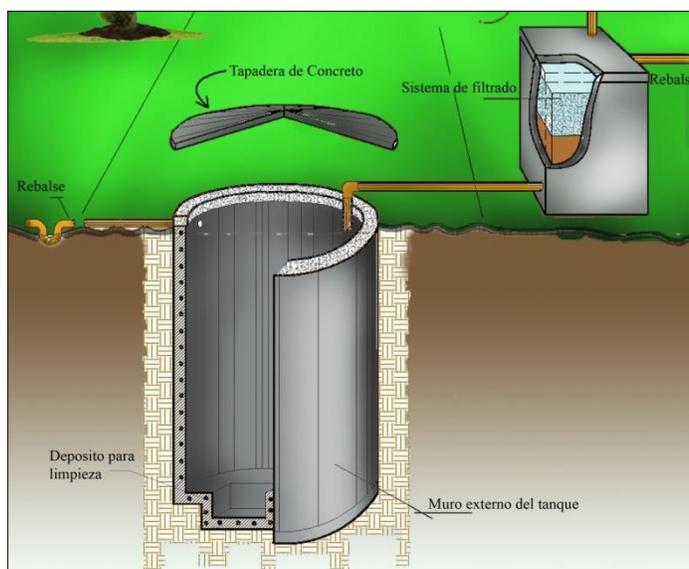
Este se refiere al depósito que será destinado para almacenar el agua captada. Sus dimensiones serán definidas luego de conocer los metros cuadrados de techo de captación, oferta de agua de la zona y conocer la demanda y uso que le dará la familia al recurso hídrico (Adler et al., 2008; Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2001). Este depósito se puede construir o instalar con tanques prefabricados.

Es importante resaltar, que el depósito debe cumplir con las siguientes características;

- Debe tener la capacidad de almacenar y abastecer de agua a la familia, sobre todo durante los meses más secos.
- Debe ser impermeable para evitar fugas de agua
- Debe estar totalmente sellado, contar con tapadera para evitar el ingreso de polvo, insectos y rayos solares.
- Es importante que el depósito cuente con una altura adecuada para el ingreso de una persona, esto con el propósito de limpiar o hacer reparaciones en su interior.
- Se recomienda dejar un tubo de rebalse, para evitar saturación y desbordamiento del tanque. Este debe tener su sello hidráulico y en la salida una malla para evitar el ingreso de insectos o animales.

Los depósitos pueden ser sobre el suelo o enterrados; estos pueden ser contruidos de ferro-cemento, de block, o bien, pueden ser prefabricados de polietileno roto moldeado. Esto dependerá de tipo de tanque y de la capacidad tanto económica como de almacenamiento que se requiera.

Figura 7. Sistema de almacenamiento de agua



Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015

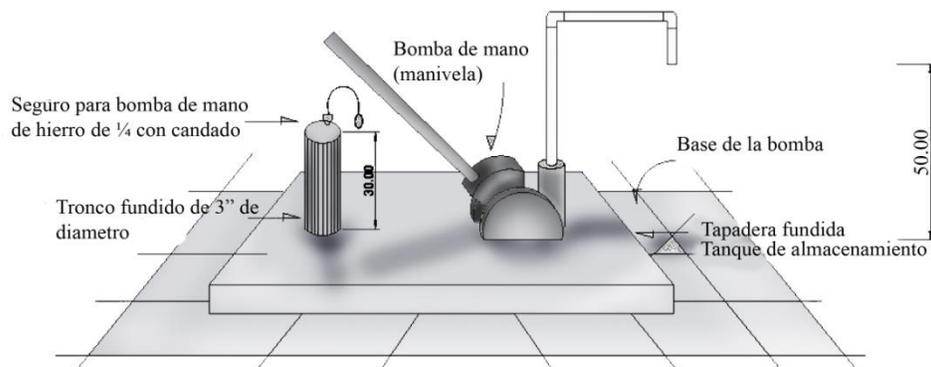
II.1.3.5 Sistema de distribución y bombeo

Está compuesto por una serie de elementos que permiten extraer el agua del tanque de almacenamiento y de esta forma hacer uso del recurso hídrico. Este básicamente se compone de tubos y accesorios de PVC dentro de la cisterna y una bomba, que sirve para levantar la columna de agua y luego distribuirla a la red de agua de la vivienda.

La red de distribución se deberá diseñar según los requerimientos para los que se desea utilizar el agua de lluvia; de igual forma se definirá la capacidad que debe tener la bomba y el equipo hidroneumático que se utilice; dentro de los requerimientos básicos se debe contar con las distancias y alturas máximas de diseño.

El equipo para extraer el agua (bombas) pueden ser sistemas electromecánicos los cuales pueden servir para subir el agua a un tanque de distribución que se encuentre elevado o abastecer la red de distribución de riego o de la vivienda (Adler et al., 2008). Otra forma de extraer el agua, puede ser de manera convencional, estas bombas son fabricadas con materiales sencillos y de bajo costo, son conocidas como bombas de manivela o mayas (Figura 8). Este sistema es accionado de manera manual, extrayendo el agua en el mismo lugar.

Figura 8. Dibujo de una bomba de manivela



Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015

II.1.4 Bases para el diseño del sistema

Para la implementación de un Sistema de Captación de Agua de Lluvia, se debe tomar en cuenta una serie de variables y características que determinan el correcto diseño de todos los componentes (Díaz, 2013; Garduño & Martínez, 2007)

Los componentes básicos que determinan la dimensión y capacidad del sistema son los siguientes:

- Determinación de la demanda de agua a nivel familiar o comunidad.
- Cálculo de la precipitación pluvial neta.
- Cálculo del área de captación.
- Cálculo del diámetro de la tubería.
- Diseño del sistema de almacenamiento del agua de lluvia captada.

II.1.4.1 Determinación de la demanda de agua a nivel familiar

La demanda de agua es la dotación que necesita una persona diariamente para cumplir con sus funciones físicas y biológicas de su cuerpo (FAO, 2013; Garduño & Martínez, 2007).

El agua es utilizada para diferentes actividades dentro del hogar, cada persona o familia determina para que necesita y como utilizará el agua. (Velasco et al., 2000). Lo prioritario siempre será garantizar agua para beber y/o cocinar, sin embargo para el cuidado de la salud se deben cumplir con requerimientos como bañarse, limpieza del hogar, lavar ropa, cubrir la demanda de las necesidades fisiológicas y cada uno de ellos, requiere de uso adicional de agua (Figura 9), con menos urgencia pero que favorecen el bienestar de la familia (OMS, 2009).

Para determinar el total de agua necesaria en actividades domésticas se debe obtener la demanda de agua mensual y anual en base al promedio que gasta una persona. La OMS (s/f) considera que 50 litros de agua por persona al día, satisfacen la demanda para beber, cocinar, higiene personal y limpieza del hogar. El consumo básico es de alrededor de 20 l/persona/día el cual se utiliza para beber, higiene básica de la alimentación y cocina. El mínimo se considera que debe ser de 5 l/persona/día, el cual se garantiza únicamente para el consumo (Howard & Batram, 2003).

Figura 9. Jerarquía de las necesidades de agua



Fuente: Organización Mundial de la Salud-OMS, 2009

Para el cálculo de la demanda mensual el CIDECALLI (2007) ha determinado la siguiente expresión matemática:

$$D_j = \frac{Nb * Dot * Nd_j}{1000} = m^3$$

$$D_{anual} = \sum_{j=1}^{12} D_j$$

j = No. del mes, j = 1,.....,12

Donde:

D _j	=	demanda de agua en el mes j, m ³ /mes/población,
Nb	=	número de beneficiarios del sistema,
Dot	=	dotación en l/persona/día,
Nd _j	=	número de días del mes (30.4),
D _{anual}	=	demanda de agua para la población ,
j	=	número del mes (j = 1,2,3,4...,12)
1000	=	Factor de conversión de litros a m ³ .

Fuente: Garduño & Martínez; CIDECALLI, 2007

Ejemplo: Si se requiere determinar la cantidad de agua que necesita una familia de 4 integrantes en un mes, abasteciéndose con 50 l/persona/día se aplica la fórmula de la siguiente manera:

$$D_j = \frac{4 * 50 * 30.4}{1000} = 6.08 m^3$$

$$D_{Anual} = 6.08 m^3 * 12 (meses) = 72.96 m^3$$

La familia tiene una demanda de agua de 6.08 m³ al mes y de 72.96 m³ de agua por año.

II.1.4.2 Cálculo de la precipitación pluvial neta (oferta)

Para determinar la precipitación pluvial neta que puede ser aprovechada, se deben tomar en cuenta varios factores, como por ejemplo; el tipo de material del área de captación (Tabla 1) el cual determina el coeficiente de escurrimiento (Ce), se debe descontar la pérdida de la gota de lluvia por el viento, el rebote al impactar sobre el techo, la evaporación del agua y la pendiente de los techos, variables que deben ser analizadas y consideradas por medio de un coeficiente de captación del 85% (0.85) planteado por el CIDECALLI (2007) para determinar la precipitación neta.

Es importante contar con un mínimo de 10 años de datos de precipitación para el análisis y conocer los promedios de lluvia por mes en la zona donde se

implemente el sistema (Díaz, 2013). Las precipitaciones medias mensuales abajo de 50 mm y de baja intensidad (mm/h) no se recomienda considerarlas dentro del diseño, sobre todo si estas se presentan en época seca, ya que la cantidad y calidad del agua de lluvia no son apropiadas para su almacenamiento (Díaz, 2013; Garduño & Martínez, 2007). Estas primeras lluvias tienen la característica de limpiar la atmósfera, pueden servir para dar una limpieza completa al sistema de captación y conducción.

Dentro de las consideraciones para obtener un dato rápido del promedio de agua que se puede llegar a captar, es que, por cada milímetro de agua de lluvia que cae sobre un metro cuadrado, se obtiene un litro de agua (Garduño & Martínez, 2007).

Tabla 1. Coeficiente de escurrimiento (C_e) de los diferentes materiales en el área de captación

Área de Captación	C_e
Cubiertas superficiales	
Concreto	0.6 - 0.8
Pavimento	0.5 - 0.6
Geomembrana de PVC	0.85 - 0.90
Azotea	
Azulejos teja	0.8-0.9
Hojas de metal acanaladas	0.7-0.9
Orgánicos (hojas con barro)	<0.2
Captación en tierra	
Suelo con pendientes menores al 10%	0.0-0.3
Superficies naturales rocosas	0.2-0.5

Fuente: Garduño & Martínez ; CIDECALLI, 2007

La fórmula para estimar la precipitación neta se compone de la siguiente manera (Garduño & Martínez, 2007):

$$PN = P * \eta_{captación}$$

$$\eta_{captación} = C_e * 0.85$$

Donde:

- PN = Precipitación neta (mm),
- P = Precipitación (mm),
- $\eta_{captación}$ = Eficiencia de captación del agua de lluvia,
- C_e = Coeficiente de escurrimiento

Ejemplo: Si la casa donde se construirá el sistema se encuentra en el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa y su techo es de lámina galvanizada, el Ce (Coeficiente de escurrimiento) a tomar será de 0.9; la probabilidad de lluvia, y de captación es de 85%; aplicando la siguiente fórmula:

$$\eta_{captación} = 0.9 * 0.85 = \mathbf{0.765}$$

Aplicando la fórmula de precipitación neta PN: (se necesita contar con los promedios mensuales de precipitación, lo recomendable es tener información con un mínimo de 10 años)

$$PN = P * \eta_{captación}$$

$$PN = P * 0.765 =$$

En la zona se tiene una estación del INSIVUMEH, que cuenta con información histórica de precipitación de 24 años (1990 al 2013). En la Tabla 2 se presenta la precipitación promedio mensual de 24 años, registrada en la estación de Camantulul; seguidamente se aplica la fórmula de PN en meses que presentan una precipitación mayor a 50 mm.

Determinando los valores de PN. Continuando con el ejemplo:

$PN_{Marzo} = 56mm * 0.765 = 42.84$ / $PN_{Abril} = 205mm * 0.765 = 156.82$... hasta el mes de noviembre que presenta un promedio mensual de 185 mm.

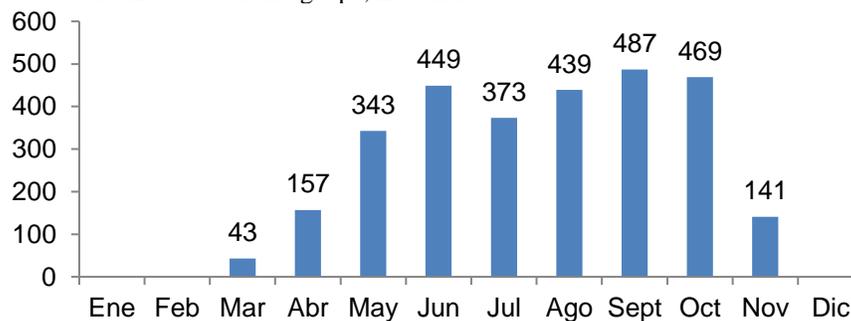
Tabla 2. Precipitación promedio de la estación de Camantulul.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Anual
Precipitación Promedio	17	31	56	205	448	587	487	574	637	614	185	38	3878
$PN \geq 40$ mm			43	157	343	449	373	439	487	469	141		2901

Fuente: INSIVUMEH, 2015

El resultado de la PN que puede ser aprovechada en un sistema que se instale en Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla; es de 2901 mm/año.

Figura 10. Precipitación Neta -PN para la aplicación de un sistema de captación de agua de lluvia en el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla.



Fuente: INSIVUMEH, 2015

II.1.4.3 Área de captación del agua de lluvia

Esta área se determina por las dimensiones del techo de la vivienda, específicamente multiplicando el ancho por el largo, dando como resultado los m² de techo efectivos de captación.

La fórmula es la siguiente (CIDECALLI, 2007):

$$A = a * b$$

Donde:

$$\begin{aligned} A &= \text{Área de captación, m}^2 \\ a &= \text{Ancho de la casa, m} \\ b &= \text{Largo de la casa, m} \end{aligned}$$

Luego de aplicar la formula básica y obtener el resultado, se debe comprobar si las dimensiones del techo cubren la demanda de la familia o si hay que agregar más área, aplicando la siguiente fórmula:

$$A_{ec} = \frac{D_{anual}}{\sum PN} = m^2$$

Donde:

$$\begin{aligned} A_{ec} &= \text{Es el área de captación efectiva para abastecer la demanda de agua a una familia, su resultado es en m}^2 \\ D_{anual} &= \text{Demanda de agua anual que necesita una familia, m}^3 \\ \sum_{PN} &= \text{Suma de las precipitaciones netas medias mensuales que originan escurrimiento, m} \end{aligned}$$

Fuente: Garduño & Martínez: CIDECALLI. 2007

Si cuenta con una referencia de m² de techo establecido y se desea saber la cantidad de agua a captar durante el año, se puede desplegar la fórmula de la siguiente manera:

$$D_{anual} = A_{ec} * \sum PN = m^3$$

Donde A_{ec} representa los m² de techo construido, por la sumatoria de PN de los meses con precipitaciones mayores a 50 mm. El resultado será en m³ de agua que logra captar durante el año en relación al techo evaluado.

II.1.4.4 Cálculo de diámetro de tubería

Para el cálculo de la tubería se puede aplicar una serie de fórmulas para calcular su diámetro "Ø" según el caudal y la aplicación de fórmula de manning. Sin embargo, estas fórmulas pueden llegar a complicarse al presentarlas a niveles comunitarios, donde la experiencia de varias personas es la implementación canales y bajadas de agua de 3" y 4" de Ø, según la intensidad los m² de evacuación de techo.

Para facilitar este cálculo se trabaja con la Tabla 3, donde relaciona el tamaño del área de captación en m² con el diámetro de la bajante con capacidad de desalojo para una intensidad de lluvia de 100 mm/h (Soriano, 2007; citado en Díaz, 2013).

Tabla 3. Definición de diámetro de tubería según superficie de techo

Superficie en m ² (Techo)	Diámetro de tubería (mm)	Diámetro de tubería (Pulgadas)
65	50	2
113	63	2 ½
177	75	3
318	90	3 ½
580	110	4
805	125	4 ½
1544	160	6
2700	200	8

Fuente: Soriano, 2007; citado en Díaz, 2013

Díaz (2013) cita a Soriano (2007) quien propone el diámetro que deben tener los recolectores (canales) en relación a la pendiente, según se muestra en la Tabla 4 donde hace referencia del diámetro de los colectores, de acuerdo a los m² de techo y la sección longitudinal de la canaleta; considerando una intensidad de lluvia de 100 mm/h.

Tabla 4. Diámetro de los colectores de acuerdo con el porcentaje de la pendiente y la sección longitudinal de la canaleta.

% Pendiente/ Área de captación (m2)			Diámetro del Colector (mm)	Diámetro en pulgadas
1%	2%	4%		
125	178	253	90	3 ½
229	323	458	110	4
310	440	620	125	4 ½
614	862	1228	160	6
1070	1510	2140	200	7.87
1920	2710	3850	250	9.84
2016	4589	6500	315	12.4

Fuente: Soriano, 2007; citado en Díaz, 2013

II.1.4.5 Diseño del sistema de almacenamiento de agua de lluvia captada

El criterio para el diseño del volumen de la cisterna consiste en considerar la demanda de agua mensual que necesita una población durante los meses de mayor sequía (Garduño & Martínez, 2007). Además recomiendan considerar un coeficiente de seguridad al momento de dimensionar el tanque de almacenamiento, para esto indican, que se haga un calculo de 2 meses mas, con el objetivo de asegurar el abastecimiento de agua a nivel familiar.

La formula básica que proponen para el dimensionamiento del tanque es la siguiente:

$$V_{cisterna} = D_j * M_{sequia + 2} = m^3$$

Donde:

$$\begin{aligned}
 V_{cisterna} &= \text{Volumen mínimo de la cisterna, } m^3 \\
 D_j &= \text{Demanda mensual, } m^3 \\
 M_{sequia + 2} &= \text{Meses con sequía más 2}
 \end{aligned}$$

Parte III

III.1 RESULTADOS

III.1.1 Diseño e instalación de sistemas demostrativos de captación, almacenamiento y potabilización

Para el desarrollo de este resultado se evaluaron las principales variables que orientaron para la selección de comunidades y el área para la instalación adecuada del sistema demostrativo. Partiendo desde el desarrollo de una línea base con el propósito de medir en el tiempo los cambios o el impacto del proyecto.

El proyecto promovió el acceso de agua para consumo humano a nivel familiar, sobre todo en aquellas épocas donde la disposición de agua es crítica. Esta situación se divide por temporadas debido al régimen de lluvias de la zona, en época seca existe escasez (agua superficial y subterránea) y en época lluviosa los sistemas de abastecimiento hídrico colapsan, situación que ocurre año con año.

Para el alcance de este primer resultado se desarrollaron reuniones de coordinación con los principales socios, siendo la municipalidad de Santa Lucía Cotzumalguapa y ENACTUS (Universidad del Valle de Guatemala, Campus Sur). Se efectuó el lanzamiento del proyecto ante el Consejo Municipal de Desarrollo (COMUDE), donde se realizó una encuesta para conocer la situación de los proyectos de agua a nivel comunitario, seguidamente se tabuló, ordenó y se obtuvo una base de datos con la información colectada.

Luego se realizó el análisis de información cartográfica digital (Sistemas de información geográfica), donde se realizaron mapas temáticos que se relacionan con las características hidrológicas y climáticas del municipio, los mapas elaborados son: cartografía, población (años 2001 y 2009), hidrología, hipsométrico y zonas de vida.

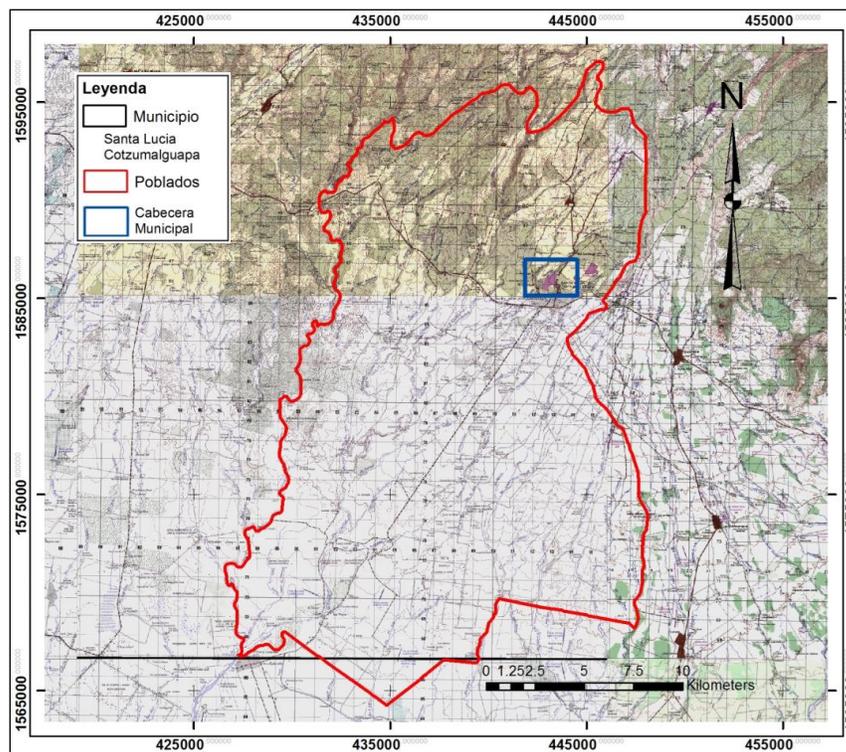
Se efectuó un análisis de la precipitación promedio y días de lluvia en el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa. Finalizando este resultado con el análisis de muestras de agua de las principales fuentes utilizadas para el consumo humano a nivel comunitario donde se determinó calidad física, química y microbiológica.

III.1.1.1 Descripción Biofísica

El municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa tiene una extensión territorial de 45485.28 ha, equivalente a 454.85 km², entre altitudes que van desde los 50 hasta los 940 msnm. Colinda con los municipios de: San Pedro Yepocapa, Chimaltenango al Norte, La Gomera al Sur, al Este con los municipios Siquinalá y La Democracia y la Oeste con Patulul y la Nueva Concepción (Figura 11).

Para el año 2001 dentro del municipio existían 109 centros poblados que se dividen en 12 categorías y para el año 2009 se registraron 180 centros poblados que se agrupan en 15 categorías (Tabla 5). La diferencia entre las dos fuentes de información se debe a que la primera delimita polígonos y la segunda solo ubica las comunidades a través de puntos.

Figura 11. Cartografía del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla



Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.
CGS-Datum WGS84
Shapes: ICC, 2014; MAGA, 2001 y 2009

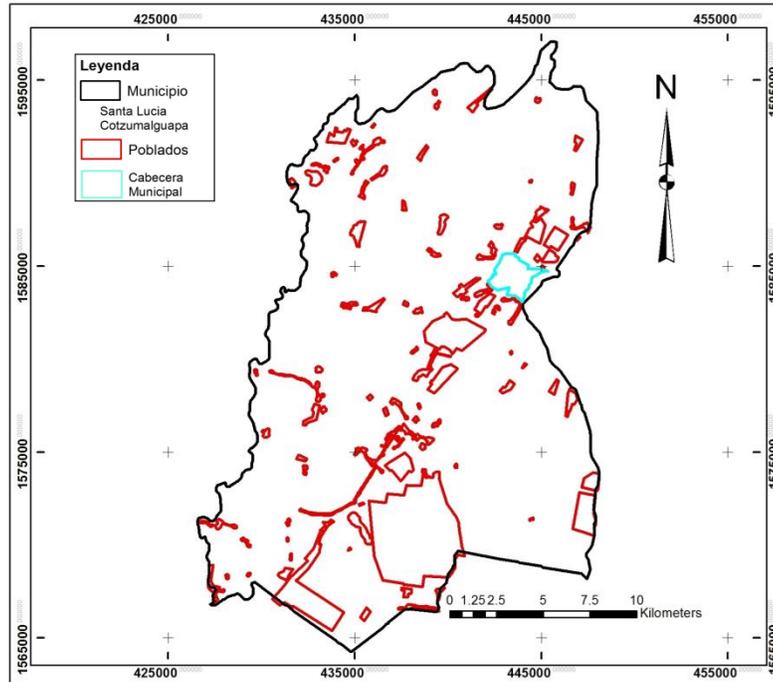
Tabla 5. Centros poblados para el año 2001 y 2009 del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa.

No.	Categoría 2001	Cantidad	No.	Categoría 2009	Cantidad
1	Aldeas	4	1	Aldeas	40
2	Caserío	10	2	Colonias	15
3	Ciudades	2	3	Estaciones	4
4	Colonias	3	4	Fincas	63
5	Fincas	58	5	Granjas	9
6	Hacienda	21	6	Guardianias	1
7	Labor	1	7	Haciendas	28
8	Lotificación	1	8	Ingenio	1
9	Microparcelamiento	4	9	Labor	1
10	Paraje	1	10	Lotificación	2
11	Parcelamiento	3	11	Microparcelamiento	1
12	Ranchería	1	12	Parcelamiento	2
	Total	109	13	Rancheria	8
			14	Residencial	1
			15	Sitio Arqueológico	4
			Total	180	

Fuente: MAGA, 2001 y 2009

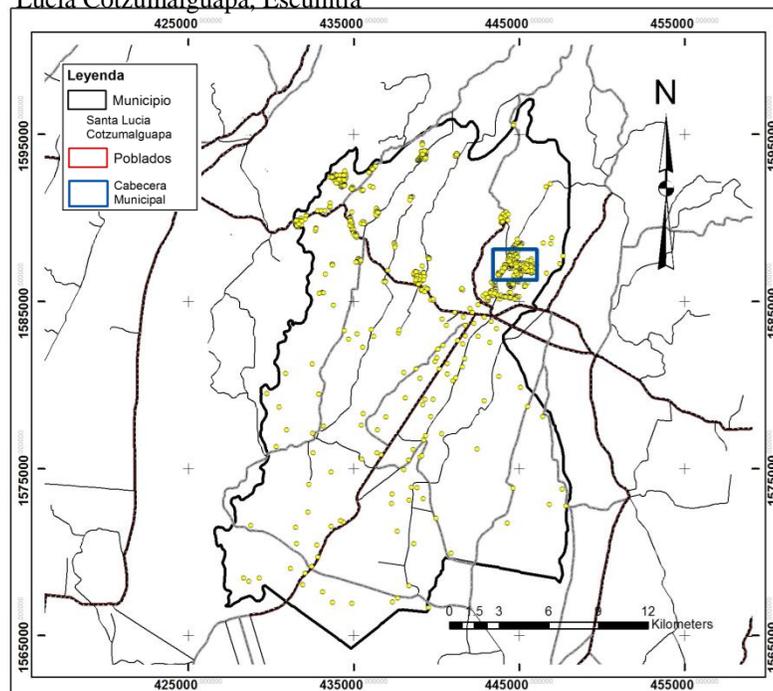
Fuente: MAGA, 2001 y 2009

Figura 12. Centros poblados del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla (2001)



Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.
CGS-Datum WGS84
Shapes: ICC, 2014; MAGA, 2001 y 2009

Figura 13. Centros poblados (2009) y red vial del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla



Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.
CGS-Datum WGS84
Shapes: ICC, 2014; MAGA, 2001 y 2009

Como se observa en el mapa (Figura 12) los centros poblados se definen por polígonos, existen centros poblados de mayor tamaño que la cabecera municipal, este caso es para los parcelamientos o microparcelamientos que viven próximos o dentro de sus parcelas o terrenos que son destinados a producción agrícola y pecuaria.

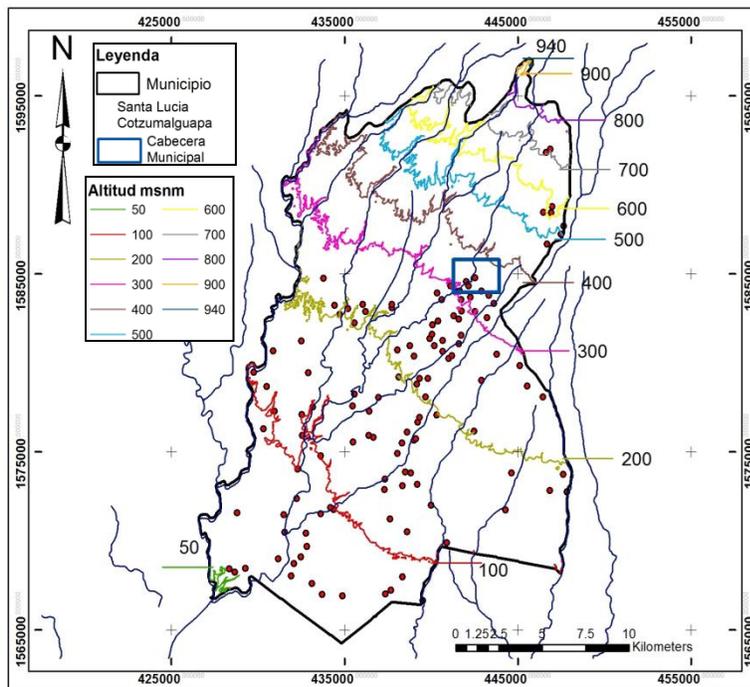
En el mapa (Figura 13) se presenta a través de puntos la ubicación de los centros poblados, esta información corresponde al año 2009, la cual subdivide los centros poblados, por ejemplo las guardianías son parte de fincas o haciendas, así como los sitios arqueológicos.

III.1.1.2 Descripción Climática

Las características climáticas de una región están definidas principalmente por su altitud, la distancia entre mares y su ubicación en latitud dentro del globo terrestre; el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa se ubica entre altitudes que van desde los 50 msnm hasta los 940 msnm, esto hace que estén presentes tres regiones bioclimáticas o zonas de vida.

La altitud es una variable que determina la precipitación anual, la cual aumenta con respecto a mayor altitud y viceversa, la temperatura tiene un comportamiento inversamente proporcional a la precipitación, es decir, a mayor altitud menor temperatura y viceversa (Figura 14).

Figura 14. Hipsometría del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla



Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.
CGS-Datum WGS84
Shapes: ICC, 2014; MAGA, 2001 y 2009

Con los datos de temperatura se puede estimar la evapotranspiración potencial como principal pérdida de agua en lámina anual (mm/año), la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración potencial nos indica si existe o no disponibilidad hídrica (balance hidrológico positivo o negativo). Otra variable que tiene un efecto regulador del climática a nivel microregional es el uso del suelo o la cobertura vegetal, principalmente la cobertura forestal.

Se analizó la información de precipitación anual (mm/año) de la estación climática Camantulul, ubicada en el municipio de Santa Lucía Cotzumalgupa de INSIVUMEH. Los datos disponibles son del año de 1990 hasta el 2013 (24 años), para el municipio se tiene una precipitación promedio de 3878 mm/año, siendo el año más lluvioso con un registro de 5170 mm para el año de 2006 y el año menos lluvioso fue en 1991 con un registro de 2764.2 mm. (Tabla 6).

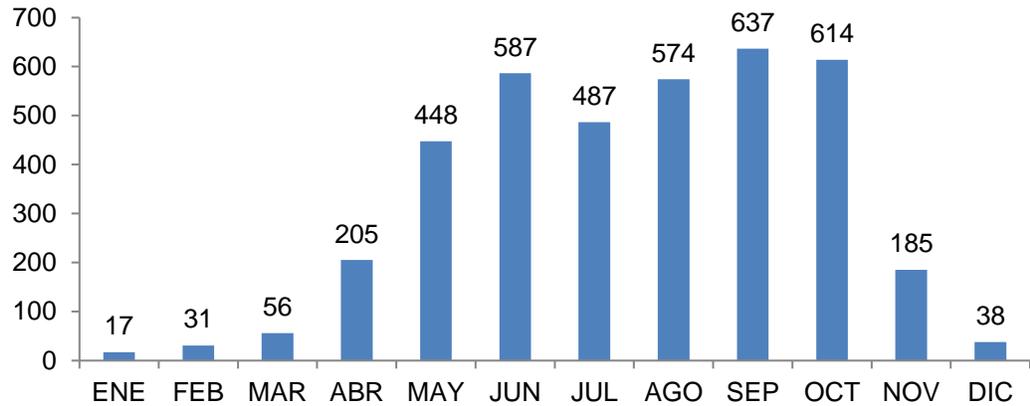
Los datos promedios mensuales muestran que el mes con más lluvia es septiembre con 636.6 mm y el mes con menos lluvia es enero con 17.0 mm (Figura 15); el mayor registro de precipitación mensual fue en agosto de 2011 con 974.8 mm y el menor registro mensual fue de 0 mm, siendo el año de 1998 el que tiene 3 meses con 0 mm/mes (enero, febrero y marzo). Los registros de días de lluvia (Tabla 7) se analizaron para determinar el mes donde se cuenta con mayor disponibilidad de precipitación, los promedios mensuales indican que el mes de septiembre son 25 días de lluvia, y con menos días de lluvia es enero con 2 días. Lo que representa una precipitación diaria promedio de 25.5 mm/día y 8.5 mm/día respectivamente.

Tabla 6. Registros de precipitación mensual y anual en mm (milímetros) de la estación climática de Camantulul de INSIVUMEH.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
1990	13.5	104	67.6	408.7	482.8	652.2	360.6	324.1	687.1	721.5	219	28.9	4070.0
1991	25.3	0	6.2	105.6	321.6	567.5	263	301.7	427.3	521.9	108.9	115	2764.2
1992	1.7	0	99.6	115.2	329.3	536.7	554.7	461.5	787.4	324.9	281.7	0	3492.7
1993	8.4	21.6	90.6	137.1	339	733.5	291.5	704.8	496.9	679.8	40.9	0	3544.1
1994	17.8	2.8	33.3	76.6	262.4	409.9	388	529.4	365.5	590.7	186.5	17.4	2880.3
1995	0	11.9	77.3	288.3	182.7	418.8	478.4	478.4	619.6	422.5	195.4	28.6	3201.9
1996	22.8	0	5.2	374.9	618.4	589.7	405.1	517.6	843.2	466.8	110.6	1.2	3955.5
1997	11.5	17	64	429.8	214.9	632.2	487	468.6	687.7	524.2	417.2	157	4111.5
1998	0	0	0	29.8	130	510.6	448.4	828.3	545.5	659.1	483.2	40.7	3675.6
1999	0.4	40.4	37.6	304.9	439.8	554.3	630.4	615.9	716.6	672.2	132.8	0	4145.3
2000	10.5	32.6	18.7	86.3	427	543.3	562.9	535.7	758.4	502.5	148.9	14.5	3641.3
2001	6.2	12.4	17.5	54.1	455.4	633	406	310.2	639.3	661.9	63.4	1.2	3260.6
2002	15.8	2.9	16.8	87.2	392.3	367.1	425.5	294.6	498.3	757.9	204.3	22.8	3085.5
2003	0.0	39.7	92.1	267.7	808.1	727.6	890.7	649.7	636.6	486.7	135.9	0.5	4735.3
2004	9.0	18.7	99.4	117.9	676	611.2	302	512.7	757	777.3	185.4	22.3	4088.9
2005	10.0	0.0	68.8	129.2	424.6	946.2	215.2	462.8	836.9	802.3	1.6	0	3897.6
2006	32.5	40.9	100	340.5	512.5	688.9	712.8	792.4	594.1	854	440.9	60.5	5170.0
2007	17.0	17.2	57.8	239.2	444.8	496	608.4	760.1	533.7	589	161	95.9	4020.1
2008	7.2	125	110	250.7	250.8	578.1	547.7	721.2	912.7	433.3	82	29.1	4048.4
2009	99.8	6.0	37.6	43.5	650.1	617.8	423.6	400.4	550.4	553.5	12	22.3	3417.0
2010	23.3	40	6.1	285.8	827.0	863.6	596.5	748	956.1	339.4	150.6	73.8	4910.2
2011	49	77.9	70.3	278.9	558.3	442.8	685.4	974.8	493.4	788.7	106.4	34.9	4560.8
2012	21.1	17.4	140	359	503.7	366.3	509.6	809.2	445.6	867.3	154.1	89.3	4282.9
2013	5.6	114	23.8	116.2	500	590.4	489.8	574.0	488.4	736.7	421	52.7	4112.6
Promedio	17.0	31.0	55.9	205.3	448.0	586.6	486.8	574.0	636.6	613.9	185.2	37.9	3878.0

Fuente: INSIVUMEH, 2015

Figura 15. Registro de 23 años, promedios de precipitación mensual (milímetros) estación climática Camantulul



Fuente: INSIVUMEH, 2015

Tabla 7. Registros de días de lluvia mensuales y anuales de la estación climática de Camantulul de INSIVUMEH.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
1990	1	2	4	16	20	27	25	22	21	26	7	2	173
1991	3	0	2	10	22	25	18	23	21	23	8	6	161
1992	2	0	7	7	16	21	24	22	28	20	15	0	162
1993	3	3	5	9	23	23	23	22	25	24	6	0	166
1994	2	2	3	9	19	17	19	22	24	24	16	8	165
1995	0	2	4	16	16	25	28	28	29	24	13	8	193
1996	2	0	2	25	27	27	27	22	28	22	9	2	193
1997	1	3	6	14	17	25	21	21	24	21	18	5	176
1998	0	0	0	5	8	29	21	30	27	27	20	4	171
1999	1	4	3	13	17	29	23	26	26	23	7	8	180
2000	1	2	3	7	18	20	23	20	26	18	13	1	152
2001	2	4	6	9	18	19	21	21	21	21	10	1	153
2002	2	1	2	11	22	23	28	18	27	24	9	2	169
2003	0	3	6	10	24	24	24	24	25	24	12	1	177
2004	1	5	9	5	22	23	23	24	27	25	11	3	178
2005	1	0	6	12	20	29	25	26	24	19	2	0	164
2006	7	1	3	17	25	25	23	27	26	27	13	5	199
2007	2	3	8	10	22	24	22	29	24	25	9	5	183
2008	2	9	14	17	22	25	24	25	25	27	6	4	200
2009	6	3	8	4	23	26	19	26	27	25	4	1	172
2010	2	1	3	13	23	26	28	28	25	16	18	6	189
2011	3	7	13	20	20	25	27	25	25	24	13	5	207
2012	4	5	7	16	24	21	21	24	23	29	8	4	186
2013	2	7	5	11	22	27	22	24	28	30	23	5	206
Promedio	2	3	5	12	20	24	23	24	25	24	11	4	178

Fuente: INSIVUMEH, 2015

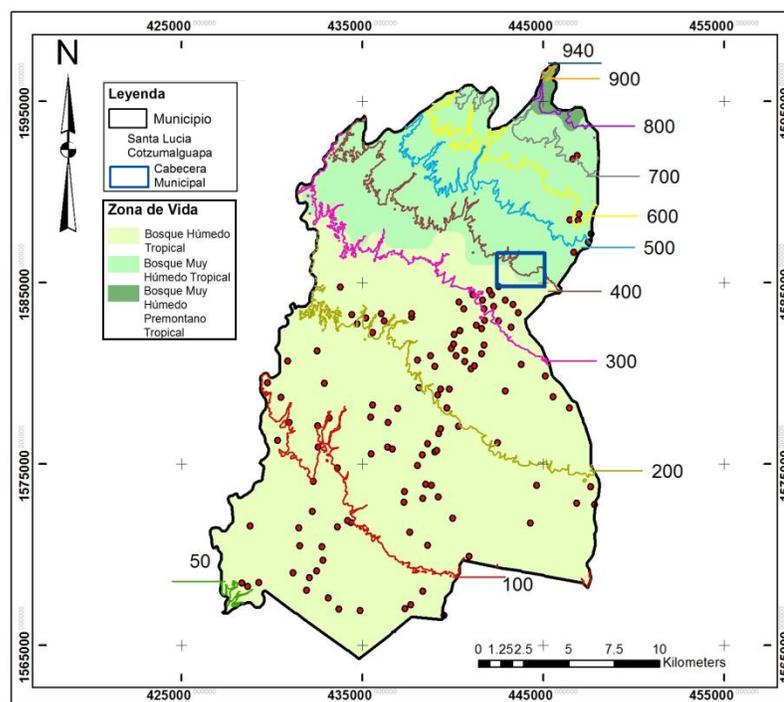
En la Tabla 7 se muestran los días de lluvia, otra variable importante para realizar una estimación de la intensidad de lluvia diaria (lamina en milímetros). El año con mayor número de días de lluvia fue en el 2011 con 207 días, este no corresponde al mes con mayor precipitación. El año con menos días de lluvia se registró en el 2000 con 152 días, sin embargo este no es el año más seco según los registros.

Tabla 8. Zonas de vida del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla.

No.	Zona de Vida	Símbolo	Area Ha	Area %
1.	Bosque Húmedo Tropical	bm-T	33588.38	73.89
2.	Bosque Muy Húmedo Tropical	bmh-T	11471.81	25.24
	Bosque Muy Húmedo Pre Montano	bmh-		
3.	Tropical	PMT	398.83	0.88
	Total		45459.02	100.00

Fuente: IARNA, 2012

Figura 16. Zonas de vida del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla



Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

CGS-Datum WGS84

Shapes: ICC, 2014; IARNA, 2012; MAGA, 2001 y 2009

La caracterización bioclimática del municipio o zonas de vida se divide en tres, siendo bosques húmedo y muy húmedo, de acuerdo IARNA¹ (2012) se esperan que estas zonas de vida puedan aumentar su temperatura, bajando la humedad relativa y aridez.

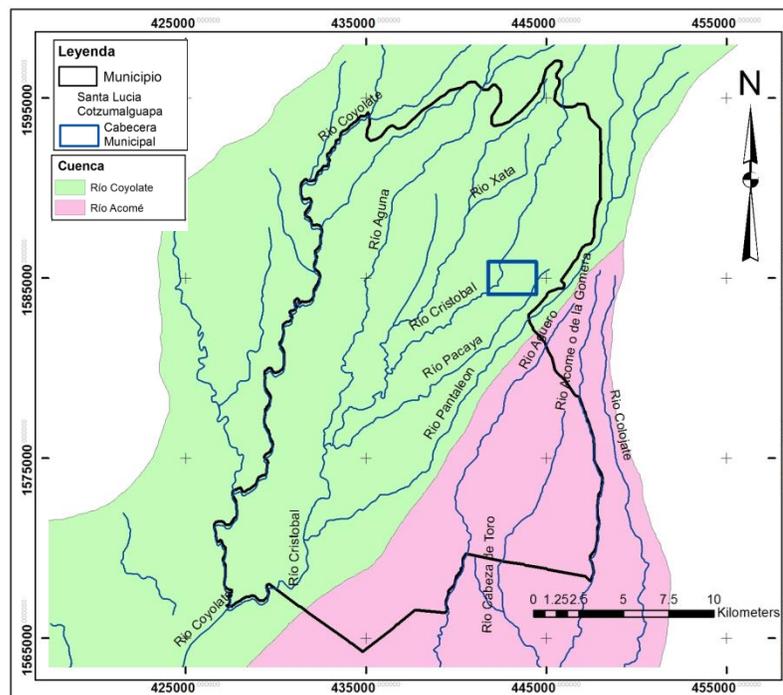
III.1.1.3 Descripción Hidrológica

El municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa se ubica hidrológicamente dentro de las cuencas del río Coyolate (mayor extensión y parte media de la cuenca) y en el río Acomé (menor extensión y parte alta de la cuenca), su drenaje superficial

¹ Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar, Cambio Climático y Biodiversidad, 2012.

lo conforman los ríos Coyolate (límite municipal con Patulul), Aguna, Xatá, Cristóbal, Pacayá y Pantaleón para la cuenca del río Coyolate y para la cuenca del río Acomé; los ríos Agüero, Acomé o de la Gomera y Colojate.

Figura 17. Hidrología del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla



Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.
CGS-Datum WGS84
Shapes: ICC, 2014; MAGA, 2001 y 2009

III.1.1.4 Tomas de muestra de agua casco urbano de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla

Para conocer la calidad del agua que se utiliza para consumo humano, se identificaron diferentes fuentes de agua, las primeras muestras se colectaron del sistema de agua potable de la cabecera municipal (muestra de agua de una vivienda y del pozo artesano). Es importante indicar que en muchos casos las viviendas han realizado pozos artesanales para abastecerse del vital líquido debido al racionamiento o irregularidad del servicio de agua municipal.

En las instalaciones de CENGICAÑA e ICC se recolectó una muestra del agua que se utiliza en las instalaciones, proveniente de un pozo mecánico. También se colectó una muestra de agua de lluvia, además al agua de lluvia se filtró a través de un Ecofiltro; luego de la filtración se colectó una muestra para su respectivo análisis.

Tabla 9. Ubicación de los puntos de muestreo y toma de muestras de agua (coordenadas GTM).

No.	Lugar y Fuente	X	Y	Altitud (msnm)
1	Oficina ICC - Agua potable	440159	1584666	295
2	Casa cabecera municipal – Servicio Municipal	442956	1584477	349
3	Oficina ICC – Agua de lluvia	4400117	1584666	295
4	Oficina ICC – Agua de lluvia filtrada	4400117	1584666	295
5	Casa cabecera municipal – Pozo Artesano	442956	1584477	349

Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

Las muestras se recolectaron de acuerdo a las recomendaciones del laboratorio ECOQUIMSA, las cuales fueron trasladadas en hielera (a 5°C) para su almacenamiento y su posterior análisis en laboratorio, además se tomaron variables en el sitio, con una sonda multiparamétrica. Se colectó para cada punto de muestreo 5 submuestras en 5 recipientes: 4 recipientes plásticos y 1 bolsa para análisis microbiológico.

De las comunidades priorizadas se realizó la colecta de muestras de agua para su análisis de las diferentes fuentes de agua (pozos comunitarios, pozos artesanos, lluvia, nacimiento y ríos), así como en las escuelas.

Tabla 10. Datos tomados *in situ* de las muestras de agua colectadas

No.	Lugar y Fuente	Conductividad Eléctrica $\mu\text{S-cm}$	Sólidos Disueltos Totales mg/L	Temperatura <i>in situ</i> °C	Hora
1	Oficina ICC - Agua potable	584.9	290	28.4	16:40
2	Casa cabecera municipal – Servicio Municipal	599.2	295	23.7	17:57
3	Oficina ICC – Agua de lluvia	580.9	258	21.2	18:25
4	Oficina ICC – Agua de lluvia filtrada	11.1	5	24.7	22:30
5	Casa cabecera municipal – Pozo Artesano	49.5	25	26.5	21:50

Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

Se analizaron las siguientes variables: físicos como olor y turbiedad; análisis químicos: amonio, cloro residual, cloruros, dureza, fosfatos, nitratos, nitritos, pH, sulfatos; y microbiología: Coliformes totales, *Escherichia coli*; además de otros análisis químicos: calcio, hierro, magnesio y manganeso.

Tabla 11. Resultados de variables físicas de las muestras de agua colectadas en la cabecera municipal e instalaciones de instituto

No.	ANÁLISIS FÍSICO	No. Lugar	1	2	3	4	5
			ICC oficinas	Agua Municipal	Pozo Pueblo	Lluvia	Lluvia Filtrada
		Fecha	03-jun-15	03-jun-15	03-jun-15	03-jun-15	03-jun-15
		Hora	16:40	17:57	21:50	18:25	22:30
No.	Análisis	Dimensional	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
1	Color	U Pt-Co	35	11	29	6	16
2	Temperatura (<i>in situ</i>)	°C	28.4	23.7	26.5	21.2	24.7
3	Sólidos disueltos	mg/L	290	295	25	287	5
4	Conductividad	$\mu\text{S/cm}$	584.9	599.2	49.5	580.9	11.1
5	Olor		No rechazable	No rechazable	No rechazable	No rechazable	No rechazable

Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

De acuerdo a los resultados obtenidos de los análisis físicos de las muestra de agua (05 variables), no se presentan valores que sobrepasen los límites máximos permisibles.

Tabla 12. Resultados de variables químicas de las muestras de agua colectadas en la cabecera municipal e instalaciones de instituto

		No.	1	2	3	4	5
ANÁLISIS QUÍMICO		Lugar	ICC oficinas	Agua Municipal	Pozo Pueblo	Lluvia	Lluvia Filtrada
		Fecha	03-jun-15	03-jun-15	03-jun-15	03-jun-15	03-jun-15
		Hora	16:40	17:57	21:50	18:25	22:30
No.	Análisis	Dimensional	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
6	pH		8.09	6.45	7.58	6.79	7.12
7	Turbiedad	UNT	1	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5
8	Nitrito	mg/L	0.125	< 0.010	< 0.010	< 0.010	< 0.010
9	Nitrato	mg/L	2.4	3.4	3.5	19	3.4
10	Amonio	mg/L	0.37	0.06	0.08	0.05	0.33
11	Fosfato	mg/L	0.03	0.61	129	0.09	< 0.03
12	Sulfatos	mg/L	< 25	45	< 25	43	< 25
13	Dureza	mg/L	11	286	4	258	2
14	Cloro residual	mg/L	0.24	0.19	0.18	0.16	0.15
15	Cloruros	mg/L	39	16.7	4.8	50	6.7
16	Calcio	mg/L	3.07	58.41	75	68.31	75
17	Hierro	mg/L	0.38	< 0.060	0.3	< 0.060	0.3
18	Magnesio	mg/L	0.707	34.1	50	21.19	50
19	Manganeso	mg/L	< 0.015	< 0.015	0.1	< 0.015	0.1

Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

De los 14 análisis de variables químicas la muestra de agua municipal presenta valores inferiores al límite máximo permisible del potencial de hidrógeno pH (6.5 a 8.5), debido a este valor se considera agua no apta para consumo humano de esa muestra, las otras 4 muestras de agua no tienen problemas con las variables químicas (Tabla 12).

Tabla 13. Resultados de variables microbiológicas de las muestras de agua colectadas en la cabecera municipal e instalaciones de instituto.

		No.	1	2	3	4	5
ANÁLISIS FÍSICO		Lugar	ICC oficinas	Agua Municipal	Pozo Pueblo	Lluvia	Lluvia Filtrada
		Fecha	03-jun-15	03-jun-15	03-jun-15	03-jun-15	03-jun-15
		Hora	16:40	17:57	21:50	18:25	22:30
No.	Análisis	Dimensional	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
20	Coliformes totales	NMP/100 mL	49	< 1.1	12	1,600	920
21	Escherichia coli	NMP/100 mL	< 1.1	< 1.1	< 1.1	2.2	5.1

Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

Estos análisis nos indican la presencia de contaminación fecal de diferentes organismos vertebrados, de todas las muestras solamente el agua municipal no tiene presencia de estos patógenos. Esto es un indicador que el servicio de agua municipal tiene algún tratamiento que garantiza una mejor calidad de agua para el consumo humano; sin embargo las muestras de agua de lluvia colectada y filtrada tiene

presencia de *Escherichia coli* que es un indicador de contaminación fecal humana según se indica en la Tabla 13.

De las primeras 5 muestras colectadas durante el mes de junio de 2015, de acuerdo a la Norma COGUANOR NTG 29 001 (agua para consumo humano – agua potable): el agua potable de la oficina -ICC, no es apta para consumo humano debido que los coliformes totales se encuentran por arriba de LMP. La muestra efectuada en la vivienda que se ubicada en la cabecera municipal, no es apta para consumo humano debido a que el pH se encuentra fuera de los LMP.

La muestra analizada de agua de lluvia indica que los resultados microbiológicos sobrepasan los LMP de coliformes totales y *Escherichia coli*, por lo cual, no es apta para consumo; la muestra de agua de lluvia filtrada al igual que la muestra de lluvia no es apta para consumo humano por presencia de patógenos (variables microbiológicas), los coliformes totales se redujeron pero sus valores son superiores al LMP, la *Escherichia coli* tuvo un leve aumento. La muestra de agua de pozo ubicada en una vivienda de la cabecera municipal, no es apta para consumo humano debido a la presencia de coliformes totales.

III.1.1.4.1 Muestra de agua a nivel escolar y comunitario de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla

A nivel comunitario los problemas de agua se evidencian durante los meses de febrero a mayo, varias comunidades cuentan con servicio de agua entubada deficiente, siendo una alternativa para algunas familias los pozos artesanales. Al secarse sus principales fuentes de agua, utilizan las fuentes superficiales.

Estas fuentes superficiales como ríos, en su mayoría se encuentran contaminadas por diferentes orígenes como: desechos de comunidades, pecuarios, agrícolas y agroindustriales; además que estas fuentes alternas están lejanas, representan ciertos riesgos como robos u otros problemas más graves, según referencias de los pobladores. Otro de los problemas identificados por las personas son las conexiones ilícitas en los sistemas de agua entubada, así como el uso de bombas para obtener más agua, reduciendo el nivel de agua en los pozos artesanales, acciones que dejan a otros usuarios sin este recurso.

Se tomó una muestra de agua de lluvia, que es una fuente alternativa a nivel comunitario para conocer la calidad de la misma para el consumo humano. Uno de los pozos evaluados fue el que utilizan los padres de familia de la escuela San Judas, mostrando los resultados en la Tabla 14.

Tabla 14. Análisis de muestra de agua realizado para la escuela San Judas

Análisis	Dimensional ²	Límite de Dirección	Resultados	LMA ³	LMP ⁴
Amonio	mg/L - NH4 +	0.01	<0.01	---	---
Cloro residual	mg/L - Cl2	0.10	<0.10	0.5	1.0
Cloruros	mg/L - Cl-	2.5	9.9	100	250
Color	U Pt - Co	0.5	<0.5	5.0	35.0
Conductividad (<i>in situ</i>)	uS/cm @ 25°	0.1	307.1	750	1500
Dureza	mg/L - CaCO3	2.0	200.0	100	500
Fosfatos	mg/L - PO4 -3	0.03	0.21	---	---
Nitratos	mg/L - NO3-	0.9	27.4	---	50.0
Nitritos	mg/L - NO2-	0.010	<0.010	---	3.0
Olor	----	----	No rechazable	No rechazable	No rechazable
pH	----	0.01	7.48	7.0 - 7.5	6.5 - 8.5
Solidos disueltos (<i>in situ</i>)	Mg/L	10	154	500	1000
Sulfatos	mg/L - SO4 -2	25	<25	100	250
Turbiedad	UNT	0.5	<0.5	5.0	15.0
Coliformes totales	NMP/100 mL	1.1	1600	---	<1.1
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	1.1	17	---	<1.1

Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

Tabla 15. Análisis de muestras de agua realizado para la escuela San Judas

Análisis	Dimensional	Límite de Dirección	Resultados	LMA	LMP	Método de Análisis
Calcio	mg/L - Ca	0.75	61.82	75	150	STM3111 B
Hierro	mg/L - Fe	0.060	<0.060	0.3	---	STM3111 B
Magnesio	mg/L - Mg	0.040	11.09	50	100	STM3111 B
Manganeso	mg/L - Mn	0.015	<0.015	0.1	0.4	STM3111 B

Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

El análisis realizado en el pozo de la escuela San Judas, indica que el agua no es apta para consumo humano, debido a la presencia de microorganismos patógenos como Coliformes fecales y *Escherichia coli*, este último es un indicador de contaminación fecal humana. Esta agua es la utilizada por las madres de familia para realizar la refacción escolar. Se entregó el informe a la directora del plantel educativo, explicando a detalle los resultados y buscando alternativas para garantizar la salud de los alumnos.

² mg/L = ppm; u Pt-Co = unidades platino cobalto; μ S/cm = micro siemens por centímetro; Unt = Unidades turbiedad; NMP/100mL = Número más probable por 100 mililitros.

³ LMA: Limite Máximo Aceptable; LMP: Limite Máximo Permissible (Coguanor NTG 29 001)

En el mes de octubre 2015 se realizó la toma de muestras de agua de las comunidades que fueron seleccionadas para el desarrollo del proyecto, siendo estas:

- Miriam I,
- El Socorro,
- El Jabalí,
- El Horizonte,
- El Rosario y
- El Cajón.

Las muestras de agua que se recolectaron fueron de pozos artesanales (vivienda), pozos comunitarios, fuentes de agua en las escuelas y agua de lluvia; en total se obtuvieron 15 muestras de agua para análisis físico, químico y microbiológico, además de otros elementos inorgánicos; las muestras se analizaron en el laboratorio de ECOQUIMSA. Se tomaron datos *in situ* como: conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales y temperatura, cuando no se tuvo la disponibilidad del conductímetro se tomó un volumen adicional para tomar los datos en gabinete, sin incluir la temperatura.

III.1.1.4.1.1 Muestra de agua comunidad Miriam I

Se realizaron dos muestreos, la primera fuente es de una casa próxima a la escuela, la cual brinda agua para la preparación de alimentos; usan el agua de este pozo debido que los tres pozos de la escuela (Figura 18. Principales fuentes de agua, escuela de la comunidad Miriam I; presenta un elevado nivel de contaminación (visual); en los pozos se observan desechos sólidos de todo tipo (bolsas plásticas, envoltorios, duroport, etc), además de observar agentes vectores como cucarachas sobre los desechos sólidos que flotan en el cuerpo de agua.

Figura 18. Principales fuentes de agua, escuela de la comunidad Miriam I; a) Pozo 1 b) Contaminación pozo 1 c) Pozo 2 y d) Pozo 3



Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

Dos pozos de la escuela tienen tubería para extracción sin embargo no se tiene bombas; para la extracción de los pozos se utiliza una cubeta para sacar el agua.

En la Tabla 16 se muestran los resultados de las muestras de agua de la comunidad de Miriam I, donde se indica que el agua no es apta para consumo humano, principalmente por presencia de contaminación microbiológica (Coliformes totales y *E. coli*), además el pH (aguas levemente ácidas, próximo al límite inferior permisible LMP), lo que indica que no será apta para consumo humano.

El análisis de sustancias inorgánicas el Magnesio y Manganeseo llega al límite máximo aceptable LMA.

La segunda fuente de agua monitoreada fue uno de los pozos de la escuela (el que se usa para limpieza de manos, además de ser el que menos contaminación visual presenta), los resultados indican que el agua tiene problemas con los nitratos y pH, además de la contaminación microbiológica; por lo tanto no es apta para consumo humano. El agua es extraída de forma manual por medio de una cubeta, la cual arrastra la contaminación exterior al pozo.

Tabla 16. Resultados de monitoreo hídrico de la comunidad Miriam I, realizado el 13 de octubre de 2015

No.	Análisis	Comunidad Miriam I			Fuente	Pozo Casa	Pozo Escuela
		Forma Química	LMA	LMP	Hora Dimensional	16:45 Resultado	17:10 Resultado
1	Amonio	NH4 +	---	---	mg/L	< 0.01	< 0.1
2	Cloro residual	Cl2	0.5	1	mg/L	0.35	0.13
3	Cloruros	Cl-	100	250	mg/L	17.5	20.6
4	Color		5	35	U Pt-Co	< 0.5	< 0.5
5	Conductividad (in situ)		750	1,500	µS/cm	261	339
6	Dureza	CaCO3	100	500	mg/L	112	164
7	Fosfato	PO4 -3	---	---	mg/L	< 0.03	< 0.3
8	Nitrato	NO3-	---	50	mg/L	34.7	53.2
9	Nitrito	NO2-	---	3	mg/L	< 0.010	< 0.010
10	Olor		No rechazable	No rechazable		No rechazable	No rechazable
11	pH		7.0 - 7.5	6.5 - 8.5		6.51	6.16
12	Sólidos disueltos (in situ)		500	1,000	mg/L	260	339
13	Sulfatos	SO4 -2	100	250	mg/L	< 25	58
14	Temperatura (in situ)		---	---	°C	26.9	27.1
15	Turbiedad		5	15	UNT	< 0.5	< 0.5
16	Coliformes totales		---	< 1.1	NMP/100 mL	1,700	1,600
17	Escherichia coli		---	< 1.1	NMP/100 mL	21	14
18	Calcio	Ca	75	150	mg/L	33.19	50.31
19	Hierro	Fe	0.3	---	mg/L	0.3	< 0.060
20	Magnesio	Mg	50	100	mg/L	50	9.32
21	Manganeseo	Mn	0.1	0.4	mg/L	0.1	< 0.015

Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

III.1.1.4.1.2 Muestra de agua comunidad El Socorro

En la comunidad El Socorro se tomaron dos muestras de agua, las cuales fueron de un pozo domiciliar y el de la escuela, el pozo de la escuela extrae el agua con bomba.

En la Tabla 17 se muestran los resultados de las muestras en la comunidad. Los resultados del pozo ubicado en la casa, indican que no es apta para consumo humano debido a nitratos, pH y microbiología, la dureza excede el LMA y el análisis de las sustancias inorgánicas confirma la presencia de Calcio muy próximo al LMA. En esta fuente, el agua es extraída de forma manual con cubeta; esta forma de extracción contamina el agua del pozo.

En el pozo de la escuela, aunque está cerrado presenta problemas de pH y microbiología. De acuerdo a los resultados el agua no es apta para consumo humano.

Tabla 17. Resultados de monitoreo hídrico de la comunidad El Socorro, realizado el 14 de octubre de 2015

No.	Análisis	Comunidad El Socorro.			Fuente	Pozo Casa	Pozo Escuela
		Forma Química	LMA	LMP	Hora	15:05	15:45
				Dimensional	Resultado	Resultado	
1	Amonio	NH4 +	---	---	mg/L	< 0.1	0.08
2	Cloro residual	Cl2	0.5	1	mg/L	0.16	0.1
3	Cloruros	Cl-	100	250	mg/L	38	5.7
4	Color		5	35	U Pt-Co	< 0.5	< 0.5
5	Conductividad (in situ)		750	1,500	µS/cm	416.2	173.7
6	Dureza	CaCO3	100	500	mg/L	231.7	63.3
7	Fosfato	PO4 -3	---	---	mg/L	< 0.03	< 0.03
8	Nitrato	NO3-	---	50	mg/L	62.2	< 0.9
9	Nitrito	NO2-	---	3	mg/L	< 0.010	< 0.010
10	Olor		No rechazable	rechazable		No rechazable	No rechazable
11	pH		7.0 - 7.5	6.5 - 8.5		6.3	6.47
12	Sólidos disueltos (in situ)		500	1,000	mg/L	445	189
13	Sulfatos	SO4 -2	100	250	mg/L	< 25	< 25
14	Temperatura (in situ)		---	---	°C	28.5	29.6
15	Turbiedad		5	15	UNT	< 0.5	< 0.5
16	Coliformes totales		---	< 1.1	NMP/100 mL	5,400	1,600
17	Escherichia coli		---	< 1.1	NMP/100 mL	< 1.8	4.5
18	Calcio	Ca	75	150	mg/L	70.3	14.71
19	Hierro	Fe	0.3	---	mg/L	< 0.060	< 0.060
20	Magnesio	Mg	50	100	mg/L	13.64	6.46
21	Manganeso	Mn	0.1	0.4	mg/L	< 0.015	< 0.015

Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

Figura 19. Fuentes para el muestreo de agua en El Socorro. a) Pozo de agua a nivel domiciliario; b) Pozo de agua Escolar.



Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

III.1.1.4.1.3 Muestra de agua comunidad El Jabalí

Para la comunidad El Jabalí, se tomaron tres muestras de agua, todas son provenientes del sistema de agua entubada de la comunidad, el cual se deriva de un pozo mecánico a nivel comunitario; las muestras fueron de la escuela, de una vivienda y de un lugar próximo al tanque de distribución.

La primera muestra analizada fue en la escuela la cual presenta problemas mínimos por contaminación microbiológica, su resultado se aproxima al LMP, por lo tanto con un tratamiento sencillo o un mejor manejo de la misma se reducirá la contaminación, haciéndola apta para consumo humano (Tabla 18).

Figura 20. Fuentes para el muestreo de agua en El Jabalí; a) Chorro más próximo al depósito aéreo (pozo comunitario El Jabalí) y ejemplo de almacenamiento de agua en toneles. b) Tanque elevado de distribución; c) Punto de muestra de agua de la escuela; d) Equipo de monitoreo (conductímetro) utilizado para la medición de parámetros *in situ* en la comunidad.



Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

Las muestras tomadas del tanque aéreo (Figura 20) (se colectó la muestra en el punto más cercano al sistema de almacenamiento) y casa, tienen el pH por arriba del LMA y presenta contaminación microbiológica (mínima), en general el agua no es apta para consumo humano sin previo tratamiento. En la Tabla 18, se muestran los resultados de las muestras de agua realizadas en la comunidad.

Tabla 18. Resultados de monitoreo hídrico realizado en tres fuentes de agua de la comunidad El Jabalí, realizado el 15 de octubre de 2015

No.	Análisis	Comunidad El Jabalí.			Fuente	Escuela	Tanque Aéreo	Casa
		Forma Química	LMA	LMP	Hora	9:35	9:55	10:15
					Dimensional	Resultado	Resultado	Resultado
1	Amonio	NH4 +	---	---	mg/L	0.08	< 0.01	0.08
2	Cloro residual	Cl2	0.5	1	mg/L	0.18	0.16	0.16
3	Cloruros	Cl-	100	250	mg/L	3.3	3.8	3.6
4	Color		5	35	U Pt-Co	< 0.5	< 0.5	< 0.5
5	Conductividad (in situ)		750	1,500	µS/cm	332.3	316.5	333.5
6	Dureza	CaCO3	100	500	mg/L	93.5	93	95.9
7	Fosfato	PO4 -3	---	---	mg/L	0	0.83	0.83
8	Nitrato	NO3-	---	50	mg/L	< 0.9	1.1	1
9	Nitrito	NO2-	---	3	mg/L	< 0.010	< 0.010	< 0.010
10	Olor		No Rechazable	No Rechazable		No Rechazable	No Rechazable	No Rechazable
11	pH		7.0 - 7.5	6.5 - 8.5		7.47	7.68	7.74
12	Sólidos disueltos (in situ)		500	1,000	mg/L	352	352	352
13	Sulfatos	SO4 -2	100	250	mg/L	< 25	< 25	< 25
14	Temperatura (in situ)		---	---	°C	28.1	30.9	27.9
15	Turbiedad		5	15	UNT	< 0.5	< 0.5	< 0.5
16	Coliformes totales		---	< 1.1	NMP/100 mL	1.1	3.6	3.6
17	Escherichia coli		---	< 1.1	NMP/100 mL	< 1.1	< 1.1	< 1.1
18	Calcio	Ca	75	150	mg/L	15.67	15.47	16.37
19	Hierro	Fe	0.3	---	mg/L	< 0.060	< 0.060	< 0.060
20	Magnesio	Mg	50	100	mg/L	13.19	13.21	13.36
21	Manganeso	Mn	0.1	0.4	mg/L	0.028	0.016	0.017

Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

III.1.1.4.1.4 Muestra de agua comunidad El Horizonte

La primera muestra de agua de lluvia tomada fue en la comunidad de El Horizonte, además se tomaron dos muestras más, una de un pozo domiciliar y otra en agua acumulada en recipientes del pozo comunitario.

Los resultados de la muestra de agua de lluvia (Figura 21), presenta contaminación microbiológica, la cual se debe por heces fecales de animales domésticos o silvestres, la presencia de *E. coli* puede estar relacionada con agentes vectores como moscas y otros insectos que trasladan este patógeno, resultados que se muestran en la Tabla 19.

El agua del pozo domiciliar se extrae por medio de una bomba eléctrica y luego el agua es almacenada en un depósito, el resultado del análisis de agua (Tabla 19) presenta contaminación microbiológica; el agua proveniente del pozo comunitario, presentó contaminación por cloro residual (arriba del LMA) y con problemas de Coliformes; de acuerdo a los análisis el agua no es apta para consumo humano.

Tabla 19. Resultados de monitoreo hídrico realizado en dos fuentes de agua de la comunidad El Horizonte, realizado el 15 de octubre de 2015

No.	Comunidad El Horizonte				Fuente	Lluvia	Pozo Casa	Pozo Comunitario
	Análisis	Forma Química	LMA	LMP	Hora Dimensional	15:40 Resultado	16:00 Resultado	17:20 Resultado
1	Amonio	NH4 +	---	---	mg/L	0.06	< 0.01	< 0.01
2	Cloro residual	Cl2	0.5	1	mg/L	0.16	0.15	0.54
3	Cloruros	Cl-	100	250	mg/L	< 2.5	< 2.5	3.8
4	Color		5	35	U Pt-Co	< 0.5	< 0.5	< 0.5
5	Conductividad (in situ)		750	1,500	µS/cm	3.2	211.2	263.4
6	Dureza	CaCO3	100	500	mg/L	< 2.0	99.5	59.8
7	Fosfato	PO4 -3	---	---	mg/L	< 0.03	< 0.03	0.98
8	Nitrato	NO3-	---	50	mg/L	2.8	11.8	< 0.9
9	Nitrito	NO2-	---	3	mg/L	< 0.010	< 0.010	< 0.010
10	Olor		No rechazable	No rechazable		No Rechazable	No Rechazable	No Rechazable
11	pH		7.0 - 7.5	6.5 - 8.5		7.73	6.63	7.31
12	Sólidos disueltos (in situ)		500	1,000	mg/L	3	216	272
13	Sulfatos	SO4 -2	100	250	mg/L	< 25	< 25	< 25
14	Temperatura (in situ)		---	---	°C	23.9	26.2	26.7
15	Turbiedad		5	15	UNT	< 0.5	< 0.5	< 0.5
16	Coliformes totales		---	< 1.1	NMP/100 mL	240	1600	2.2
17	Escherichia coli		---	< 1.1	NMP/100 mL	130	240	< 1.1
18	Calcio	Ca	75	150	mg/L	0.8	24.25	8.75
19	Hierro	Fe	0.3	---	mg/L	< 0.060	< 0.060	< 0.060
20	Magnesio	Mg	50	100	mg/L	0.162	9.45	9.2
21	Manganeso	Mn	0.1	0.4	mg/L	0.015	< 0.015	< 0.015

Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

Figura 21. Cosecha de agua de lluvia de manera empírica en la comunidad El Horizonte



Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

III.1.1.4.1.5 Muestra de agua comunidad El Rosario

Esta comunidad es la más próxima a la cabecera municipal, en esta zona se tomaron dos muestras de agua, la primera se realizó en un pozo a nivel domiciliario, el cual utiliza una bomba para extraer el agua; la segunda muestra se efectuó en la escuela de la comunidad, esta se abastece por medio de un pozo y es almacenada en un depósito aéreo (tinaco).

Figura 22. Fuentes para el muestreo de agua en El Rosario; a) Pozo de la vivienda; b) Tanque elevado de la escuela.



Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

Tabla 20. Resultados de monitoreo hídrico realizado en dos fuentes de agua de la comunidad El Rosario, realizado el 27 de octubre de 2015

No.	Análisis	Comunidad El Rosario.			Fuente	Escuela	Casa
		Forma Química	LMA	LMP	Hora	12:15	12:35
					Dimensional	Resultado	Resultado
1	Amonio	NH4 +	---	---	mg/L	< 0.01	< 0.01
2	Cloro residual	Cl2	0.5	1	mg/L	0.15	0.11
3	Cloruros	Cl-	100	250	mg/L	22.6	12.6
4	Color		5	35	U Pt-Co	94	3
5	Conductividad (in situ)		750	1,500	µS/cm	447.4	221.5
6	Dureza	CaCO3	100	500	mg/L	219	136.4
7	Fosfato	PO4 -3	---	---	mg/L	1.9	0.08
8	Nitrato	NO3-	---	50	mg/L	14.2	24.4
9	Nitrito	NO2-	---	3	mg/L	< 0.010	< 0.010
10	Olor		No rechazable	No rechazable		No Rechazable	No Rechazable
11	pH		7.0 - 7.5	6.5 - 8.5		6.97	6.44
12	Sólidos disueltos (in situ)		500	1,000	mg/L	37	34
13	Sulfatos	SO4 -2	100	250	mg/L	< 25	< 25
14	Temperatura (in situ)		---	---	°C		
15	Turbiedad		5	15	UNT	< 0.5	< 0.5
16	Coliformes totales		---	< 1.1	NMP/100 mL	1600	2400
17	Escherichia coli		---	< 1.1	NMP/100 mL	4.2	170
18	Calcio	Ca	75	150	mg/L	60.78	40.92
19	Hierro	Fe	0.3	---	mg/L	< 0.060	< 0.060
20	Magnesio	Mg	50	100	mg/L	16.24	8.3
21	Manganeso	Mn	0.1	0.4	mg/L	< 0.015	< 0.015

Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

III.1.1.4.1.5 Muestra de agua comunidad El Cajón

Las últimas tres muestras se obtuvieron de la comunidad El Cajón, se tomó muestra del agua del pozo del salón comunitario que se utiliza para la escuela y el instituto, además se tomó agua de un pozo de una vivienda. La segunda muestra de agua de lluvia se tomó en esta comunidad; el bombeo del primer pozo es manual y el segundo es mecánico.

Tabla 21. Resultados de monitoreo hídrico realizado en dos fuentes de agua de la comunidad El Cajón, realizado el 27 de octubre de 2015

No	Análisis	Comunidad El Rosario.			Fuente	Escuela	Casa	Lluvia
		Forma Química	LMA	LMP	Hora	16:10	16:30	16:50
					Dimensional	Resultado	Resultado	Resultado
1	Amonio	NH4 +	---	---	mg/L	< 0.01	< 0.01	0.39
2	Cloro residual	Cl2	0.5	1	mg/L	0.11	0.13	0.16
3	Cloruros	Cl-	100	250	mg/L	11.5	15.9	7.1
4	Color		5	35	U Pt-Co	144	24	27
5	Conductividad CE (in situ)		750	1,500	μS/cm μS/cm	242.2	261	54.9
6	Dureza	CaCO3	100	500	mg/L	199.6	250.5	51
7	Fosfato	PO4 -3	---	---	mg/L	< 0.3	0.09	0.28
8	Nitrato	NO3-	---	50	mg/L	26.1	19.9	9.7
9	Nitrito	NO2-	---	3	mg/L	< 0.010	< 0.010	0.158
10	Olor		No	No		No	No	No
11	pH		rechazable 7.0 - 7.5	rechazable 6.5 - 8.5		Rechazable 6.29	Rechazable 6.37	Rechazable 6.64
12	Sólidos disueltos TDS (in situ)		500	1,000	mg/L mg/L	137	148	33
13	Sulfatos	SO4 -2	100	250	mg/L	< 25	< 25	< 25
14	Temperatura (in situ)		---	---	°C			
15	Turbiedad		5	15	UNT	< 0.5	< 0.5	< 0.5
16	Coliformes totales		---	< 1.1	NMP/100 mL	240	1,600	7,000
17	Escherichia coli		---	< 1.1	NMP/100 mL	11	1,600	1,700
18	Calcio	Ca	75	150	mg/L	65.59	86.01	19.2
19	Hierro	Fe	0.3	---	mg/L	< 0.060	< 0.060	0.065
20	Magnesio	Mg	50	100	mg/L	8.71	8.69	0.73
21	Manganeso	Mn	0.1	0.4	mg/L	< 0.015	< 0.015	< 0.015

Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

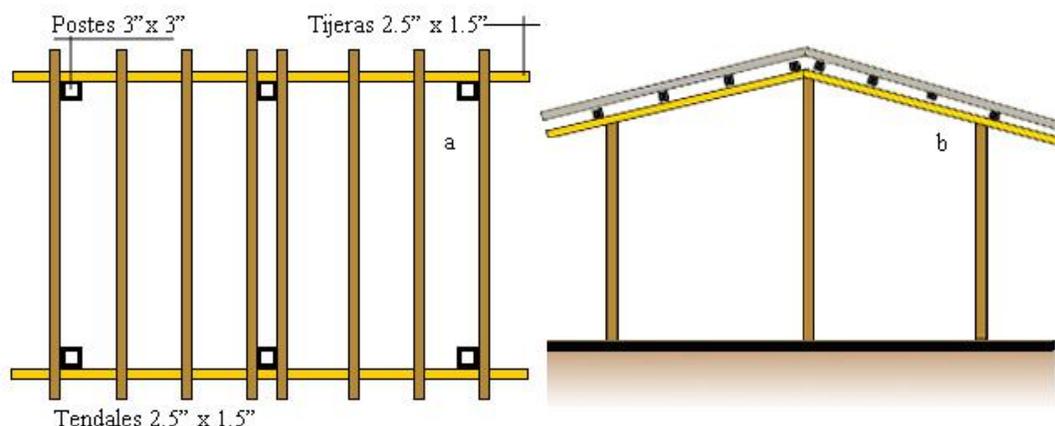
III.1.1.4.1.6 Caseta demostrativa sobre "Sistema de Captación de Agua de Lluvia"

Paralelo a los trabajos relacionados a la toma de muestras de agua y capacitaciones a nivel comunitario, se trabajó en el diseño y construcción de un modelo demostrativo (Caseta de captación y almacenamiento de agua), en las instalaciones de CENGICANA, con fines demostrativos y de evaluación. El propósito, tener un medio físico a escala natural de los componentes necesarios para la implementación de un sistema de aprovechamiento ideal de agua de lluvia.

El diseño se compone de un módulo rectangular con un área de 20.80 m², cubierta a dos aguas, con un área efectiva de captación de 30 m². La estructura principal está compuesta de postes de madera tratada de 3"x3", con 0.60 metros de fundición. Cuenta con dos tijeras de 2.5"x1.5", ancladas a la sección frontal y trasera de la estructura, más 8 tendales de 2.5"x1.5, instalados a cada 0.80 metros. Finalizando con una cubierta de lámina galvanizada de 10 pies de longitud.

A los costados de la caseta se colocó celosía de madera tratadas, con doble finalidad; una por funciones estéticas y la principal, como elemento rigidizante de la estructura. Asimismo la caseta cuenta un sistema de recolección de agua (compuesto de tuberías y canales) y un cisterna de 10000L, como elemento de almacenamiento de agua. Para la extracción del agua se dispone de una bomba artesanal de manera manual y una bomba móvil de combustible.

Figura 23. Croquis de la caseta demostrativa; a) vista en planta; b) vista frontal. (Sin escala)



Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

Los trabajos iniciaron con la compra del material y una cisterna de marca Aquaplast de 10000 litros. El trabajo preliminar (Figura 24) incluyó la limpieza y trazado del área, se fundieron las bases de los postes utilizando cubetas a manera de encofrado, posteriormente se instalaron los postes nivelándolos para crear simetría del módulo. Se montaron 2 tijeras (frontal y trasera), seguidamente se empalmaron

los tendales, para finalizar con la instalación del techo. Cubriendo a cabalidad cada una de las secciones como se puede observar en la Figura 25.

En la Figura 26 se observa el proceso de la segunda fase del proyecto, el cual consistió en el zanjeo del agujero para la instalación del cisterna, el cual tiene una profundidad de 3 metros. Luego de la finalización del zanjeo se fundió una losa armada de cimentación en la base del cisterna para evitar volteo o hundimiento por el peso del agua. Finalizando con su respectiva instalación.

Para la instalación de este tipo de tanques, se recomienda llenar de agua por etapas el cisterna, seguidamente se debe rellenar y compactar los costados del mismo para evitar la deformación del tanque a causa de la compresión.

Para rellenar y compactar los costados del agujero, se efectuó con "lodocreto" o suelo cemento; se le denomina así a la mezcla de suelo o tierra con cemento tipo Portland, arena y agua, logrando una pasta lodosa, evitando de esta forma que haya una compactación, hundimiento o reacomodo de la tierra a causa de la compresión, logrando una mejor estabilización del suelo. La aplicación consistió en reutilizar la tierra extraída aplicándole cemento y arena, en proporción de 1 saco por cada 3m³ de tierra y arena, creando una composición lodosa la cual se fue adhiriendo adecuadamente a la forma y composición del agujero.

Se fundió el piso (torta de cemento) de la caseta, el caminamiento principal hacia el sistema de almacenamiento de agua, colocación de la celosía, pintado general de la estructura e instalación del sistema de conducción y filtrado primario.

Figura 24. Trabajos preliminares para la instalación de caseta demostrativa; a) limpieza y nivelación; b) zanjeo e instalación de postes; c) fundición de bases de postes; d) ejecución de tijeras



Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

Figura 25. Segunda fase de instalación de caseta demostrativa; a) instalación de tijeras; b) instalación de tendales; c) Inicio de instalación de lámina galvanizada; d) inicio de zanqueo para instalación de cisterna.



Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

Figura 26. Proceso de instalación de tanque de almacenamiento; a) fundición de losa de cemento; b) instalación y centrado de cisterna; c) llenado de agua al tanque para compactar agujero; d) relleno de lodocrecto.



Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

Figura 28. Construcción final de caseta; a) fundición de piso interno; b) fundición de banquetas perimetrales; c) fundición de caminamientos hacia el tanque; d) Instalación de celosía para estabilización de estructura.



Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

Figura 27. Detalles de caseta demostrativa; a y b) vista lateral de caseta; c) sistema de recolección de agua; y e) by-pass y filtro primario



Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

Figura 29. Caseta demostrativa sobre captación de agua de lluvia; a) vista interna de la caseta; b) tanque y línea de conducción; c) vista lateral con tubería de conducción; d) vista desde el tanque y tubería de rebalse



Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

III.1.2 Transferencia de tecnología sobre almacenamiento de agua a través de la capacitación y promoción

Con el proyecto se impulsó una de las distintas opciones para proveer agua potable a las comunidades priorizadas; todo a través del aprendizaje mediante el proceso de aprender haciendo, observación e intercambio de experiencias sobre obtener agua apta para el consumo humano. Orientar el conocimiento empírico sobre la temática para el establecimiento de sistemas de captación de agua de lluvia, este tema tiene incidencia en temas transversales como salud, seguridad alimentaria y desarrollo (pequeñas empresas comercializadoras de agua potable),

Esta actividad se realizó por medio de la capacitación, dirigido principalmente a usuarios domiciliarios y miembros de COCODES. Las comunidades priorizadas fueron aquellas que tienen problemas con el recurso hídrico para consumo humano, es decir una necesidad real, además de tener motivación para ser entes multiplicadores en sus comunidades.

Con la actualización de centros poblados del año 2001 y 2009, se logró tomar en cuenta para la priorización de las comunidades, además para esta priorización se realizó una encuesta, para obtener datos importantes y determinar de una forma general el estado

actual de los sistemas de agua para consumo humano en el municipio, con esta información y con el apoyo de la municipalidad se priorizaron cuáles eran las comunidades que más problemas tienen con el agua para consumo (Tabla 22).

Se realizó una presentación del proyecto ante el Consejo Municipal de Desarrollo – COMUDE –, se dio a conocer sobre el diplomado y los resultados esperados a través del proyecto (Figura 30).

Tabla 22. Comunidades priorizadas y divididas geográficamente para el desarrollo del diplomado

No.	Nombre	Grupo
1	El socorro	No. 1
2	Las Playas	
3	Jabalí (Centro, Cantón B, Filipinas, Amatillo)	
4	San Pedrito	
5	El Horizonte	
6	El Cajón (Bethania, Sector 40, Casco Urbano)	
7	Miriam I	No. 2
8	Cruce la Esperanza	
9	Buenos Aires	
10	Pantaleoncito	
11	El Rosario	
12	Barrio La Estación	

Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

La primera reunión ante el COMUDE sirvió para hacer una encuesta rápida por comunidad (Figura 31), para este análisis se obtuvo la participación de 05 aldeas, 3 colonias, 1 Cantón, 2 caseríos, 1 asentamiento, 1 parcelamiento y 1 microparciamiento, entre otros 9 que no indicaron que categoría son, en total fueron 23 poblados; el total de participantes interesados en el proyecto fue de 37 personas, de los cuales 18 son presidente (a) o alcalde(sa), 3 tiene el cargo de vicepresidente (a) o vicealcalde (sa), 3 tesoreros, 1 secretaria, 2 trabajadoras sociales, 9 vocales (los cuales tiene diferentes comisiones) y 1 vecino. Con la información de las boletas se graficaron e interpretaron los resultados.

A partir de la encuesta generada, sirvió la información para orientar el proyecto; una de las preguntas principales era el pago por servicio de agua y si se paga o no la cuota establecida. Dentro de la encuesta se asumió que las personas que no respondieron la pregunta se encuentran con mora o no pagan, sin embargo gozan del servicio de agua en sus domicilios. Se puede observar que la mayoría de comunidades se abastecen de pozos mecánicos, indicando que no hay existencia de fuentes superficiales que abastezcan de agua a las comunidades, entre las que se pueden mencionar: Velazquitos y El Horizonte, estas comunidades no pagan por el servicio de agua, existe razonamiento en el servicio diario, es manejado a través del COCODE; de estas comunidades se priorizó El Jabalí y El Horizonte.

También se conoce que el mantenimiento y cualquier reparación de los pozos se realizan por medio de la municipalidad. Otra cualidad de la zona es que se raciona el servicio de agua por ejemplo: el pozo de la comunidad 08 de febrero, el cual fue reactivado recientemente funciona 20 horas al día; otros pozos, como los de las comunidades Paraíso II y Miriam II, funcionan 08 horas en promedio al día; los sistemas también han sido diseñados de una forma inadecuada (tubería pequeña).

Cuando los pozos dejan de abastecer de agua a las comunidades, la municipalidad brinda apoyo al suministro de agua a través de cisternas (pipas), otro problema que ocurre es que los pozos se secan y tienen que profundizarse más, lo que implica un mayor gasto por el bombeo; estos dos costos para garantizar agua a las comunidades son absorbidos por la municipalidad.

Otras comunidades tienen dos fuentes de agua superficial (nacimiento) y subterránea (pozo), como es el caso de la comunidad El Rosario; las comunidades de El Jabalí y Tierra Linda pagan Q15.00 mensuales, sin embargo este pago no cubre los gastos de energía para el bombeo, nuevamente la municipalidad tiene que subsidiar o cubrir el gasto.

Las escuelas también tienen problemas con el recurso hídrico o por la distribución o sistemas de captación, tienen cisternas pero no bomba para su distribución en los servicios; en la escuela San Judas (ubicada al norte de la cabecera municipal), tiene 600 alumnos, cuenta con cisterna (capacidad 48,000 litros aproximadamente) el problema que no cuentan con bomba, existen fugas y materiales en mal estado. Como resultado piden agua a casas vecinas, utilizando pozos que no poseen las condiciones adecuadas para brindar agua apta para consumo humano.

La mayoría de comunidades durante la época lluviosa (mayo – octubre) indican no tener problemas con agua, sin embargo el problema es durante la época seca (noviembre – abril).

Para el desarrollo de los diplomados se contó con la participación de los representantes de las comunidades, COCODE's, comités de agua, lideresas, además participaron 5 comunitarios más por comunidad, para un total de 10 personas por centro poblado; estas personas también participaron en el taller departamental sobre las experiencias exitosas en cosecha de agua de lluvia.

Previo a realizar los diplomados se socializó a nivel comunitario el proyecto, contando con la participación de representantes del COCODE y comunitarios; donde se les indicó la importancia de tener agua apta para consumo humano, durante esta reunión se visitaron las fuentes de agua que utilizan a nivel comunitario (domiciliar y escolar), además de consultar sobre el acceso a otras fuentes de agua que tiene la comunidad cuando se secan las principales.

Figura 30. Lanzamiento COMUDE



Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

Figura 31. Boletas de sondeo rápido.

No.	Datos
1	Nombre Zoila Caná Tarcio
2	Cargo en el COCODE Alcaldesa
3	Nombre Comunidad Canaberal H 2
4	Existe proyecto agua entubada no
5	Servicio continuo Si
6	Tratamiento del recurso no
7	Tipo de fuente de agua Potable
8	Comité de agua o encargado del agua ninguno
9	Número de familias (comunidad) 500 fam
10	Pago del servicio de agua (Q/mes o Año) por mes
OBSERVACIONES O COMENTARIOS: no esta clorada el agua y irregular el servicio porque dias recibimos y otros no recibimos nada.	

No.	Datos
1	Nombre Teta Figueroa
2	Cargo en el COCODE Vocal de Salud
3	Nombre Comunidad Aldea de Basilio
4	Existe proyecto agua entubada Si
5	Servicio continuo de vez en cuando
6	Tratamiento del recurso
7	Tipo de fuente de agua Pozo artesano
8	Comité de agua o encargado del agua
9	Número de familias (comunidad) 3,450
10	Pago del servicio de agua (Q/mes o Año) Q 12.00 mensual
OBSERVACIONES O COMENTARIOS:	

Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

Para facilitar el proceso de capacitación a través de los diplomados se dividió en 2 grupos a las comunidades, según área geográfica; atendiendo aproximadamente a 100 personas. El diplomado se dividió en 4 sesiones, en la Tabla 23 se describen los temas que fueron tratados durante las sesiones, cada sesión tuvo una duración de 6 horas (matutina 8:30 a 12:30 horas y vespertina de 14:00 a 16:00 horas).

Tabla 23. Temas impartidos dentro del diplomado

Sesión	Tema
S1	Climatología e Hidrología Problemática mundial y nacional del Agua Manejo integrado de cuencas Antecedentes sistemas de captación de agua de lluvia
S2	Componentes básicos Materiales y equipo Cálculos y estimaciones
S3	Tratamiento del agua Tipos de filtros (Como hacer filtros artesanales) Tipos de bombas y elaboración de bombas artesanales Presupuestos GIRA CAMPO
S4	Microcréditos (ENACTUS) Emprendimientos empresariales (ENACTUS) Entrega de ejercicios y propuesta de proyectos (Sesión extra).

Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

Con el primer grupo del diplomado se realizó una gira (Figura 32) (noviembre 2015) para conocer proyectos exitosos afuera del departamento; la gira se programó para recibir un día de capacitación y ejercicios prácticos sobre la implementación y cálculos de los sistemas; para finalizar el segundo día con el recorrido por los diferentes proyectos. La actividad de capacitación se desarrolló en Antigua Guatemala, Sacatépequez. La visita se hizo a la aldea La Soledad, en el municipio de Acatenango, Chimaltenango. Para la realización de la actividad se contrataron los servicios de una empresa, quien se encargó de toda la logística del evento (transporte, hospedaje, alimentación).

Por falta de fondos dentro del proyecto el segundo grupo ya no fue posible desarrollar la misma actividad, por lo cual únicamente se visitó la caseta demostrativa y proyectos cercanos al casco urbano de Santa Lucía Cotzumalguapa.

Durante el diplomado se dieron a conocer los resultados de los análisis realizados a las fuentes de agua, además la entrega de los mismos a los representantes de los COCODES, se explicó sobre la contaminación y las formas variadas para evitar, además de los tratamientos mínimos para obtener agua apta para consumo humano.

Inicialmente se esperaba que los participantes desarrollaran propuestas sobre sistemas de captación y las mejores propuestas se pretendían seleccionar para otorgar un sistema domiciliar y otro escolar para la captación del agua de lluvia, sin embargo por la poca disponibilidad de fondos por parte de la SENACYT, no se lograron ejecutar los sistemas comunitarios y escolares.

Figura 32. Gira para visitar proyectos exitosos; a) taller en Antigua Guatemala; b) exposición de una lideresa; c) visita a comunidad de La Soledad, para conocer proyectos de cosecha de agua de lluvia y; d) visita al proyecto de Atrapa niebla.



Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

III.1.3 Transferencia de tecnología sobre almacenamiento de agua a través de la capacitación y promoción

Además de la captación y almacenamiento de agua, se desarrolló la sesión número 4 por medio del grupo de ENACTUS de la Universidad del Valle de Guatemala, Campus Sur. En esta sesión se incentivó el desarrollo de acciones sostenibles. Para esto se fomentó a través de la capacitación sobre la creación de pequeñas empresas para comercializar agua de lluvia purificada.

Se capacitó a los líderes sobre cómo obtener acceso a microcréditos y emprendimiento empresarial, dentro de este último se brindaron herramientas sobre recursos y pasos a seguir para la implementación de una empresa comercializadora del agua.

Las medidas de almacenamiento de agua son económicamente viables ya que resultan en ahorros (gastos evitados para la compra de garrafones de agua). Además de cubrir las necesidades (beber y cocinar) de todos los miembros de la familia.

La propuesta se enfocó en comercializar el excedente de agua almacenada de manera que se recupere la inversión efectuada en la implementación del sistema, esto ayudaría a generar una fuente de ingresos extras o diversificación de los medios de vida de los que adopten esta tecnología.

Figura 33. Capacitación del grupo de ENACTUS, módulo 4



Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

Figura 34. Sesión sobre microcréditos, Grupo ENACTUS.



Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

III.1.4 Desarrollar una estrategia local de coordinación interinstitucional durante el periodo del proyecto

La propuesta de proyecto fue definida por el trabajo entre el sector público, privado y academia, por lo cual se planteó implementar una estrategia de coordinación interinstitucional para el desarrollo del mismo. Desde el planteamiento de la propuesta se sostuvieron reuniones periódicas, según los requerimientos del trabajo. Las reuniones se continuaron durante el desarrollo del proyecto MULTICYT 02-2015.

Inicialmente se realizaron reuniones con la Dirección Municipal de Planificación - DMP de la municipalidad de Santa Lucía Cotzumalguapa y ENACTUS, para la coordinación de actividades en conjunto, realizar la planificación y socialización del proyecto a diferentes niveles.

Se les presentó la línea base elaborada por el ICC, con el propósito de hacer un análisis y revisión de información en conjunto para conocer la ubicación de los centros poblados del municipio y posteriormente la priorización de las comunidades; al final del proyecto se discutió sobre los análisis que se realizaron a las muestras de agua de las diferentes fuentes de agua (pozos, sistema municipal de agua, agua de lluvia y agua de lluvia filtrada) para consumo humano.

Se realizó una planificación, donde se determinaron fechas de reuniones y capacitación al personal de ENACTUS y Municipalidad, con el objetivo de conocer los requerimientos básicos para la ejecución de un sistema de almacenamiento de agua de lluvia. Asimismo se coordinó con personal técnico administrativo de la Dirección Departamental de Educación, oficina del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa. El objetivo fue dar a conocer el proyecto y coordinar la realización de un muestreo de agua en una escuela priorizada por la Dirección de Educación. Asimismo, se buscaba enseñar a los técnicos de educación las acciones básicas para implementar este tipo de proyecto a nivel escolar.

Figura 35. Capacitación personal de Educación, Santa Lucía Cotzumalguapa.



Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

Figura 36. Socialización y taller a directores de Escuelas del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa



Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

III.1.4 Divulgar con las autoridades, actores sociales e instituciones en el campo de su competencia, la información obtenida del programa ejecutado

Para la divulgación de los resultados del proyecto se planificaron dos talleres, uno a nivel departamental y otro a nivel nacional. Dentro de estos talleres se coordinó con diferentes organizaciones que han desarrollado proyectos de cosecha de agua, con el propósito de hacer un intercambio de experiencias a nivel interinstitucional y población.

Dentro del espacio de los talleres se dio a conocer los principales resultados del proyecto MULTICYT 02-2015. Dentro de las instituciones que presentaron sus proyectos en el intercambio de experiencias fueron: MAGA, FAO, PMA, MSPAS, SENACYT, Municipalidad de Guatemala, CUNSUROC-USAC, RASGUA, las ONG's ACF y Plan International, Asociación Guatemalteca Pro-Agua y Saneamiento, y del sector privado DURMAN e ICC.

En el evento nacional se contó con la participación de 76 personas, representantes de instituciones del sector público, privado y academia. A nivel departamental se contó con la participación de más de 50 personas entre líderes comunitarios, representantes de empresas agroindustriales, municipalidades del departamento de Escuintla e instituciones del sector privado.

Figura 37. Divulgación e intercambio de experiencias sobre Almacenamiento de agua de lluvia; a y b) taller nacional realizado el 27 de abril de 2016 en la USAC; c) taller departamental, auditorium de CENGICAÑA, 30 de marzo 2016; d) presentación SENACYT en el taller departamental.



Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

Figura 38. Invitación del taller nacional y departamental para intercambiar experiencias sobre almacenamiento de agua de lluvia, y divulgar las actividades desarrolladas dentro del proyecto MULTICYT 02-2015

El Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático - ICC

Le invita al taller nacional

“Experiencias sobre almacenamiento de agua de lluvia como medida de adaptación al cambio climático”

Fecha: 27 de abril 2016
Hora: 8:00 a 14:00
Lugar: Edificio UVIGER-USAC (Frente al S-12)

Este taller se desarrollará dentro del marco del proyecto Multicyt 02-2015 “Agua potable para comunidades rurales y escuelas basada en el almacenamiento del agua de lluvia. Un aporte del parque tecnológico de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla.”

El Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático - ICC

Le invita al taller departamental sobre intercambio de experiencias en:

Sistemas de almacenamiento de agua de lluvia

el cual se desarrollará dentro del marco del proyecto “Agua potable para comunidades rurales y escuelas basada en el almacenamiento del agua de lluvia. Un aporte del parque tecnológico de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla.”

A realizarse el miércoles 30 de marzo en el Auditorium de CENGICAÑA de 8:00 a 14:00 horas.

Por favor, confirmar su asistencia con Sharon Arias a través del correo adireccion@icc.org.gt o al número 7828-1048.

Confirmar su asistencia al correo galfaro@icc.org.gt
Cupo limitado

Esta invitación admite a ___ personas.

Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

Parte IV

IV.1 CONCLUSIONES

IV.1.1 Dentro del marco de implementación de un parque tecnológico abierto en el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, se impulsó la implementación de sistemas de provisión de agua potable con base en el almacenamiento de agua de lluvia a nivel comunitario del área rural de la costa sur de Guatemala.

IV.1.2 Se diseñó e instaló un sistema demostrativo de captación, almacenamiento y potabilización de agua de lluvia, así como la evaluación de la calidad del agua en las comunidades priorizadas para el desarrollo del proyecto, dando como resultado el alto porcentaje de contaminación en los distintos sistemas de agua, por lo cual, no es apta para el consumo humano.

IV.1.3 Se capacitó a más de 75 líderes de 12 comunidades del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa sobre la cosecha de agua de lluvia, donde aprendieron a calcular la oferta y demanda de agua mensual. Se brindaron los requisitos básicos para obtener acceso a microcréditos y a emprender un negocio propio.

IV.1.4 Se capacitó a los líderes en la elaboración de filtros y la aplicación de diferentes métodos de desinfección del agua para consumir agua de mejor calidad y evitar repercusiones en la salud.

IV.1.5 El proyecto se desarrolló de manera tripartita, estableciendo una agenda de trabajo según los requerimientos dentro del proyecto, con el ICC como líder dentro de todo el proceso. Una de las limitantes fue el cambio de autoridades o punto focal del proyecto, perdiendo el interés de la institución.

IV.1.6 Al finalizar el proceso de capacitación y obtener los resultados de los análisis de agua, se divulgó la información a nivel comunitario e institucional. Se desarrolló un taller departamental y otro nacional para divulgar los principales resultados del proyecto MULTICYT 02-2015, así como intercambiar experiencias a nivel nacional sobre la temática.

IV.1.7 Los objetivos del proyecto fueron alcanzados. Sin embargo, debido a la falta de fondos para la ejecución por parte de SENACYT, no se desarrollaron todas las actividades de la manera que fue planteada en la propuesta del proyecto.

IV.2 RECOMENDACIONES

IV.2.1 Los sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia son una alternativa viable en el corto plazo para brindar soluciones tangibles sobre la escasez de agua a nivel comunitario.

IV.2.2 Los métodos de cosecha de agua de lluvia se emplean en la zona de una manera empírica, sólo para garantizar agua para las siguientes horas. Sin embargo, se desconoce cómo implementar el sistema correctamente para garantizar el recurso hídrico durante la época más seca del año.

IV.2.3 La población desconoce sobre los métodos adecuados para el almacenamiento de agua, la forma que utilizan, en su mayoría se convierten en los principales generadores de vectores, creando focos de contaminación.

IV.2.4 Es importante que las personas tengan un intercambio de experiencias y conozcan distintos proyectos exitosos, para incentivar y promover la implementación de estos sistemas a nivel domiciliar.

IV.2.5 Brindar el apoyo necesario para que esta medida de adaptación al cambio climático se pueda desarrollar en diferentes partes del país, la cual se considera una forma práctica y de bajo costo para garantizar del vital líquido a comunidades.

IV.3 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdulla, F. A. & Al-Shareef, A. W. (2009). Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan. *Desalination*, 195–207.
- Adler, I., Carmona, G., & Bojalil, J. (2008). *MANUAL DE CAPTACIÓN DE AGUAS DE LLUVIA PARA CENTROS URBANOS*. México, DF.
- Asociación de Servicios y Desarrollo Socioeconómico de Chiquimula -ASEDECHI-. (2009, 29 de abril). Proyecto de Captación de Agua de Lluvia. Recuperado el 9 de agosto de 2014, del sitio web de ASEDECHI: <http://asedechi.org/2009/04/proyecto-de-captacion-de-agua-delluvia/>
- Ayala, M. (2011). *ANALISIS DE LA SITUACION DEL ABASTECIMIENTO DEL RECURSO AGUA, Y PROPUESTA DE GESTION EDUCATIVA AMBIENTAL PARA SU MANEJO Y APROVECHAMIENTO EN LA COLONIA LEMUS, ZONA 4, CHIQUIMULA*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Centro Universitario de Oriente de la Universidad de San Carlos de Guatemala -CUNORI- (2011) Centro Regional de Capacitación sobre Técnicas de Captación de Agua de Lluvia. CERCALL. Recuperado el 9 de agosto de 2014, del sitio web del CUNORI: <http://cunori.edu.gt/actualidad/cercall/>
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (2001). *GUÍA DE DISEÑO PARA CAPTACIÓN DEL AGUA DE LLUVIA*. Lima, Perú.
- CEPAL. (2005). *EFFECTOS EN GUATEMALA DE LAS LLUVIAS TORRENCIALES Y LA TORMENTA TROPICAL STAN , OCTUBRE DE 2005*. Retrieved from <http://www.segeplan.gob.gt/stan/docs/informeguatemala.pdf>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2004). Guatemala: Evolución de los Daños Ocasionados por el Huracán Mitch, 1998 Sus implicaciones para el desarrollo económico y social y el medio ambiente.
- Díaz, S. (2013). *DISEÑO DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN DEL AGUA DE LLUVIA*. México, DF.
- FAO. (2013). *Captación y almacenamiento de agua de lluvia*. (M. Wambeke, Jan Van Prieto, Matias. Vieira, Ed.). Santiago, Chile.
- Frost, A. (2011). “antecedentes de la captación del agua de lluvia.” México, DF.
- Garduño, M. (2006). *Captación y aprovechamiento*. México, DF.

- Garduño, M., & Martínez, J. (2007). *SISTEMAS DE CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA DE LLUVIA PARA USO DOMÉSTICO Y CONSUMO HUMANO EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE*. (D. de D. / C. Postgraduados, Ed.) (primera: 2). México, DF.
- Helmreich, B., & Horn, H. (2009). Opportunities in rainwater harvesting. *Desalination*, 118–124.
- Howard, G., & Batram, J. (2003). *Domestic Water Quantity , Service Level and Health*. Geneva, Switzerland. Retrieved from http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/WSH03.02.pdf?ua=1
- Hunt, W. F., & Jones. (2010). Performance of rainwater harvesting systems in the southeastern United States. *Resources, Conservation and Recycling*. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.11.002>
- IARNA. (2002). *EL AGUA: SITUACIÓN ACTUAL Y NECESIDADES DE GESTIÓN*. Guatemala. Retrieved from <http://biblio3.url.edu.gt/IARNA/SERIETECNINCA/5.pdf>
- IARNA. (2004). *Perfil Ambiental de Guatemala: Informe sobre el estado del ambiente y bases para su evaluación sistemática*. Guatemala.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (1998). *Sistemas de Captación de Agua de Lluvia para Uso Doméstico en América Latina y el Caribe. Manual Técnico*. México: IICA.
- IICA. (1998). *IICA.PDF*. México, DF.
- Instituto Nacional de Estadística. (2005). *XI Censo Nacional de Población y VI de Habitación: Características de la población y de los locales de habitación censados (2002)*. Guatemala: INE-FNUAP.
- Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (Indhri). (2010). *Aumento de la oferta hídrica*.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología INSIVUMEH-. (2003). *Atlas climatológico de Guatemala*. Recuperado el 5 de agosto de 2014, del sitio web del INSIVUMEH: http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/ATLAS_HIDROMETEOROLOGICO/Atlas_Climate.htm
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología INSIVUMEH-. (2008). *Calidad del Agua Superficial y Subterránea de varias Cuencas de la República de Guatemala. Boletín No.11. Año 2008*.

- Mena, J. (2014). *Caracterización del Sistema de Distribución de Agua Potable del Casco Urbano del Municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa*. Rafael Landívar. Retrieved from <http://icc.org.gt/wp-content/uploads/2016/01/Mena-Josue.pdf>
- Municipalidad de Guatemala. (2013, 11 de julio). Proyecto de captación de agua en la zona 25 ya es una realidad. Recuperado el 9 de agosto de 2014, del sitio web de la Municipalidad de Guatemala: <http://www.muniguate.com/index.php/rn/12678-capacionaguazona25>
- OMS. (2009). *Cantidad mínima de agua necesaria para uso doméstico*. Retrieved from <http://www.disaster-info.net/Agua/pdf/9-Usodomestico.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Página web oficial 2008, www.unesco.org.
- Palacio, N. (2010). Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua de lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia. Colombia.
- Phillips, V. D., Tschida, R., Hernández, M., & Hernández Martínez, F. (9 de julio de 2008). Captación de agua de lluvia como alternativa para afrontar la escasez del recurso. Oaxaca, Oaxaca, Mexico.
- Soriano, A. (2007). Evaluación de aguas residuales en edificios. Barcelona., España.
- UNICEF. (2005). *Tormenta STAN: Se agudiza emergencia en Guatemala*. Guatemala. Retrieved from http://www.unicef.org/guatemala/spanish/media_2612.htm
- UNICEF. (2014). *Agua, saneamiento e higiene*.
- Sistema de la Naciones Unidas en Guatemala (2008). ¿Qué tan cerca estamos de la meta? Manual sobre los Objetivos de Desarrollo del Milenio con enfoque de Derechos Humanos. Guatemala: Informe Nacional de Desarrollo Humano.
- Velasco, H., Silva, A., Veenhuizen, R., Pérez, S., Prieto, M., Anaya, M., ... Morales, R. (2000). *Manual de Captación y Aprovechamiento del agua de lluvia, Experiencias en América Latina*. Fao. Retrieved from <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/ai128s/ai128s00.pdf>

IV.4 ANEXOS

IV.4.1 ENSAYO GENERICO

Como se menciona en la propuesta del proyecto “Agua potable para comunidades rurales y escuelas basada en el almacenamiento del agua de lluvia. Un aporte del parque tecnológico de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla”, el almacenamiento del agua se entiende como una práctica de adaptación ante el cambio climático y otras problemáticas, como el crecimiento poblacional o el mal manejo del recurso. El almacenamiento de agua resulta especialmente importante para enfrentar tanto la escasez del recurso como la mala calidad del mismo. Sin embargo, es necesario adoptar prácticas de adaptación con base en criterios de viabilidad económica. El presente ensayo busca presentar un análisis sobre viabilidad económica de la medida con la información disponible hasta la fecha. Se entiende que existe viabilidad económica cuando los ingresos o ahorros (gastos evitados) superan los costos.

Se determinará la viabilidad económica de la medida como práctica de adaptación de manera aislada, es decir si disponer de un sistema de captación y almacenamiento de agua resulta eficiente y/o rentable. A su vez se discute que implicaciones tendría esto en términos de sostenibilidad, en especial al incorporar el enfoque social.

Como punto de partida para el análisis se dispone de los siguientes datos:

Personas por hogar	4.64
Consumo de agua (litros) por persona y día	5
Días por mes	30.42
Consumo de agua (litros) por familia y mes	705.67
Consumo de agua (litros) por familia y año	8,468
Volumen del área de captación (techo de la vivienda) (m ²)	20
Volumen del tanque de almacenamiento (litros)	10,000

El número promedio de personas por hogar para el departamento de Escuintla es de 4.64⁴. El consumo de agua por persona y día para reemplazar la pérdida de fluidos oscila alrededor de 3 litros (Gleick 1996)⁵. Sin embargo le asignamos un valor ligeramente superior (5 litros) para que el agua también pueda ser utilizada para cocinar.

⁴ Instituto Nacional de Estadística. (2005). XI Censo Nacional de Población y VI de Habitación: Características de la población y de los locales de habitación censados (2002). Guatemala: INE-FNUAP.

⁵ Gleick, P. H., (1996, 22 de enero). Basic Water Requirements for Human Activities: Meeting Basic Needs. Water International, Volumen 21 (2), pp. 83-92.

Tabla 24. Balance de agua con medida de almacenamiento por familia a partir del histórico de precipitación.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1999	0.2	29	28.5	196.7	314.2	432.9	356.7	279.7	519.6	408.9	66.6	63.8
2000	7.6	7	4.3	15	256.5	275.4	197.5	356.6	119.3	21.5	64.9	16.2
2001	1.3	42.4	15.6	62.2	321.6	407.8	275.1	185.2	363.8	407.7	37.1	0.4
2002	15.8	4	26	30.8	289	326.1	370	0	158.1	256.2	152.4	1.2
2003	0.2	0	50.3	169.5	847.5	712.6	698.4	667.9	506.9	523.6	198.6	4.4
2004	4.8	12.4	135	104	910.2	300.8	342				54.5	12
2005	20.8	1.1	22.6	69.9				0.6	269	0	37.2	25.6
2006	0	0	0	325.4	393	558.8	701	510.8	411.4	829.2	505.4	45
2007	0	12.2	96.4	145.6	493.4	366.8	393	681.2	609.6	603.6	134.8	18.6
2008	2.6	115.8	125.2	284.2	200	584.2	508.8	687.4	965.4	565.6	55.8	21
2009	137.8	12.2	47	16.2	546.6	450.2	350	524.6	388.2	545.6	335	28.6
2010	5.2	0	9	247.2	727.8	667.6	597	758.8	930.6	326.8	68.2	32.2
2011	11	52	132.6	308.4	412	452.6	350	462.5	506.8	876.4	63.2	0
2012	0	3.6	85.6	297	481.6	268.6	346.8	719.2	391	618.2	116.4	62.6
Total general	14.81	20.84	55.58	162.29	476.42	446.49	422.02	448.81	472.28	460.25	135.01	23.68
Precipitación promedio condicionada	5.35	10.33	19.13	89.99	351.26	364.58	331.23	214.1	300.1	236.85	87.48	17.1
Volumen de agua captada	106.93	206.5	382.5	1,799.78	7,025.11	7,291.56	6,624.67	4,282	6,002.29	4,737	1,749.5	342
Aclaración	Se desecha por calidad de agua	Se desecha por calidad de agua	Se desecha por calidad de agua	Se comienza a captar y almacenar	Se capta y almacena	Se desecha por calidad de agua						
Consumo de agua por familia	705.67	705.67	705.67	705.67	705.67	705.67	705.67	705.67	705.67	705.67	705.67	705.67
Balance total año 0	-	-	-	1,094.11	7,413.56	13,999.44	19,918.44	23,494.78	28,791.4	32,822.73	33,866.56	33,160.9
Balance real año 0	-	-	-	1,094.5	7,414.33	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	9,294.33
Balance total año +1	32,455.23	31,749.56	31,043.9	32,138.01	38,457.45							
Balance real año +1	8,588.67	7,883	7,177.33	8,273.38	10,000							

Fuente: INSIVUMEH

En Tabla 24 se presenta información diversa. Inicialmente se muestra el histórico de precipitación por mes para el periodo 1999-2012, y el promedio de ese periodo para cada mes. Estos promedios son condicionados, es decir se aisló el efecto de fuertes lluvias, o incluso lluvia extrema, para estimar la precipitación normal para cada mes: se eliminan las lluvias superiores a 50 mm para los meses de enero, febrero, marzo y diciembre; las lluvias superiores a 200 mm para los meses de abril y noviembre; y las lluvias superiores a 500 mm para los meses de mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre.

En base a los promedios mensuales condicionados de precipitación se puede determinar el volumen de agua captada, teniendo en cuenta que la superficie del área de captación tomada como ejemplo es de 20 m². Por cada milímetro de agua de lluvia que cae

sobre un metro cuadrado, se obtendrá un litro de agua (Anaya y Martínez 2007)⁶, siguiendo la lógica plasmada en la Tabla 25.

Tabla 25. Volumen de agua captado en litros con relación al área de captación y a la precipitación pluvial promedio.

Área de Captación (m2)	Precipitación pluvial promedio (mm)					
	1	10	100	1000	2000	3000
1	1	10	100	1,000	2,000	3,000
10	10	100	1,000	10,000	20,000	30,000
50	50	500	5,000	50,000	100,000	150,000
100	100	1,000	10,000	100,000	200,000	300,000
150	150	1,500	15,000	150,000	300,000	450,000
200	200	2,000	20,000	200,000	400,000	600,000
250	250	2,500	25,000	250,000	500,000	750,000
300	300	3,000	30,000	300,000	600,000	900,000
350	350	3,500	35,000	350,000	700,000	1,050,000
400	400	4,000	40,000	400,000	800,000	1,200,000
450	450	4,500	45,000	450,000	900,000	1,350,000
500	500	5,000	50,000	500,000	1,000,000	1,500,000
550	550	5,500	55,000	550,000	1,100,000	1,650,000
600	600	6,000	60,000	600,000	1,200,000	1,800,000
650	650	6,500	65,000	650,000	1,300,000	1,950,000
700	700	7,000	70,000	700,000	1,400,000	2,100,000
750	750	7,500	75,000	750,000	1,500,000	2,250,000
800	800	8,000	80,000	800,000	1,600,000	2,400,000
850	850	8,500	85,000	850,000	1,700,000	2,550,000
900	900	9,000	90,000	900,000	1,800,000	2,700,000
950	950	9,500	95,000	950,000	1,900,000	2,850,000
1,000	1,000	10,000	100,000	1,000,000	2,000,000	3,000,000
1,500	1,500	15,000	150,000	1,500,000	3,000,000	4,500,000
2,000	2,000	20,000	200,000	2,000,000	4,000,000	6,000,000
2,500	2,500	25,000	250,000	2,500,000	5,000,000	7,500,000
3,000	3,000	30,000	300,000	3,000,000	6,000,000	9,000,000
3,500	3,500	35,000	350,000	3,500,000	7,000,000	10,500,000
4,000	4,000	40,000	400,000	4,000,000	8,000,000	12,000,000
4,500	4,500	45,000	450,000	4,500,000	9,000,000	13,500,000
5,000	5,000	50,000	500,000	5,000,000	10,000,000	15,000,000
5,500	5,500	55,000	550,000	5,500,000	11,000,000	16,500,000
6,000	6,000	60,000	600,000	6,000,000	12,000,000	18,000,000
6,500	6,500	65,000	650,000	6,500,000	13,000,000	19,500,000
7,000	7,000	70,000	700,000	7,000,000	14,000,000	21,000,000
7,500	7,500	75,000	750,000	7,500,000	15,000,000	22,500,000
8,000	8,000	80,000	800,000	8,000,000	16,000,000	24,000,000
8,500	8,500	85,000	850,000	8,500,000	17,000,000	25,500,000
9,000	9,000	90,000	900,000	9,000,000	18,000,000	27,000,000
9,500	9,500	95,000	950,000	9,500,000	19,000,000	28,500,000
10,000	10,000	100,000	1,000,000	10,000,000	20,000,000	30,000,000

Fuente: CIDECALLI, 2007

⁶ Anaya G., M., & Martínez, J.J., (2007). *Sistemas de Captación y Aprovechamiento del Agua de Lluvia para uso Domestico y Consumo Humano en América latina y el Caribe*. México: Publicaciones Diamante.

La Tabla 24 presenta los volúmenes de agua captada por mes, sin embargo, para volúmenes bajos de captación, es decir, las que se producen en enero, febrero, marzo y diciembre, el agua captada se recomienda desechar con la finalidad de limpiar el sistema y disponer de agua de calidad (Anaya y Martínez 2007). A partir de abril hasta noviembre, el agua captada se puede almacenar.

Teniendo en cuenta el supuesto de que el consumo mensual de agua por familia es constante, el balance de agua podría ser determinado, a partir del primer mes de captación (abril de año 0), como la diferencia entre el agua captada y el agua consumida. El agua captada es todos los meses muy superior al agua consumida, hasta el punto de que en un periodo de entre dos y tres meses (para junio) el tanque de almacenamiento ya estaría lleno.

En la Tabla 24 también se observa que el volumen del tanque (10,000) alcanzaría para cubrir las necesidades de la familia durante la totalidad de la época seca, produciéndose incluso un balance positivo de 7,177 litros de agua disponibles al final de esta (marzo del año +1). A partir de esta fecha, se volvería a captar y almacenar agua y su volumen en el tanque de almacenamiento aumentaría.

Se introduce ahora en el análisis el costo de la medida de almacenamiento de agua (tinaco y resto de materiales) y el de su alternativa (que coincide con la situación tradicional, es decir consumir agua purificada comercializada mediante tambos). Para ello se presentan los siguientes valores.

Coste total (GTQ) de instalación del sistema de almacenamiento de agua	22,757.75
Precio del garrafón de agua pura (GTQ)	16
Litros por garrafón de agua	18.9
Litros de agua por familia y mes	705.28
Gasto por familia (GTQ) para satisfacer las necesidades de un mes	597.06
Gasto por familia (GTQ) para satisfacer las necesidades de un año	7,164.75
Beneficio de la medida (cada 35 años) -GTQ-	228,008

Los valores superiores presentan el ahorro (o costo evitado) de la medida. La medida sólo conlleva costes iniciales (costes de instalación), ya que se asumió que no existen costes de mantenimiento (o estos serían mínimos). Por lo tanto, cada año se produce un ahorro de 7,165Q equivalente al gasto por familia en garrafones de agua. Esto significa que en un periodo aproximado de 3.18 años, la inversión en la medida estaría rentabilizada. Puesto que la vida útil de un sistema de almacenamiento de agua se estima en 35 años (tinaco), el ahorro total (o beneficio) es significativo.

Pero el resultado previamente presentado sólo considera el ahorro de la medida, o visto de otra forma, la eficiencia de la misma. Sin embargo, con el excedente de agua almacenada, se podrían generar ingresos extras a través de su comercialización. La comercialización de agua tiene diversos fines, entre ellos lograr la sostenibilidad del proceso, incentivar a la gente y fortalecer sus medios de vida. Esto generaría unos ingresos

que también deben ser incluidos en el análisis. A continuación calculamos estos ingresos para el primer año de disponer de la medida.

Una vez satisfechos las necesidades de consumo de la familia durante la época seca, se dispone de 7,177 litros de agua en el tanque. Asumiendo un precio de venta de 0.75GTQ/litro (por debajo del coste del litro de agua comercializado mediante tambo, aproximadamente 0.85 GTQ/litro), los ingresos por la comercialización de agua en la época seca serían de 5,383GTQ. Si en la época seca el beneficio fuese de 5,383GTQ, sería real plantearse que el beneficio en la época lluviosa fuese, cuanto menos, el mismo. Sin embargo, el volumen de agua comercializada podría ser incluso mucho mayor, ya que las posibilidades que se originarían de comercializar agua en la época lluviosa son numerosas; siendo el caso extremo el de comercializar el agua que exceda la capacidad del tanque (lo que dejaría unos ingresos de 18,900Q tras la primera época lluviosa, dejando además el tanque lleno al final de la época lluviosa). Esta información se presenta a continuación.

Litros de agua que se podrían vender en época seca	7,177.33
Precio del litro de agua comercializado mediante tambo	0.85
Precio venta litro de agua	0.75
Ingresos máximos por comercialización de agua en época seca	5,383
Ingresos máximos por comercialización de agua en época lluviosa	18,900

Conclusión y Análisis

La información aquí contenida sirve para obtener una idea de la eficiencia y rentabilidad económica del almacenamiento de agua. La inversión se rentabilizaría en pocos años, siguiendo la lógica de los costes evitados para consumo propio. Si además el agua se comercializase, según este análisis, los beneficios serían mucho mayores, lo que implica gran rentabilidad de la medida.

Sin embargo, sería necesario estimar la demanda, lo cual, junto los cálculos aquí establecidos, contribuirá a determinar el potencial real de la inversión en almacenamiento de agua (tanto en la época seca como lluviosa).

En estos cálculos no se incorporan diversos aspectos sociales, como el grado de aceptación de la medida, las facilidades de mercado para comercializar el agua, las facilidades de financiación, etc. La medida puede resultar económicamente atractiva, pero como cualquier otra tecnología necesita ser adaptada por la sociedad. Se necesita además generar más información que contribuya a la creación de un plan de negocio y una buena gestión del recurso captado. Estos aspectos resultan claves para determinar la viabilidad de la medida. A su vez, el proyecto pretende incidir en el cambio de actitudes de la población hacia el almacenamiento de agua, sin embargo esto es un proceso que tiene que ser

desarrollado progresivamente (Abdulla y Al-Shareef 2009)⁷. El plan de sostenibilidad detallado en la propuesta de proyecto explica cómo se espera contribuir con esta finalidad.

Este análisis parte de una serie de supuestos que deberán de tenerse en cuenta a la hora de interpretar los resultados. Se considera información climática (precipitación histórica) promedio, por lo que el volumen real de captación y almacenamiento variará por defecto o por exceso. Los cálculos tampoco incluyen los costes de distribución y/o comercialización del agua. No se incluye el efecto de una canícula en los cálculos. No se contempla que el excedente de agua, pueda ser destinado a satisfacer otros usos (p.ej. lavar, ducharse, etc.) en vez de destinarse a la comercialización. El volumen del tanque, 10,000 litros, podría variar en función de las necesidades o la viabilidad de la comercialización de agua. La vida útil, 35 años, es la asignada por el proveedor al tinaco; la vida útil real del sistema podría ser algo menor por la depreciación del resto materiales que canalizan el agua del área de captación al tanque de almacenamiento (tinaco). Por último, se recomienda afinar el análisis con la información que se genere mediante el potencial proyecto.

El almacenamiento de agua, y en especial el consumo de agua de calidad en la población tienen implicaciones en salud y seguridad alimentaria. Por ejemplo, contribuiría a reducir los gastos médicos destinados a tratar enfermedades gastrointestinales o las ausencias al trabajo, o a clase, originadas por este tipo de enfermedades. Estos ahorros deberían de tenerse en cuenta a la hora de evaluar económicamente la medida. El presente ensayo no incluye estos gastos ya que determinarlos requeriría de un estudio más complejo.

⁷ Abdulla, F. A. & Al-Shareef, A.W., (2009, julio). Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan. *Desalination*, Volumen 243 (1-3),pp .195–207.

IV.4.2 ELABORACIÓN DE MANUAL PARA PARTICIPANTES DEL DIPLOMADO

Con la información generada por medio de este proyecto y las formulas establecidas se generó un folleto donde se explica cada uno de los pasos a seguir para la ejecución de un proyecto de sistemas de almacenamiento de agua de lluvia. Se coloca la caratula del folleto y ejemplo sobre cálculo de áreas.

Figura 39. Caratula de guía para el establecimiento de un Sistema de Almacenamiento.

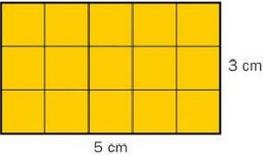


Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

Figura 40. Ejemplo de imágenes del folleto

Como determinar el área de un techo

¿Cuál es el área de este rectángulo?



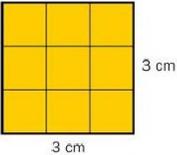
5 cm 3 cm

la podemos calcular así:

Largo
Ancho

Área = 5 cm × 3 cm = 15 cm²

¿Cuál es el área de este cuadrado?



3 cm 3 cm

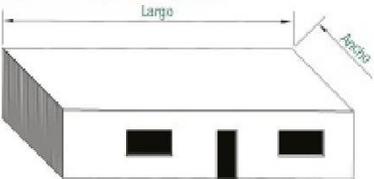
la podemos calcular así:

Lado
Lado

Área = 3 cm × 3 cm = 9 cm²

- El área del rectángulo es igual al producto de su largo por su ancho.
- El área del cuadrado es igual al producto de su lado por sí mismo.

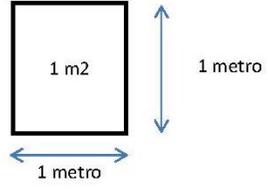
Para calcular el área de nuestro techo, solo debemos multiplicar el largo por el ancho.

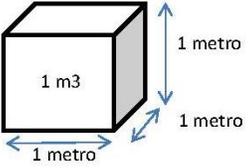
Debemos diferenciar un metro cuadrado de un metro cubico.



1 metro cuadrado se representa = m2
Tiene lados iguales de 1 metro cada uno.

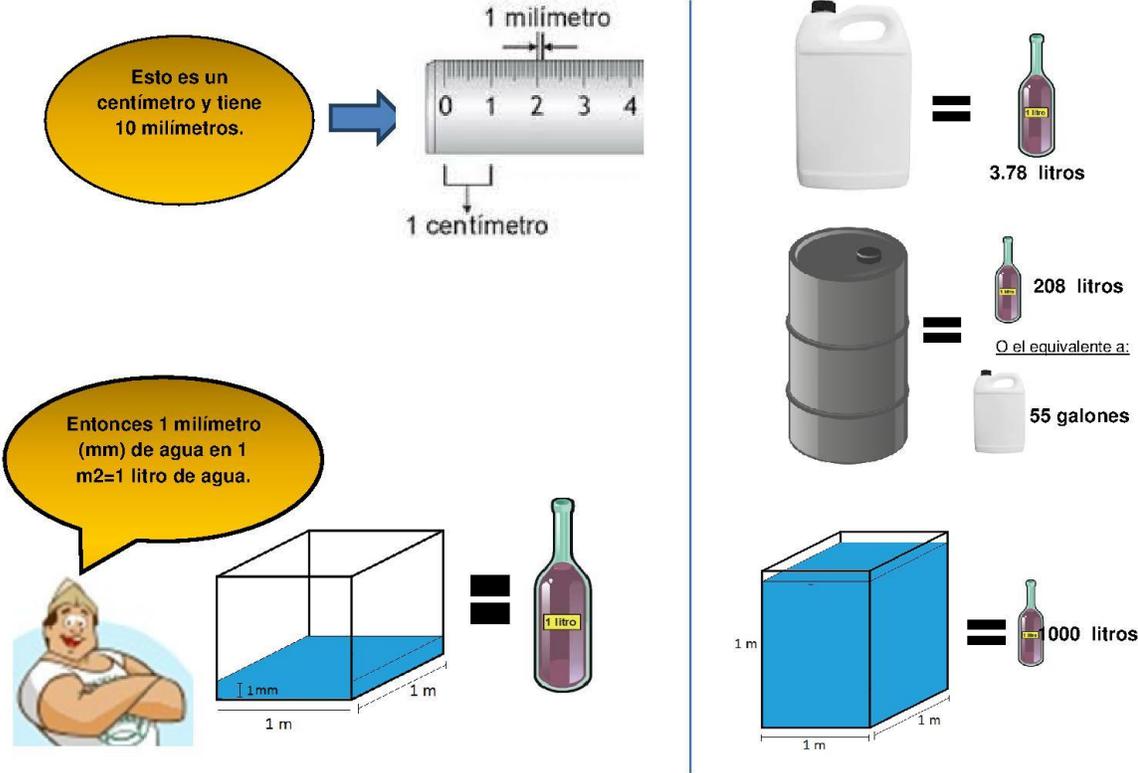


1 metro cubico se representa= m3
Tiene lados iguales de 1 metro cada uno, Y UNA ALTURA DE 1 METRO.



Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

Figura 41. Explicación en folleto.



Fuente: Proyecto MULTICYT 02-2015.

Parte V

V.1 INFORME FINANCIERO

AD-R-0013



FICHA DE EJECUCIÓN PRESUPUESTARIA

LINEA:
MULTICYT



Nombre del Proyecto: Agua potable para comunidades rurales y escuelas basada en el almacenamiento del agua de lluvia. Un aporte del parque tecnológico de Santa Lucía Cotzulanguapa, Escuintla

Numero del Proyecto: MULTICYT 002-2015

Investigador Principal y/o Responsable del Proyecto: Dr. Alex Alf Guerra Noriega

Monto Autorizado: Q 405,499.00 **Orden de Inicio (y/o Fecha primer pago):**

Plazo en meses: 14

Fecha de Inicio y Finalización: 01/03/2015-30/04/2016

Grupo	Renglon	Nombre del Gasto	Asignacion Presupuestaria	TRANSFERENCIA		Ejecutado	Pendiente de Ejecutar
				Menos (-)	Mas (+)		
0		SERVICIOS PERSONALES					
	035	Personal a Destajo	Q 9,000.00				Q 9,000.00
1		SERVICIOS NO PERSONALES					
	141	Transporte de personas	Q 14,600.00			Q 6,210.00	Q 8,390.00
	142	Fletes	Q 2,500.00				Q 2,500.00
	181	Estudios, investigaciones y proyectos de factibilidad	Q 87,500.00			Q 85,000.00	Q 2,500.00
	182	Servicios Médicos y Sanitarios	Q 52,200.00	Q 48,700.00			Q 3,500.00
	185	Servicios de capacitación	Q 100,000.00			Q 29,528.00	Q 70,472.00
	189	Otros estudios y/o servicios			Q 48,700.00	Q 22,375.00	Q 26,325.00
	189	Otros estudios y/o servicios (Evaluación externa de impacto)	Q 8,000.00			Q -	Q 8,000.00
2		MATERIALES Y SUMINISTROS					
	211	Alimentos para personas	Q 550.00			Q 465.25	Q 84.75
	214	Productos agroforestales, madera, corcho y sus manufacturas.	Q 2,835.00			Q 1,798.00	Q 1,037.00
	223	Piedra, arcilla y arena	Q 1,838.00			Q 300.00	Q 1,538.00
	261	Elementos y Compuestos químicos	Q 1,600.00				Q 1,600.00
	268	Productos plásticos, nylon, vinil y PVC	Q 96,250.00	Q 90,200.00		Q 1,070.00	Q 4,980.00
	269	Otros Productos químicos y conexos	Q 1,150.00				Q 1,150.00
	275	Productos cemento, pómez, asbesto y yeso	Q 8,091.00				Q 8,091.00
	281	Productos siderúrgicos	Q 1,400.00			Q 735.00	Q 665.00
	282	Productos metálicos no férricos	Q 2,550.00				Q 2,550.00
	283	Productos de metal	Q 1,185.00			Q 115.00	Q 1,070.00
	284	Estructuras metálicas acabadas	Q 6,000.00			Q 1,280.00	Q 4,720.00
	286	Herramientas menores	Q 1,250.00			Q 480.00	Q 770.00
	299	Otros materiales y suministros	Q 2,000.00				Q 2,000.00
3		PROPIEDAD, PLANTA, EQUIPO E INTANGIBLES					
	329	Otras maquinarias y equipos	Q 5,000.00		Q 90,200.00	Q 13,470.00	Q 81,730.00
			Q 405,499.00	Q 138,900.00	Q 138,900.00	Q 162,826.25	Q 242,672.75

MONTO AUTORIZADO	Q 405,499.00		Disponibilidad	Q 242,672.75
(-) EJECUTADO	Q 162,826.25	Q -		
SUBTOTAL	Q 242,672.75			
(-) ANTICIPO PARA GASTOS MENORES	Q -			
TOTAL POR EJECUTAR	Q 242,672.75			

El monto autorizado para el proyecto MULTICYT 02-2015 fue de Q405,499.00; para un periodo de 14 meses entre marzo 2015 hasta abril 2016; debido a la poca disponibilidad de fondos por parte de SENACYT, solamente se ejecutó el 40% del monto autorizado, equivalente a Q 162,826.25; es importante mencionar que se iban a instalar tres sistemas de cosecha de agua de lluvia y solamente se instaló un sistema (demostrativo en instalaciones de ICC).

De los sistemas de cosecha de agua de lluvia se solicitó poder instalar dos más (para un total de 5: 2 domiciliarios, 2 escolares y 1 demostrativo), de esa razón se hizo una transferencia al renglón 329 (Otras maquinarias y equipos), lamentablemente no se logró la compra de los 4 cisternas por falta de fondos durante la ejecución del proyecto, descartándose la instalación de estos sistemas.

Otra inversión importante por parte del proyecto, fue el análisis de muestras de agua para determinar su calidad física, química, microbiológica y otros elementos inorgánicos. También se cumplió con la capacitación de los dos grupos, contando con una mejor logística con el primer grupo de comunidades, debido a tema financiero y por el acceso a créditos con los proveedores, sin embargo la falta de liquidez hizo que el segundo grupo de comunidades se desarrollaran las capacitaciones a nivel comunitario, evitando la movilización y pago de alimentación de las personas.

La ejecución del presupuesto tuvo inconvenientes por la poca disponibilidad de fondos y trámites o gestiones en SENACYT, por lo que el Instituto se vio en la obligación de realizar gastos previstos e imprevistos dentro del proyecto para avanzar y cumplir con los objetivos planteados.

V.2 BIOGRAFÍA

Ph.D. Alex Guerra Noriega **Investigador Principal**

Alex es el director general del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, ICC, desde su fundación en 2010. Desde el inicio del ICC, ha coordinado las acciones y esfuerzos del instituto en temas de adaptación y mitigación al cambio climático, guiando al equipo de profesionales que conforman y desarrollan las acciones del ICC.

Antes de unirse al ICC, colaboró con Defensores de la Naturaleza, el Centro de Estudios Ambientales de la Universidad del Valle de Guatemala, la Asociación Amigos del río Ixtacapa –ADRI-, fue consultor para el PNUD y el INSIVUMEH, y asistente de la Asociación Becaria Guatemalteca, ABG.

Recibió su doctorado en Geografía y Medio Ambiente en la Universidad de Oxford, Inglaterra. Posee una maestría en Ciencia, Políticas Públicas y Manejo del Agua de la Universidad de Oxford y una licenciatura en Ingeniería Forestal de la Universidad del Valle de Guatemala.

Ing. Agr. Oscar Alejandro Avalos **Investigador Asociado**

Oscar ha desarrollado su carrera profesional en la temática de los recursos hídricos y la climatología; además ha desarrollado procesos de capacitación a diferentes niveles.

Anteriormente trabajó en el Corredor Seco con el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo y, como coordinador en investigación, evaluación y monitoreo de los recursos hídrico en Fundación Defensores de la Naturaleza, en la Reserva de Biosfera Sierra de las Minas/Fondo del Agua.

Además ha sido consultor con Heifer, Cooperación Alemana GIZ, Banco Mundial, UtzChe, CARE, WWF; en temas de recarga hídrica, balance hídrico de suelos, análisis de información climática (tabular, graficas y cartográfica), proyectos de riego e hidroeléctricos y valoración de servicios ambientales.

Ha trabajado en proyectos: Agrocyt y dos proyectos FODECYT; maneja instrumentos y equipo para medición de calidad de agua, instalación de equipo climático, medición forestal y edáfico, así como sistemas de información geográfica (ArcGis). Posee el título de Ingeniero Agrónomo, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Arq. German Alfaro Ruiz
Asesor de Contrapartida

German ha sido el coordinador del programa Gestión de Riesgo de Desastres del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, ICC, desde inicios del 2011.

Antes de unirse al equipo del ICC, trabajó para Plan Internacional, Inc. como Técnico de Agua, Saneamiento, Medio Ambiente, Gestión de Riesgos e Infraestructura; donde tuvo la oportunidad de iniciar desde el 2006 la implementación de acciones en temas de Almacenamiento de Agua de Lluvia en el oriente del país. También trabajó en la SEGEPLAN donde fue Consultor de Planificación Estratégica Territorial de Jutiapa. En el área de la construcción ha trabajado como supervisor y ejecutor de obras.

German posee un título de Licenciado en Arquitectura otorgado por la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Francisco Fuentes
Técnico de apoyo para transferencia de tecnología- Contrapartida

Francisco es técnico especializado en gestión de riesgos del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, ICC.

Su experiencia laboral previa al ICC incluye el Área de Topografía, Supervisión de obras, así como el Monitoreo y Alerta Temprana de la cuenca del río Coyolate, la cual obtuvo en la Municipalidad de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla.

Francisco cursó hasta el 6° Semestre de Arquitectura en la Universidad de San Carlos de Guatemala y actualmente estudia una Licenciatura en Administración de Empresas en la Universidad Mariano Gálvez de Guatemala.

M.Sc. Martín Pérez Álvarez
Gestor de proyecto, seguimiento - Contrapartida

Martín es el Gestor de Proyectos del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, ICC.

Inició en el ICC como consultor en economía ambiental y financiación climática en el 2012. Antes de unirse al ICC, Martín trabajó para Cajastur, la Consejería de Educación y Ciencia de Asturias en España y en AXA Seguros, donde fue asesor financiero. Martín posee una maestría en Sostenibilidad Ambiental otorgado por la Universidad de Edimburgo, Reino Unido; una Licenciatura en Administración y Dirección de Empresas de la Universidad de Oviedo, España.