

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**FACTIBILIDAD DE COSECHA DE AGUA DE LLUVIA EN ESCUELA JARDÍN DE AMOR, SANTA
MARÍA DE JESÚS, SACATEPÉQUEZ
TESIS DE GRADO**

**JEZYKA ALEXANDRA GONZALEZ ROSAS
CARNET 11982-12**

**GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, MAYO DE 2017
CAMPUS CENTRAL**

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL

FACTIBILIDAD DE COSECHA DE AGUA DE LLUVIA EN ESCUELA JARDÍN DE AMOR, SANTA
MARÍA DE JESÚS, SACATEPÉQUEZ
TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR
JEZYKA ALEXANDRA GONZALEZ ROSAS

PREVIO A CONFERÍRSELE
EL TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADA

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, MAYO DE 2017
CAMPUS CENTRAL

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.

VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO

VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO

VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS

SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

DECANO: DR. ADOLFO OTTONIEL MONTERROSO RIVAS

VICEDECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ

SECRETARIO: MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA

DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. JULIO ROBERTO GARCÍA MORÁN

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
MGTR. MARTHA MARÍA RÍOS PALENCIA

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

MGTR. JAVIER EUGENIO INCER MUNGUIA
ING. LUIS FELIPE CALDERON BRAN
LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ

Guatemala 5 de Mayo del 2017

Respetables señores
Consejo de Facultad
Ciencias Ambientales y Agrícolas
Presente.

Estimados Miembros del Consejo:

Por este medio hago constar que he asesorado el trabajo de graduación del estudiante **Jezyka Gonzalez Rosas**, carné 11982-12, titulada: "**Factibilidad de Cosecha de Agua de Lluvia en Escuela Jardín de Amor, Santa María de Jesús, Sacatepéquez**" y la cual considero que cumple con los requisitos establecidos por facultad, previo a su autorización de impresión.

Atentamente,



Ing. Martha María Ríos Palencia, MSc.

Colegiado No. 3992

Código URL. 18191



Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado de la estudiante JEZYKA ALEXANDRA GONZALEZ ROSAS, Carnet 11982-12 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL, del Campus Central, que consta en el Acta No. 0640-2017 de fecha 6 de abril de 2017, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

**FACTIBILIDAD DE COSECHA DE AGUA DE LLUVIA EN ESCUELA JARDIN DE AMOR,
SANTA MARÍA DE JESÚS, SACATEPÉQUEZ**

Previo a conferírsele el título de INGENIERA AMBIENTAL en el grado académico de LICENCIADA.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 4 días del mes de mayo del año 2017.



**MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA, SECRETARIO
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
Universidad Rafael Landívar**

ACTO QUE DEDICO A:

A DIOS, LA MADRE TIERRA, MI FAMILIA, MIS AMIGOS Y COLEGAS.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

Por la vida y sus bendiciones

A MIS PADRES

Por ser el soporte de mi vida, el apoyo, el amor y la confianza.

A MIS ABUELAS

Por enseñarme el amor y respeto a la madre tierra.

A MIS ASESORES

Por el tiempo, paciencia y orientación en todas las etapas del trabajo.

A LA ESCUELA JARDÍN DE AMOR

Por recibirme siempre con los brazos abiertos y apoyar el proyecto.

ÍNDICE

RESUMEN	i
SUMMARY	ii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MARCO TEÓRICO	2
2.1 MARCO CONCEPTUAL	2
2.1.1 Sistemas de Captación de Agua Pluvial	2
2.1.2 Contexto del recurso hídrico	18
2.2 ANTECEDENTES	26
2.2.1 Experiencias en Guatemala.....	26
2.2.2 Municipio de Santa María de Jesús	29
2.2 MARCO REFERENCIAL.....	40
2.3.1 Proyecto Escuela Jardín de Amor.....	40
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	42
3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	42
3.2 JUSTIFICACIÓN	43
4. OBJETIVOS	44
4.1 OBJETIVO GENERAL	44
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	44
5. METODOLOGÍA.....	45
5.1 AMBIENTE.....	45
5.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	45
5.3 INSTRUMENTOS GUÍA.....	45
5.4 PROCEDIMIENTO	46
5.4.1 Fase 1: Consulta documental y diagnóstico	46
5.4.2 Fase 2: Fase de campo y evaluación de factibilidad.....	47
5.5 Fase 3. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	54
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	57
6.1 Diagnóstico de la escuela Jardín de Amor	57

6.1.1 Sistema de abastecimiento de agua	57
6.1.2 Oferta y demanda de agua en la escuela	61
6.2 Evaluación de factibilidad.....	61
6.2.1 Descripción de las alternativas	61
6.2.2 Descripción del sistema de evaluación	65
6.2.3 Aspectos técnicos	65
6.2.4 Aspectos económicos	68
6.2.5 Aspectos socio-ambientales	70
6.2.6 Aspectos institucionales.....	72
6.3 Análisis de datos	74
7. PROPUESTA “Sistema de cosecha de lluvia para el Huerto Ecológico de la Escuela Jardín De Amor”	76
6.4.1 Valores de precipitación, oferta y demanda de agua por mes	76
6.4.2 Especificaciones del sistema	78
6.4.3 Recomendaciones de uso	86
8. CONCLUSIONES.....	87
9. RECOMENDACIONES.....	88
10. BIBLIOGRAFÍA.....	89
11. ANEXOS.....	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Chultun, sistema tradicional de captación de agua de lluvia de la civilización Maya	3
Figura 2. Pozos rústicos de la época prehispánica en México	4
Figura 3. Modalidades de captación de agua de lluvia según la finalidad de uso ...	5
Figura 4. Sistema de Captación Pluvial para Viviendas en Zonas Rurales	6
Figura 5. Canaleta con malla para evitar contaminación.....	8
Figura 6. Sistema de tanques recolectores y filtrantes	9
Figura 7. Cisterna flexible para almacenamiento de agua pluvial	13
Figura 8. Ciclo hidrológico	18
Figura 9. Grado de presión sobre los recursos hídricos en el mundo en el 2009..	20
Figura 10. Sistema de aprovechamiento de agua pluvial utilizado por la Municipalidad de Guatemala	27
Figura 11. Series de suelos en el municipio de Santa María de Jesús	30
Figura 12. Gráfica climática del municipio de Santa María de Jesús, Sacatepéquez, Guatemala	33
Figura 13. Entubaje de agua potable municipal que abastece a la escuela Jardín de Amor.....	57
Figura 14. Llave y contador del sistema municipal de agua potable de la escuela Jardín de Amor.....	58
Figura 15. Cisterna de 16,000 lts de la escuela Jardín de Amor	59
Figura 16. Tanque de almacenamiento de 2,500 litros, filtro y distribución	59
Figura 17. Línea de distribución de agua potable por gravedad	60
Figura 18. Sistema de captación de agua pluvial de tipo vivienda y sus componentes	63
Figura 19. Sistema de captación de agua pluvial de tipo agricultura para riego ..	64
Figura 20. Construcción de la caseta y ubicación de las reglas A, B, C, D y E	80
Figura 21. Selección del área para la ubicación del sistema.....	81
Figura 22. Captador de agua pluvial con medidas en metros	82
Figura 23. Colocación del tanque rotoplast con capacidad de 2,500lts	83
Figura 24. Esquema del sistema de cosecha de agua de lluvia conectado a un sistema de riego por goteo en un huerto de 60m ²	84
Figura 25. Adaptador de rosca en la salida del tanque, llave de paso y tubo PVC	84
Figura 26. Mapa de ubicación del municipio de Santa María de Jesús, Sacatepéquez, y sus límites municipales	96
Figura 27. Fotografía de la Escuela Jardín de Amor	97
Figura 28. Fotografía del patio de la Escuela Jardín de Amor	97
Figura 29. Fotografía del huerto escolar en Jardín de Amor	98
Figura 30. Plano de las instalaciones de la Escuela Jardín de Amor (primer nivel)	103
Figura 31. Plano de las instalaciones de la Escuela Jardín de Amor (segundo nivel).....	104
Figura 32. Planos del Huerto Ecológico de la Escuela Jardín de Amor	105
Figura 33. Cotización sistema de riego tecnificado	108
Figura 34. Cotización invernadero tecnificado.....	109

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Mantenimiento obligatorio del sistema de tipo vivienda	11
Cuadro 2. Ventajas y desventajas de los sistemas de captación de agua pluvial..	14
Cuadro 3. Oferta y demanda hídrica en los países centroamericanos.....	21
Cuadro 4. Variables climáticas para los municipios de San Lucas Sacatepéquez y Santa María de Jesús, Sacatepéquez	32
Cuadro 5. Información climática del municipio de Santa María de Jesús, Sacatepéquez, Guatemala.....	33
Cuadro 6. Zonas de Vida en el Municipio de Santa María de Jesús	34
Cuadro 7. Acceso al agua potable y saneamiento básico	36
Cuadro 8. Pobreza y pobreza extrema en el Municipio de Santa María de Jesús .	36
Cuadro 9. Factores que afectan la factibilidad de implementación	48
Cuadro 10. Criterios de valoración para el factor técnico	50
Cuadro 11. Valoración de los componentes del factor técnico	50
Cuadro 12. Criterios de valoración para el factor económico.....	51
Cuadro 13. Valoración de los componentes del factor económico	51
Cuadro 14. Criterios de valoración para el factor socio-ambiental.....	52
Cuadro 15. Valoración de los componentes del factor socio-ambiental.....	52
Cuadro 16. Criterios de valoración para el factor institucional	53
Cuadro 17. Valoración de los componentes del factor institucional.....	53
Cuadro 18. Oferta y demanda de agua potable diaria y mensual de la escuela Jardín de Amor.....	61
Cuadro 19. Evaluación técnica del sistema de tipo vivienda.....	65
Cuadro 20. Evaluación técnica del sistema para agricultura y riego.....	67
Cuadro 21. Evaluación económica del sistema de tipo vivienda	68
Cuadro 22. Evaluación económica del sistema para agricultura y riego.....	69
Cuadro 23. Evaluación socio-ambiental del sistema de tipo vivienda	70
Cuadro 24. Evaluación socio-ambiental del sistema para agricultura y riego	71
Cuadro 25. Evaluación institucional del sistema de tipo vivienda	72
Cuadro 26. Evaluación institucional del sistema para agricultura y riego	73
Cuadro 27. Síntesis de la evaluación de factibilidad del sistema de tipo vivienda .	74
Cuadro 28. Síntesis de la evaluación de factibilidad del sistema para agricultura y riego	75
Cuadro 29. Valores anuales y netos de la precipitación, oferta y demanda de agua mensual en el huerto ecológico de la Escuela Jardín de Amor	77
Cuadro 30. Costo total aproximado del sistema con sus diferentes modalidades .	78
Cuadro 31. Sistemas tecnificados y su costo total.....	79
Cuadro 32. Formato final de la entrevista.....	98
Cuadro 33. Resumen de las entrevistas realizadas al equipo de trabajo de la escuela Jardín de Amor	100
Cuadro 34. Listado de materiales y costo total sistema de madera.....	106
Cuadro 35. Listado de materiales y costo total sistema de metal	107

FACTIBILIDAD DE COSECHA DE AGUA DE LLUVIA EN LA ESCUELA JARDÍN DE AMOR, SANTA MARÍA DE JESÚS, SACATEPÉQUEZ

RESUMEN

Los sistemas de captación y cosecha de agua pluvial son considerados técnicas alternativas, sostenibles y de bajo costo. Permiten el uso eficiente y eficaz del agua potable, reducen el impacto ambiental y logran un mayor alcance en la oferta de abastecimiento de agua en las zonas que no cuentan con un sistema de distribución eficiente o donde el agua escasea (Pacheco, 2008). El objetivo de este estudio fue elaborar una propuesta para la implementación de un sistema de cosecha de agua de lluvia, que aporte a la oferta del recurso que puede ser utilizado dentro de la escuela para cubrir las necesidades básicas y para proyectos que aportan a la autosostenibilidad de la escuela como lo es el huerto escolar ecológico. Para llevar a cabo esta propuesta, inicialmente se realizó una revisión y análisis de información documentada en estudios producidos por entidades universitarias, organismos gubernamentales y expertos en el tema. Luego, en una fase de campo, se realizó una evaluación de factibilidad de dos distintas opciones de sistemas como alternativa de obtención de agua y; finalmente se realizó un análisis de datos y una propuesta con recomendaciones de implementación, uso y mantenimiento. Como resultado del estudio, se obtuvo que el sistema más compatible y económicamente factible es el de uso agrícola, el cual presenta bajos costos y es fácil de implementar y, que además, aporta a una de las necesidades básicas de la escuela, que es la alimentación. La propuesta fue presentada formalmente a la institución en el presente año y actualmente se encuentra en búsqueda de financiamiento para su implementación.

FEASIBILITY OF RAINWATER HARVEST AT JARDÍN DE AMOR SCHOOL, SANTA MARIA DE JESUS, SACATEPÉQUEZ,

SUMMARY

Under the water resources use and management, rainwater harvesting systems are considered a sustainable, alternative and inexpensive techniques, which allow the efficient and effective use of water, reducing the environmental impact and achieving a greater reach in the water supply of areas that do not have an efficient distribution or where water is scarce (Pacheco, 2008). The objective of this study was to generate a proposal for the implementation of a rainwater harvesting system that contributes to the supply of the resource and which can be used within the school to fulfill basic needs and projects that contribute to the self-sustainability of the school, including the ecological school orchard. To carry out this proposal, initially, a review and diagnose was made for information documented in studies carry out by university entities, government agencies and experts on the subject. Then, in a field phase, a feasibility evaluation was made for two different rainwater harvesting systems as an alternative to obtain water and finally; a data analysis and a proposal with recommendation of implementation, use, and maintenance of the system was made. As a result of the study, it was found that the most compatible and economically feasible system is the one used for agriculture, which has low costs, it is easy to implement and also contributes to the basic needs of the institute such as hygiene and feeding, and to the irrigation of the ecological orchard, project that contributes to the sustainability of the school. The proposal was formally submitted to the institution this year and is currently seeking financing to be implemented.

1. INTRODUCCIÓN

El municipio de Santa María de Jesús se encuentra ubicado a las faldas del Volcán de Agua en el departamento de Sacatepéquez. El municipio presenta altos índices de pobreza y degradación ambiental, lo que ha incrementado, durante las últimas décadas, el riesgo y la vulnerabilidad social, económica y ambiental para la población ante el indiscutible cambio climático. Por otro lado, el municipio es afectado por contaminación y reducción de los caudales de los ríos y la escasez de agua potable (Consejo Municipal de Desarrollo de Santa María de Jesús, 2010) derivado de la explotación de los recursos naturales en la región, la falta de educación ambiental, y la falta institucionalidad.

El municipio es una zona de recarga hídrica importante dentro del departamento de Sacatepéquez. Por ello, gestión integrada del recurso hídrico no solo implica el saneamiento y el acceso al servicio, sino la aplicación de técnicas sostenibles que permitan el uso eficiente y eficaz del agua en las necesidades básicas y los procesos productivos de los habitantes. Con este trabajo, se pretende formular una propuesta para la implementación de un sistema de captación pluvial en la Escuela Jardín de Amor, ubicada en el cuarto cantón del municipio, que permita ofrecer una alternativa de suministro de agua a la escuela y atienda sus necesidades, tales como la higiene y la alimentación.

Además, pretende aportar una serie de recomendaciones para la implementación y mantenimiento del sistema y, para el uso y ahorro del recurso; con el fin de brindar una herramienta que funcione como un mecanismo de sostenibilidad dentro de la escuela y de adaptación al cambio climático y, de los cambios que provoca en la cantidad y calidad de agua disponible.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 MARCO CONCEPTUAL

2.1.1 Sistemas de Captación de Agua Pluvial

En Centroamérica, en los últimos cuarenta años, se han identificado, validado y difundido una amplia gama de tecnologías y técnicas para el uso sostenible del agua, que contribuyen, no solo al uso sostenible del recurso, si no también, a la mejora en la cobertura y calidad y a la seguridad alimentaria, en este capítulo abordaremos las prácticas, técnicas y sistemas más comunes que se utilizan tanto en las zonas urbanas como rurales.

En las zonas secas o de transición se ha podido experimentar cuáles son las prácticas o sistemas de captación o distribución del agua más conveniente a las características agroecológicas de las zonas o, a las condiciones y objetivos del sector productivo. Entre estas se destacan (GWP, 2013):

- a. Sistemas de riego que se establecen de acuerdo a los ciclos agrícolas, para cultivos en época de verano y suplementario para todo el año, con un enfoque productivo en donde se desea asegurar el agua para la continuidad productiva. Un ejemplo es la labranza mediante surco o zanja y el microriego.
- b. Los sistemas o pozos de captación de agua que permite retener el agua en puntos en donde hay escorrentías de agua superficial o coleccionar el agua de lluvia con el objetivo almacenarla para luego aprovecharla de múltiples maneras.
- c. Conservación de suelos y manejo integrado de cultivos como una práctica agroecológica que permite el manejo sostenible del suelo, lo cual favorece la conservación in situ del agua.

- d. Protección de manantiales o fuentes de agua, con el fin de mejorar la cantidad y calidad del recurso y para reducir las fuentes de contaminación. Un ejemplo son las barreras vivas, barreras muertas, cercado de fuentes de agua, reforestación, incorporación de rastrojos, reciclaje, uso de abonos orgánicos, uso de productos biológicos y sistemas silvopastoriles.

La captación pluvial no es algo nuevo y tampoco implica gran tecnología a un nivel doméstico. Los sistemas de captación y cosecha de agua de lluvia son prácticas ancestrales que han sido practicadas en diferentes épocas y culturas, ya que es un medio fácil para obtener agua para el consumo humano y para el uso agrícola; ya esta puede ser interceptada, colectada y almacenada en depósitos para su uso posterior (Bellen, 2006).

Históricamente, en Centroamérica se conoce el caso del Imperio Maya. Al sur de estado de Yucatán en el siglo X a.C. el abastecimiento de agua para la población y el riego de los cultivos se hacían a través una tecnología para el aprovechamiento de agua lluvia. El agua era recogida en un área de 100 a 200 mts² y almacenada en cisternas llamadas “Chultuns” (Figura 1), estas cisternas tenían un diámetro aproximado de 5 m, y eran excavadas en el subsuelo e impermeabilizadas con yeso (Bellen, 2006).



Figura 1. Chultun, sistema tradicional de captación de agua de lluvia de la civilización Maya (Calderón, 2016)

Otro ejemplo es una ciudad y centro ceremonial que se encuentra en el actual Belice llamada Los Cerros, en él los habitantes cavaron canales y diques de drenaje para administrar el agua de lluvia y mediante un sistema de depósitos, estos permitían que la gente permaneciera en la zona durante la estación seca cuando escaseaba el agua potable (Bellen, 2006). Durante la época prehispánica, las chinampas, acequias, calzadas, diques y acueductos fueron las obras hidráulicas más representativas y sus principales materiales para su construcción fueron la madera, la piedra y el lodo así como plantas y tules (IMPLUVIUM, 2014).

El agua que caía con las lluvias se recolectaba en depósitos subterráneos, o a cielo abierto, se captaba mediante canales y zanjas o bien conduciéndola desde los techos de las viviendas por medio de canales hacia depósitos que podían ser de barro enterrados o al aire libre, en piletas de barro, cal y piedra, y, excavados en el suelo, recubiertos o no con piedra o argamasa y estuco (Figura 2).



Figura 2. Pozos rústicos de la época prehispánica en México (Dirección de Comunicación de Conocimientos, 2014)

En América Central se han probado diferentes técnicas de captación, pero para fines de la presente, sólo se mencionarán las más comunes o con replica local, que pueden construirse a través de la mano de obra familiar o comunal, que

requieren pocos insumos externos o bajas inversiones y que ya se utilizan en el área rural o periurbana de la región. Una forma de conceptualizar la captación del agua es considerarla como “cosecha de agua”, que es la práctica orientada a capturar el agua de lluvia, a través de la construcción de obras adecuadas para su almacenamiento (GWP, 2013).

De acuerdo con GWP (2013) los criterios para determinar cuál es el mejor método para almacenar agua de lluvia o de escorrentía incluyen:

- El objetivo por el cual el agua se recolecta (Figura 3),
- La pendiente del terreno,
- Las características del suelo,
- Los costos de construcción,
- La cantidad, intensidad y distribución estacional de las lluvias,
- Factores sociales tales como la tenencia de la tierra y las prácticas tradicionales del uso del agua.

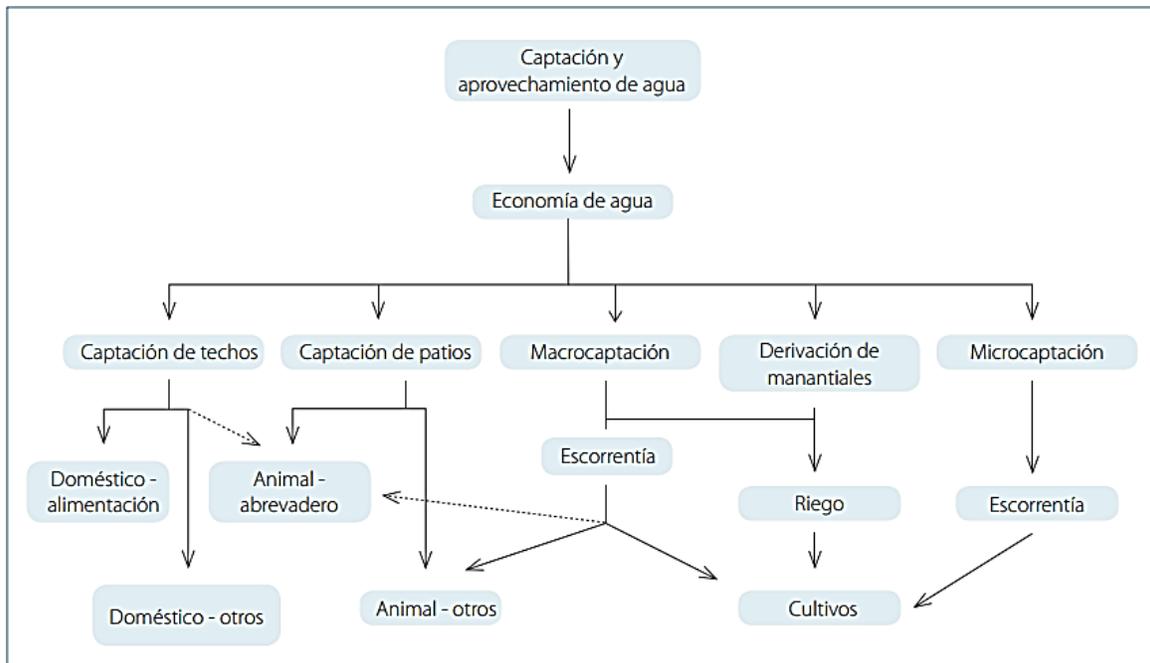


Figura 3. Modalidades de captación de agua de lluvia según la finalidad de uso (FAO, 2013)

2.1.1.1. Sistema de cosecha de agua de lluvia para uso doméstico/potable

La cosecha de agua de techos de vivienda y otras estructuras impermeables es la modalidad más conocida y difundida de captación y aprovechamiento de agua de lluvia. Consiste en captar la escorrentía producida en superficies impermeables o poco permeables, tales como techos de viviendas y establos, patios de tierra batida, superficies rocosas, hormigón, mampostería o plástico. La captación de agua de techos es la que permite obtener el agua de mejor calidad para consumo doméstico.

El sistema de captación de agua de lluvia en techos está compuesto de los siguientes elementos: a) captación; b) recolección y conducción; c) interceptor; y d) almacenamiento (Figura 4), y los cuales se describen a continuación (OPS O. P., 2004):

Componentes del Sistema

1. Kit de Canaletas.
2. Bajante y Pierna Pluvial.
3. Tanque 10,000 L.
4. Bomba Manual.
5. Filtro de Hojas Interno.



Sistema de Captación Pluvial para Viviendas Ubicadas en Comunidades Rurales

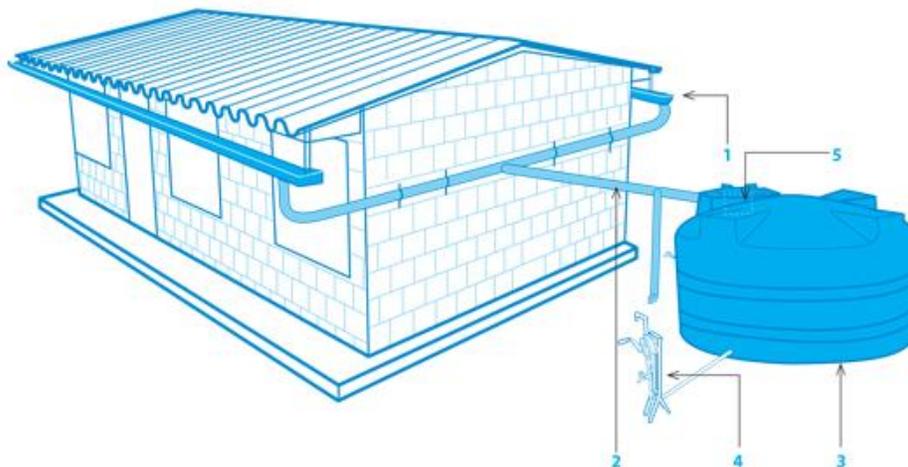


Figura 4. Sistema de Captación Pluvial para Viviendas en Zonas Rurales (EDIFY, 2016)

El área de captación: el área de captación debe contar con pendiente y superficie adecuadas para que facilite el escurrimiento del agua de lluvia hacia el sistema de recolección. Es importante que los materiales con que están construidas estas

superficies, no desprendan olores, colores y sustancias que puedan contaminar el agua pluvial o alterar la eficiencia de los sistemas de tratamiento. Además, la superficie debe ser de tamaño suficiente para cumplir la demanda y tener la pendiente requerida para facilitar el escurrimiento pluvial al sistema de conducción (GEM, 2011).

En las zonas periurbanas y rurales los techos están contruidos de concreto, aleación de lámina galvanizada y antimonio, láminas de asbesto, lámina galvanizada, madera y paja; también se pueden utilizar las superficies impermeables (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. En el caso de materiales de concreto se deben limpiar antes de impermeabilizar. Si son de lámina galvanizada o asbesto se recomienda revisar si tienen algún deterioro y en su caso sustituirlas por otros antes de su impermeabilización (GEM, 2011).

Recolección y Conducción: El sistema de conducción se refiere al conjunto de canaletas o tuberías de diferentes materiales y formas que conducen el agua de lluvia del área de captación al sistema de almacenamiento a través de bajadas con tubo de plástico polivinilo o bien conocido como PVC. Las canaletas se instalan en los bordes más bajos del techo, en donde el agua de lluvia tiende a acumularse antes de caer al suelo; el material debe ser liviano, resistente, fácil de unir entre sí. El agua no debe contaminarse con compuestos orgánicos o inorgánicos; por lo que se recomienda se coloquen mallas que detengan basura, sólidos y hojas, para evitar la obstrucción del flujo en la tubería de conducción (Figura 5); así mismo, realizar en los techos labores de limpieza a inicio de la época de lluvias. Los materiales utilizados son: aluminio, lámina galvanizada, PVC y recursos maderables de cada región (GEM, 2011).



Figura 5. Canaleta con malla para evitar contaminación (Arquitectura de casas 2015)

Interceptor o filtro: Conocido también como dispositivo de descarga de las primeras aguas provenientes y de todos los materiales que en él se encuentren en el momento del inicio de la lluvia. Este dispositivo impide que el material indeseable ingrese al tanque de almacenamiento y de este modo minimizar la contaminación del agua almacenada y de la que vaya a almacenarse posteriormente. Las primeras lluvias contaminadas por basura, hojas y polvo, pueden utilizarse en el riego de frutales, hortalizas u otras aplicaciones que no requieran una alta calidad del agua (GEM, 2011).

En los sistemas de captación del agua de lluvia a nivel comunitario se puede reducir la turbidez mediante la construcción e instalación de sedimentadores o tanques filtros; su construcción consiste en un sistema filtrante de arenas y gravas sílicas; su ubicación es en la parte superior de la cisterna, cementada a la red principal justo antes de la descarga del agua pluvial. El material filtrante debe estar siempre limpio y sus capas deben ser removidas y lavadas durante la época de lluvias (GEM, 2011).

Los tanques filtro (Figura 6) contienen 200 kilos de arena fina que ocupan las 2/3 partes del volumen de cada uno de los tanques. Se instalan las velas de carbón activado y plata coloidal que mejoran las características organolépticas del agua; se debe retirar el plástico de las velas e instalarlas en la estructura tridente en PVC, ubicada en el fondo de los tanques filtro, luego se deposita con cuidado la arena que ha sido lavada y desinfectada previamente.

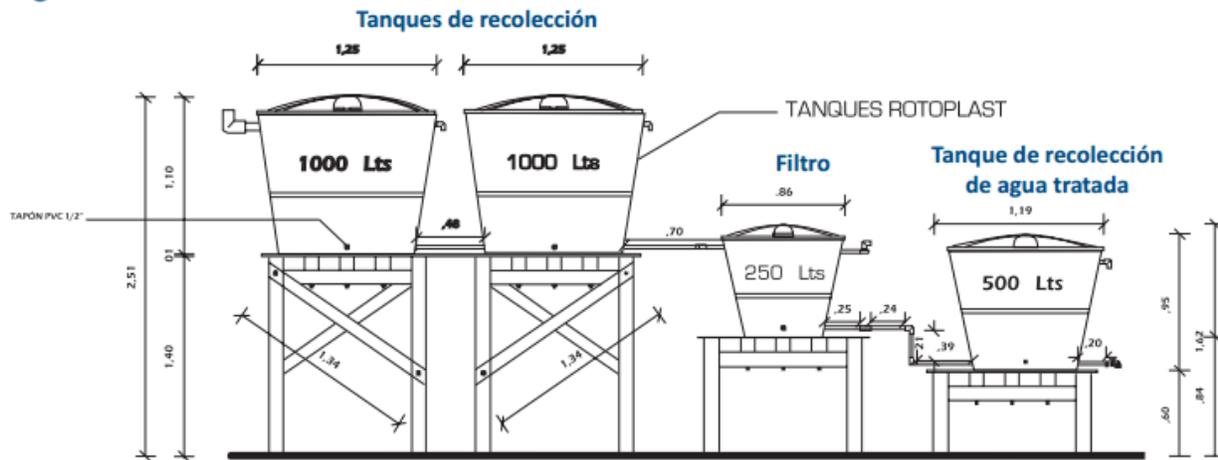


Figura 6. Sistema de tanques recolectores y filtrantes (OPS, 2011)

Almacenamiento: es la obra que almacena el volumen de agua de lluvia necesaria para el uso, en especial durante el período de sequía. La unidad de almacenamiento debe ser duradera y debe cumplir con las especificaciones siguientes (OPS O. P., 2004):

- Impermeable para evitar la pérdida de agua por goteo o transpiración,
- Tamaño adecuado para minimizar las sobre presiones,
- Tapa para impedir el ingreso de polvo, insectos y de la luz solar,
- La entrada y el rebose deben contar con mallas para evitar el ingreso de insectos y animales.
- Dotado de dispositivos para el retiro o bombeo del agua y el drenaje.

Los materiales utilizados para la construcción de las cisternas o tanques de almacenamiento pueden ser los siguientes (GEM, 2011):

- Plásticos: Fibra de vidrio, polietileno y PVC

- Metales: Barril de acero (se corroe y oxida), tanques de acero galvanizado (se corroe y oxida).
- Concreto: Ferrocemento (se fractura), piedra (de difícil mantenimiento) y bloque de concreto (se agrieta).
- Madera: Madera roja, abeto, ciprés (es eficiente pero cara).

A continuación se describen varios tipos de cisternas construidas con diferentes materiales (GEM, 2011):

- a. Tanque de ferrocemento: Estas cisternas son rápidas de construir, igualmente los materiales se consiguen fácilmente para que los mismos usuarios las construyan.
- b. Cisterna de Cemento-tabique: Son las más simples y comunes en las zonas rurales de México y son construidos con arcilla horneada y arena cementada.
- c. Cisterna de Metal: El acero galvanizado no es resistente a la corrosión, pero es frecuentemente más resistente a la oxidación. En los tanques nuevos podría existir un exceso de zinc el cual puede afectar el sabor del agua de lluvia almacenada. Estos tanques deben lavarse con agua antes de usarse.
- d. Cisterna de plástico: Son ampliamente utilizados para el almacenamiento de agua ya que estos varían en forma, tamaño y color, pueden ser usados superficialmente o enterrados, son fáciles de transportar e instalar, durables, flexibles, con acabados sanitarios para agua potable

Generalmente se deben llevar a cabo acciones de mantenimiento preventivo de forma obligatoria (Cuadro 1):

Cuadro 1. Mantenimiento obligatorio del sistema de tipo vivienda

Actividad	Frecuencia	Herramientas y Materiales	Responsable
Antes de la época de lluvias se deberá limpiar el techo, canaletas, salida del bajante y tanque de almacenamiento.	Al finalizar la época seca e inicio de temporada de lluvias.	Escoba, escalera, rastrillo, balde, pala.	Operador, Usuario
Limpiar el área adyacente al tanque de almacenamiento, quitando malezas (plantas, hierbas) y materiales inservibles que puedan convertirse en criaderos de vectores.	Mensual (cada mes)	Pico, pala, machete, azadón, rastrillo.	Comunidad
Verificar si hay fugas en el tanque, accesorios y bomba, reparar en caso de ser necesario.	Semestral (cada 6 meses)	Registro.	Operador, Usuario
Verificar la existencia de insectos y pequeños animales que aniden en el sistema y eliminarlos.	Semanal	Cuaderno, lápiz.	Operador, Usuario
Limpiar el interior del tanque como se indica en la sección de filtración lenta en arena.	Semestral (cada 6 meses)	Balde, cepillo, escoba, trapo, rodillo.	Operador, Usuario

(OPS, 2011)

2.1.1.2. Sistema de cosecha de agua de lluvia de tipo domestico/agrícola

El propósito de estos sistemas es captar el agua de lluvia para el riego de parcelas agrícolas, sin embargo se estima que el agua podría ser utilizada también para otros propósitos. En una zona rural, donde en ciertos períodos, sobre todo en la época seca, hay carencia de agua, el agua es utilizada para los animales, para la limpieza de los pisos, riego de otras plantas e incluso para la higiene (Limaylla, 2008).

Con este tipo de sistemas hay que tener en cuenta que las técnicas de captación y aprovechamiento de agua de lluvia no siempre aseguran el completo abastecimiento de agua en las parcelas, aunque estén bien diseñadas, puesto que hay siempre la posibilidad de que el volumen de lluvia en determinado mes o año sea menor que lo planificado y sobre todo, que dependen de las características climáticas locales, de la geografía del terreno y el tipo de suelo (FAO, 2013)

Existen diversas técnicas de captación para este tipo de sistemas y las cuales se describen a continuación (Anacafé, 2014):

- Construyendo muros de contención, formando pequeñas presas en quebradas cuyos lugares por la topografía y textura del suelo lo permitan.
- Aprovechando los techos de las construcciones ya existentes en las fincas a los cuales se les adaptan canales que permitan coleccionar el agua; los canales pueden ser de lámina, bambú partido por la mitad y hasta de madera.
- Haciendo uso de patios de tierra o cemento, o superficies impermeables construidas sobre el terreno
- Construir casetas con techos de lámina, teja, lona o plástico, quedando a criterio la selección del tipo de techo y material en base a su eficiencia y recursos económicos. La construcción e instalación de estas estructuras puede resultar de bajo costo al usar materiales (postes, vigas, reglas, etc.) obtenidos en la finca. La pendiente de los techos deberá orientarse en sentido contrario al rumbo predominante de los vientos, para que aquellos no sean desprendidos.
- Construir estanques de retención dragando la tierra del terreno o utilizando cisternas flexibles (Figura 7).



Figura 7. Cisterna flexible para almacenamiento de agua pluvial (INIA, 2016)

Existe una serie de desventajas de la captación de agua en estas estructuras en relación a la opción de captación en techo están relacionadas a los siguientes aspectos (FAO, 2013):

- Construir y mantener la estructura representa un costo adicional para el agricultor, mientras que el techo ya existe.
- La estructura de almacenamiento debe quedar en un nivel inferior a la superficie del suelo, lo que dificulta la utilización del agua almacenada.
- Por estar al nivel del suelo, la superficie de captación está más expuesta a la contaminación, lo cual limita la utilización del agua para consumo doméstico.

2.1.1.3. Consideraciones en la implementación de los sistemas de aprovechamiento pluvial

Una etapa importante en la planificación de la captación y aprovechamiento de agua de lluvia es conocer las ventajas y desventajas de cada sistema (Cuadro 2) y, la correcta selección de las modalidades y técnicas necesarias para hacer frente al déficit hídrico recurrente en cada región o localidad, en función de las condiciones ambientales y socioeconómicas presentes y de los objetivos establecidos (FAO, 2013).

Cuadro 2. Ventajas y desventajas de los sistemas de captación de agua pluvial

	Ventajas	Desventajas
Sistema de captación pluvial para uso doméstico	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliza superficies de captación ya existente como techos y galeras. • Permite captar mayor cantidad de agua y cubrir mayor demanda. • Puede utilizarse para uso potable. • No queda sujeta a las tuberías existentes. • Independencia del servicio público • Disponibilidad inmediata del recurso • Mejor calidad del agua (baja en sodio y hierro) • Por lo general la demanda se mantiene estable. 	<ul style="list-style-type: none"> • La cantidad de agua captada depende de la precipitación del lugar y del área de captación. Este sistema utiliza el área de construcción existente y no garantiza cubrir la demanda. • Requiere energía para operar el sistema • Requiere un sistema de filtros • Mayor costo de inversión y mantenimiento • Mayor mano de obra y uso de materiales
Sistema de captación pluvial de tipo	<ul style="list-style-type: none"> • La cantidad de agua captada depende del área de captación y por lo general en las zonas agrícolas se posee más área libre disponible. • No requiere energía para operar el sistema, sin embargo se puede optar por sistema de bombeo. 	<ul style="list-style-type: none"> • La cantidad de agua captada depende de la precipitación del lugar, si la zona es árida, es posible que no se cubra la demanda. • La demanda de agua depende del tipo de cultivo y las características del suelo.

agrícola	<ul style="list-style-type: none"> • No requiere sistema de filtros. • Tiene menores costos de inversión y mantenimiento. • La construcción lleva menor mano de obra y se pueden utilizar materiales locales. • Disponibilidad inmediata del recurso • Reduce escorrentía, erosión de suelo y pérdida de nutrientes. • Evita estancamientos de agua y reduce criaderos de insectos 	<ul style="list-style-type: none"> • Dependiendo del tipo, puede requerir de la construcción de un área de captación. • No puede utilizarse para uso potable
----------	--	--

(AguaSolutions, 2006)

Para el uso del agua proveniente de los sistemas de captación de agua potable es necesario que las viviendas cuenten con filtros domésticos extras para utilizar el agua en los alimentos (OPS, 2011). Los filtros pueden ser implementados con distintas tecnologías dependiendo de los alcances y el presupuesto. En Guatemala el filtro domestico más utilizado y accesible en zonas donde el agua disponible es de mala calidad es el EcoFiltro, hoy en día muchos programas de desarrollo comunitario utilizan este filtro como un medio de tecnología para el desarrollo que complementa los programas de educación, seguridad alimentaria y de salud.

La unidad de filtración conocida como “Ecofiltro” está basada en la tecnología de filtración en vasija porosa de cerámica inventada en 1981 por el bioquímico guatemalteco *José Mazariegos Anleu* mientras laboraba en el Instituto

Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI). La unidad de filtración se produce de 3 materiales naturales que son la arcilla, el aserrín y la plata coloidal. Juntos, estos materiales tienen las siguientes características (Ecofiltro , 2016):

- La arcilla crea canales microscópicos dentro de las paredes interiores de la unidad de filtración y atrapa todos los contaminantes que existan en el agua, incluyendo sólidos, bacterias y parásitos.
- El aserrín se convierte en carbón activado durante el proceso, y este elimina todo mal olor, sabor y turbiedad del agua sin importar cuál sea su proveniencia (arroyo, río, pozo, laguna o lago).
- La plata coloidal se impregna en la superficie del filtro cerámico después de que este se cose en el horno. Es un bactericida utilizado en todo el mundo para purificar el agua y no tiene ningún efecto secundario. Esta funciona como una segunda capa protectora para neutralizar a los contaminantes.

El agua potable es un recurso indispensable para llevar a cabo todas las actividades productivas del día a día y, poseer un sistema de abastecimiento de agua seguro y confiable permite a las comunidades crear oportunidades de desarrollo. En base a los índices de consumo diario, en una familia rural con cinco miembros y número por tipo de animales en promedio, el requerimiento de agua diariamente es de 530 litros. Con base en este dato, el volumen requerido al año sería 193 450 litros de agua y ciertamente esta demanda de agua no puede ser cubierta por el volumen de la cisterna, que generalmente es de 35 mil litros y, en este sentido, una cisterna llena de agua abastecería para un poco más de dos meses (Quispe, 2008).

Sin embargo, al poseer la cisterna, se tiene la oportunidad de llenarla con agua de otras fuentes, como el agua potable o de las pipas que periódicamente la venden. De no tener la cisterna, aun cuando hubiera oferta de agua, no se hubiera podido

adquirir en volúmenes mayores a los actuales por no tener donde depositarla (Limaylla, 2008).

Por otro lado, dentro de un enfoque de gestión integrada de los recursos hídricos y de manejo sostenible del suelo y del agua en el sector agrícola, todas las tecnologías para la captación y almacenamiento de agua tienen un potencial positivo y contribuyen a la adaptación al cambio climático, pues permiten almacenar el agua de la precipitación durante la temporada lluviosa para hacerla disponible en la producción agrícola durante la época seca. Lo fundamental es que cada tecnología requiere una adecuación a las condiciones naturales y socioeconómicas de la zona (GWP, 2013).

Indiscutiblemente se han mostrado que el agua es un factor clave en la lucha por cambiar las condiciones básicas de un área. La cosecha del agua de lluvia conocida como Rain Water Harvest (RWH por sus siglas en inglés) es la manera más efectiva que tiene la gente para conseguir agua. Sin embargo, el éxito de un proyecto RWH es el resultado de la amplia participación de los habitantes, sobre todo agricultores y el firme apoyo de las instituciones públicas, las municipalidades y gobierno. Algunas de los factores clave del éxito son (Qiang Zhu, 2003):

- Preparación, organización y manejo de los proyectos
- Investigaciones de factibilidad técnica, económica y social
- Asistencia técnica local
- Guías y capacitaciones
- Que se cuente con el financiamiento y mecanismos para costear los insumos del sistema
- Que los sistemas de captación de agua de lluvia domiciliarios sean propiedad de las familias
- Seguimiento y control

2.1.2 Contexto del recurso hídrico

2.1.2.1. El ciclo del agua y la lluvia

El agua es uno de los componentes físicos más imprescindibles para la vida y para el ser humano, la molécula forma parte de todas las células existentes y también, de todos los procesos naturales que conocemos, en este capítulo abordaremos algunos conceptos del recurso y el contexto actual de su situación.

El ciclo hidrológico es un fenómeno de circulación global del agua producido fundamentalmente por la energía solar, e influenciado por las fuerzas de gravedad y la rotación de la Tierra. Involucra el movimiento general del agua ascendente por evaporación y, descendente por las precipitaciones y después en forma de escorrentía superficial y subterránea (Escolero, 2006). El ciclo hidrológico no tiene principio ni fin y sus diversos procesos o fenómenos ocurren en forma continua y nos proporciona agua en diferentes fuentes (Figura 8). Comprender el ciclo hidrológico y saber cuáles son sus variables manejables, tales como precipitación y evaporación, son importantes para alcanzar el objetivo de la captación y aprovechamiento del agua de lluvia (FAO, 2013).



Figura 8. Ciclo hidrológico (Escolero, 2006)

Podría decirse que el ciclo del agua es la sangre vital del planeta tierra y, según las Naciones Unidas, representa el vínculo principal entre el clima, la sociedad humana, el medio ambiente y el desarrollo económico; es por ello, que las amenazas de una crisis global del clima llevan consigo una crisis global del agua (Barlow, 2017).

2.1.2.2. Estado del recurso hídrico

Desde hace varias décadas, la región centroamericana ha venido experimentando modificaciones notables en su clima, por ejemplo, un aumento de las temperaturas y de la variabilidad interanual de las precipitaciones, las cuales tienen un impacto importante sobre las economías y el medio ambiente (GWP, 2011).

Derivado de este cambio climático, existe una tendencia perceptible hacia condiciones meteorológicas extremas más frecuentes y también, es posible que disminuyan los caudales de los ríos en períodos de flujo escaso y que la calidad del agua disminuya. Por otro lado, las estimaciones recientes sugieren que el cambio climático será responsable de alrededor del 20% del incremento de la escasez global de agua (World Water Assessment Programme, 2000), sumado a la presión actual del recurso hídrico a nivel mundial (Figura 9).

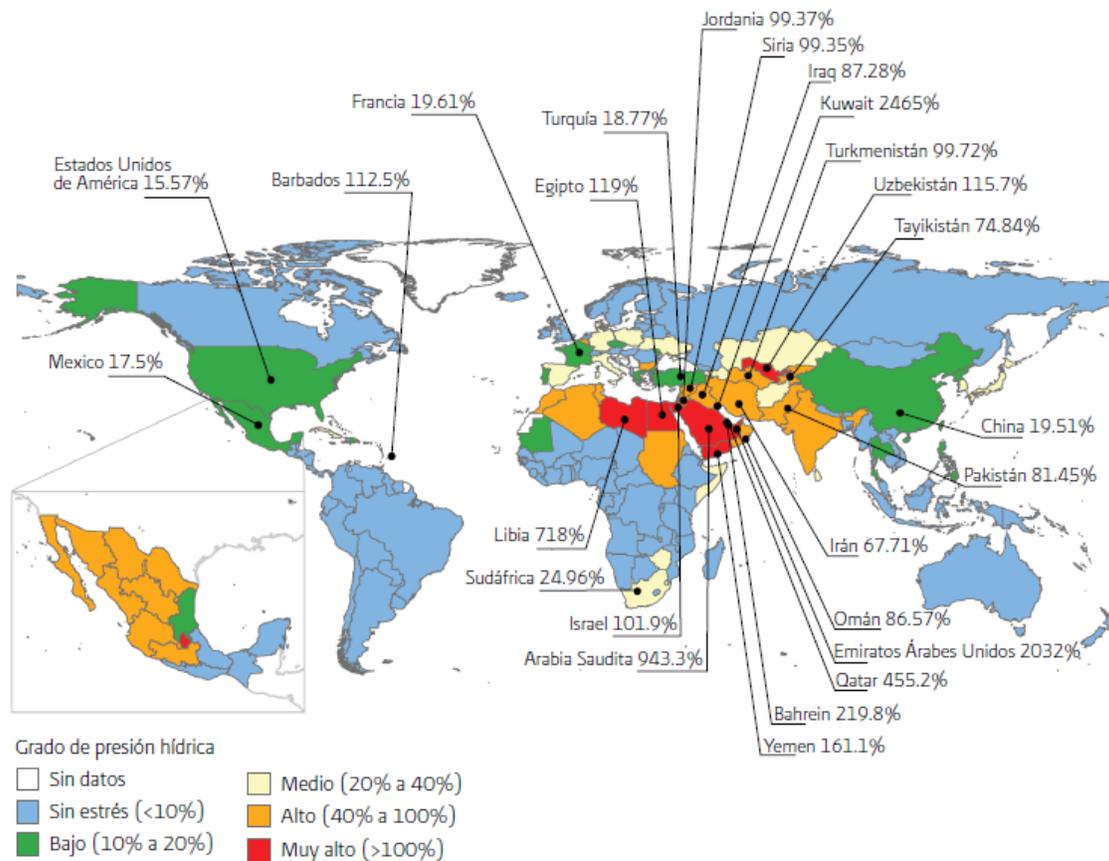


Figura 9. Grado de presión sobre los recursos hídricos en el mundo en el 2009 (CONAGUA, 2011)

La región centroamericana es reconocida por la abundancia de sus recursos hídricos (Cuadro 3). Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM), en general los países de Centroamérica tienen pocos problemas de escasez, ya que todos utilizan menos del 10% de sus recursos disponibles (BID, 2008). Sin embargo, la irregular distribución espacial y temporal de la precipitación, y la falta o insuficiencia de obras de regulación, provoca que en todos los países existan cuencas con problemas de escasez en la época seca y que haya poca cobertura del servicio de agua potable.

Cuadro 3. Oferta y demanda hídrica en los países centroamericanos

País	Oferta (Mm ³ /año)	Oferta (m ³ per cápita)	Demanda (Mm ³ /año)	Observaciones
Panamá	193.500	59.985	12.500	Se aprovecha menos del 7% de la oferta total.
Costa Rica	113.100	24.784	23.500	Se aprovecha el 20,73 % de la oferta total.
Nicaragua	189.700	34.500	1.956	Se aprovecha el 1,03% de la oferta total.
Honduras	92.850	11.540	8.450	Se aprovecha alrededor del 9,1% de la oferta total.
El Salvador	18.252	3.177	1.844	Se aprovecha el 10,1% de la oferta total.
Guatemala	97.120	6.900	9.596	Se aprovecha el 9,88% de la oferta total.
Belice	18.550	53.156	568	Se aprovecha alrededor del 3% de la oferta total.
Total:	723.072		58.414	8% de la oferta.

(GWP, 2011)

En cuanto a la calidad del recurso, en general, en el territorio centroamericano la calidad de los cuerpos de agua no es adecuada. Esto se debe en parte a que el crecimiento urbano y de la población en general ha provocado una mayor presión sobre las fuentes de agua, sobre todo por la generación de aguas residuales que no reciben el tratamiento adecuado. A pesar de que existe reglamentación en todos los países, la falta de control sobre las descargas de aguas residuales sin el tratamiento adecuado en los cuerpos de agua, es la causa principal del deterioro de su calidad. Otro factor importante que influye directamente en su deterioro es la utilización de agroquímicos para las actividades agrícolas (GWP, 2011).

La calidad del servicio de abastecimiento de agua potable y saneamiento varía de un país a otro. Sin embargo, casi todos aún enfrentan retos importantes en esta materias: disposición de agua en cantidad suficiente, suministro continuo durante las 24 horas del día, existencia de buena calidad y un costo real para este recurso (GWP, 2011). Concluyendo en la Cumbre del Agua, en el 2009, que de acuerdo con estimaciones, el 60% de la prestación de los servicios de agua y saneamiento en todos los países centroamericanos es deficiente, en cuanto a cobertura y eficiencia del servicio.

En Guatemala, el conocimiento del recurso es limitado en las estaciones que conformaban la red hidrometeorológica nacional manejada principalmente por el Instituto Nacional de Sismología Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) y, en menor grado por el Instituto Nacional de Electrificación (INDE)

presenta deficiencia. Con respecto al recurso hídrico subterráneo la investigación ha sido semi-detallada para el valle de la ciudad de Guatemala, el valle de Antigua Guatemala, y con estudios preliminares en el valle de Monjas y el de Quetzaltenango (IARNA, 2005).

El incremento en la demanda de agua de las ciudades es cada vez más difícil de satisfacer y está generando serios problemas de sequía y de sobreexplotación. En general, distribución espacial de la lluvia es muy irregular y la disponibilidad natural del agua no coincide exactamente con las demandas.

Se estima que el 80% del agua de consumo doméstico, de las poblaciones urbanas de más de 2,000 habitantes, regresa contaminada a los cuerpos, esto implica un volumen de 6 m³/seg. de agua contaminada descargando a los diferentes cuerpos de agua (IARNA, 2005). Como un dato concreto, de toda el agua empleada en el país, se generan 1,540 millones m³ de aguas residuales vertidas sin tratamiento a corrientes de agua superficial o cuerpos de agua (IANAS, 2012) y; por la falta de recursos se estima que únicamente el 6% da algún tipo de tratamiento a sus aguas negras. (IARNA, 2005) por lo que automáticamente limitan o dificultan sus usos.

Por la distribución de lluvias en el país existen meses con excesiva precipitación y otros con muy poca o nada. Esto ocasiona la escasez de agua en los meses secos. Actualmente, la regulación del escurrimiento superficial en el país es muy limitada. Adicionalmente la tala inmoderada de los bosques, la eliminación de la cobertura vegetal y la pavimentación de las zonas urbanas, están limitando aún más los efectos reguladores de la vegetación, incrementando las crecidas y reduciendo los caudales hasta estiaje y, disminuyendo la infiltración (IARNA, 2005).

2.1.2.3. Gestión del recurso hídrico

Debido a los cambios climáticos no se puede predecir la disponibilidad del agua, pero los usos y aumento de los mismos se va a mantener. Algunas de las razones que dificultan una planificación ordenada del recurso agua son (IARNA, 2005):

- a) La deficiente operación y mantenimiento de los sistemas de agua potable y drenaje en la mayoría de municipalidades del país;
- b) La extracción y explotación incontrolada del agua subterránea;
- c) La falta de planificación y regulación en el crecimiento urbano, que permite asentamientos humanos en zonas de recarga o en zonas con gran escasez natural de agua;
- d) La contaminación
- e) La temporalidad en la precipitación
- f) La limitada información existente sobre la disponibilidad real del recurso en el nivel local, y
- g) La falta de un registro de usuarios,

Según IARNA (2005), con la influencia de los elementos anteriores no es de extrañar que actualmente exista escasez del recurso y que con ello aparezca la presión sobre un recurso que en apariencia es abundante. La realidad de la participación de los distintos actores en la gestión del recurso hídrico es variada, tanto desde la perspectiva legal como funcional. Existen varias de las políticas públicas vigentes que consideran el agua con enfoque sectorial o de usos y, de conservación del bosque y del ambiente dentro de los cuales podemos mencionar (IARNA, 2005):

- a. La Política Ambiental que se refiere a un conjunto de medidas de protección de la calidad del agua, asociadas con el inventario de las aguas y otras acciones a favor de la GIRH.
- b. Los compromisos de los Acuerdos de Paz que definen la necesidad de regularizar los derechos de aprovechamiento del agua de las poblaciones desarraigadas.

- c. La Política Forestal que comprende acciones para la recarga de mantos acuíferos y protección de cabeceras de cuenca, y la de áreas protegidas, el pago por servicios ambientales.
- d. La Política de Desarrollo Social y Población enfocada a los sistemas de gestión de riesgo por amenazas hídricas
- e. La Política de Desarrollo Rural que considera importante introducir o mejorar los servicios de agua y saneamiento, y propone la figura del pago por servicios ambientales por regulación del ciclo hidrológico.

Si bien estas políticas se refieren de manera secundaria a algunos de los temas de la gestión integral del agua, no expresan medidas estratégicas para asegurar el cumplimiento de sus objetivos, tales como: proyectos de agua potable y saneamiento, conservación y protección de las fuentes de agua, planificación hidrológica, y la creación de políticas públicas. Actualmente las herramientas legales administrativas del estudio de impacto ambiental (EIA) se consideran un recurso importante del Estado para fortalecer el régimen legal de las aguas en materia de protección y recuperación del recurso.

Dentro del marco regulatorio del recurso hídrico, las instituciones encargadas antes del 2001 prepararon varias propuestas de ley que no fueron aprobadas por el Congreso de la República y, fue precisamente la falta de apoyo en un marco legal y la falta de voluntad política, el motivo de la disolución de la iniciativa de ley. Actualmente, existen varias instituciones gubernamentales a cargo de ordenar y planificar el recurso, entre ellos: el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Ganadería (MAGA), El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS), el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) (IARNA, 2005).

A pesar de que el país no cuenta con una Ley de Aguas, para responder a los retos hídricos en Guatemala, necesario enfocarse en las oportunidades que tiene el país con su riqueza hídrica y; con el fin de desarrollar capacidades nacionales

de gestión y gobernanza para aprovechar el capital hídrico en beneficio del desarrollo humano y productivo y, en función de mejorar y recuperar el ambiente; el Gobierno de Guatemala prioriza el tema “agua” por su relevante contribución al desarrollo del país y adopta medidas gubernamentales generales. Por ello, en el 2008 crea el Gabinete Específico del Agua -GEA- (Acuerdo Gubernativo 204-2008) al cual le asigna como parte de sus objetivos y funciones la revisión y actualización de la propuesta de Política y Estrategia de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (Gobierno de Guatemala, 2011).

Del 2008 a la actualidad, universidades, organizaciones e incluso el sector privado, han elaborado diversas propuestas para la creación de una “Ley para el aprovechamiento y manejo sostenible de los recursos hídricos” o bien conocida como la “Ley de Aguas”, que envuelve temas como el agua potable, saneamiento, contaminación, pueblos indígenas, instituciones, licencias, aguas subterráneas (Escalón, 2016). Sin embargo, todos los intentos realizados en el Congreso de la República por lograr la aprobación de una ley de este tipo han fallado. En este sentido, representantes de *The Nature Conservancy*, afirman que si no se logra una norma jurídica del agua, el país enfrentará, además de las consecuencias del calentamiento global, un sinnúmero de conflictos sociales (Recinos, 2016).

Para el año 2016 el Gabinete de Gobierno se ha reunido para trabajar en un documento que contenga el marco jurídico de una Ley General de Aguas, orientada a ordenar y controlar el uso del vital líquido. Así mismo, la población civil también ha levantado su voz, y desde el 11 de abril, se inició una protesta denominada “Marcha por el Agua”. Políticos consideran que para tener éxito, una iniciativa de Ley General de Aguas debería incluir aspectos como la creación de una institución rectora multisectorial, un capítulo específico sobre la información y conocimiento de la situación de las aguas en el país, hablar sobre gestión y las retribuciones económicas del uso, e incluir el tema de la educación y conservación (Recinos, 2016) .

2.2 ANTECEDENTES

2.2.1 Experiencias en Guatemala

Guatemala posee mucha abundancia de agua superficial y subterránea derivado de la precipitación y las condiciones climáticas que permiten cubrir la demanda de agua. Sin embargo, por la creciente explotación durante la última década, la falta de manejo y gestión del recurso y, la carencia de un marco regulatorio, el recurso se ve amenazado a nivel ecológico. En este capítulo, abordaremos algunas de las experiencias que se han llevado a cabo en el país en el marco de los sistemas de captación de agua pluvial para el uso sostenible del recurso.

La Municipalidad de Guatemala en función del aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, ha implementado el programa de proyectos de Sistemas de Captación de Agua de Lluvia a través de la Dirección de Medio Ambiente. Algunos de los sistemas implementados se pueden encontrar en la Plaza El Amate zona 1 y en la escuela La Esperanza ubicada en zona 25 de la ciudad capital (Municipalidad de Guatemala, 2014)

El sistema de captación funciona por medio de un sistema de filtros que captan y limpian el agua de lluvia, estos filtros están conformados de gravas de distintas granulometrías, así como de arena sílica y carbón activado. Al pasar el agua pluvial por las gravas y arenas se le agrega sales y minerales y, al pasar por el carbón activado se elimina el olor, color y sabor. Todo el sistema va ubicado sobre una estructura metálica, la cual soporta el peso, haciendo que trabaje por gravedad (Figura 10) (Municipalidad de Guatemala, 2014).

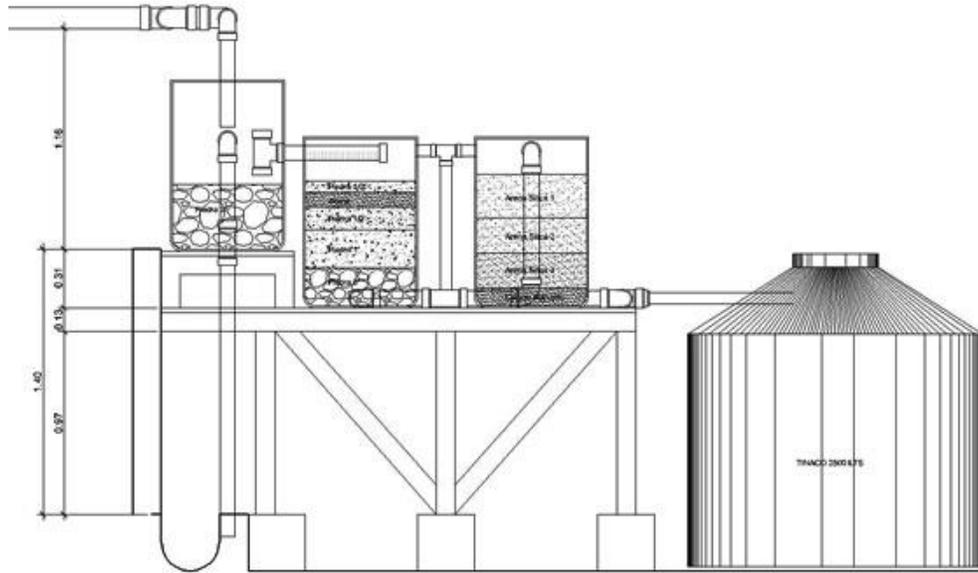


Figura 10. Sistema de aprovechamiento de agua pluvial utilizado por la Municipalidad de Guatemala (Municipalidad de Guatemala, 2014)

En Guatemala, el agua es un recurso natural de gran importancia para la sociedad y en la agricultura a nivel nacional; actualmente, la agricultura, y especialmente la agricultura de regadío, es el sector con mayor extracción y uso consuntivo de agua (FAO, 2016). En algunas regiones y específicamente zonas cafetaleras, existen lugares en los cuales el agua es escasa aún para el consumo humano y uso agrícola, razón por la cual se hace apremiante la necesidad de disponer de infraestructuras que permitan captar y almacenar agua de lluvia. Algunos de los criterios que sirven de guía para diseñar las formas de captación y almacenamiento son cálculo de estructuras, área de techos (medios de captación) y el depósito de agua. Para calcular el área del techo de las casetas y el tamaño del depósito de almacenamiento, deberán considerarse los siguientes aspectos (Anacafé, 2014):

- a) Requerimiento de agua (oferta y demanda)
- b) Régimen de precipitación de los meses de invierno de la zona
- c) Porcentaje de eficiencia de captación del techo (material y tamaño)
- d) Uso del agua para otras necesidades

En la región sur del país, el Grupo Focal del Proyecto Creación de Capacidades para la Captación de Agua de Lluvia en las Comunidades Rurales de Guatemala, integrado por el Centro Universitario de Oriente (CUNORI), la Asociación de Servicios y Desarrollo Socioeconómico de Chiquimula (ASEDECHI) y, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUMA), contemplaron la construcción de dos sistemas de captación de agua de lluvia en escuelas e institutos de comunidades rurales de Chiquimula.

Para la selección de estos dos sistemas de captación de agua de lluvia se visitaron seis comunidades: Pacrén, Jocotán; El Chagüite, Ipala; El Chucte, Olopa; Pajcó, Camotán, y Las Sopas, Chamagua y Cafetales, ambas de Esquipulas (CUNORI, 2011). Los criterios para la evaluación en estos proyectos fueron: el área de captación, datos de precipitación, organización comunitaria, índices de salud, situación de fuentes de agua y acceso para la comunidad. (CUNORI, 2011).

En el departamento de San Marcos, el Programa Conjunto busco fortalecer el desarrollo rural en las cuencas de Coatán y Alto Suchiate reduciendo las vulnerabilidades de sus habitantes en las áreas de salud, hábitat comunitario, y potenciando las oportunidades productivas de la población y el territorio (PNUD, 2014). Al identificar la necesidad de agua para usos productivos, el Programa Conjunto inició un programa para el uso de sistemas con tecnologías alternativas de bajo costo que pudieran desarrollarse con recursos locales y que aumentarían el acceso al agua durante todo el año, instalando cosechadores de agua de lluvia y sistemas de miniriegos por gravedad; hoy día se desea proponer otros sistemas como la captación de neblina (PNUD, 2014).

Para garantizar la sostenibilidad, la iniciativa contemplo desarrollar buenas prácticas desde la base y, en conjunto con los participantes y principales usuarios de los sistemas de cosecha de agua, diagnosticando las condiciones en el terreno, identificaron los sistemas más apropiados para aumentar el acceso al agua, se realizarán las compras, se instalaron los sistemas, se estudiaron las experiencias de la puesta a prueba y se capacitaron a los promotores en un proceso de retroalimentación constante (PNUD, 2014).

2.2.2 Municipio de Santa María de Jesús

Para cualquier propuesta de desarrollo o implementación de tecnologías nuevas es necesario conocer todas características que pueden determinar o influenciar el éxito del proyecto. Por ello, en este capítulo se abordaran las principales características ambientales, económicas, sociales e institucionales del municipio basado el Plan de Desarrollo Municipal (PDM), el cual se constituye en un esfuerzo consensuado entre diversos actores locales como el Consejo Municipal de Desarrollo –COMUDE- y el Consejo Comunitario de Desarrollo – COCODE-, instituciones sectoriales, empresarios locales, líderes de la sociedad civil.

2.2.2.a) Características Ambientales

Geográficamente el municipio de Santa María de Jesús se encuentra ubicado a las faldas del Volcán de Agua en la latitud Norte 29°36' y longitud Oeste 42°36' dentro del departamento de Sacatepéquez (ver Figura 28), a una altitud de más de 2,050 msnm y con una extensión territorial de 34km² (Urizar, s.f.).

Bosque y suelos

El municipio posee un 10% de su territorio bajo cobertura forestal, principalmente comprendida en el cono volcánico del Volcán de Agua y los Cerros de Agua de la Mina, Chococ, entre otros. Posee dos nacimientos de agua importantes de los cuales se abastece el municipio y, los cuales en la actualidad presentan disminución del caudal en época de verano. El municipio es una zona de recarga hídrica importante en el departamento, lo cual se está viendo amenazado por la deforestación provocada por el avance de la frontera agrícola (Consejo Municipal de Desarrollo de Santa María de Jesús, 2010).

De acuerdo con la Clasificación de Reconocimiento de los Suelos de Guatemala de Simmons los suelos presentes en el municipio de Santa María de Jesús son (Figura 11) (Consejo Municipal de Desarrollo de Santa María de Jesús, 2010):

- a. Cima Volcánica (CV): suelos pertenecientes a conos volcánicos de reciente formación con declive aproximado del 65% de pendiente.

- b. Serie Alotenango (Al): suelos excesivamente drenados, característico de lugares inclinados o muy inclinados, con fertilidad regular, textura franca arenosa y de alta erosión.
- c. Serie Palín (Pl): desarrollado a partir del material expulsado por el Volcán de Fuego recientemente con declive de 40-60% de pendiente. Drenaje rápido y con poca capacidad de retención de agua, baja fertilidad y alta erosión.
- d. Serie Cauqué (Cq): suelo de ceniza volcánica de color claro, perteneciente a relieves ondulados a fuertemente inclinados. Poseen drenaje interno bueno gracias a su profundidad de aproximadamente 75 cm.

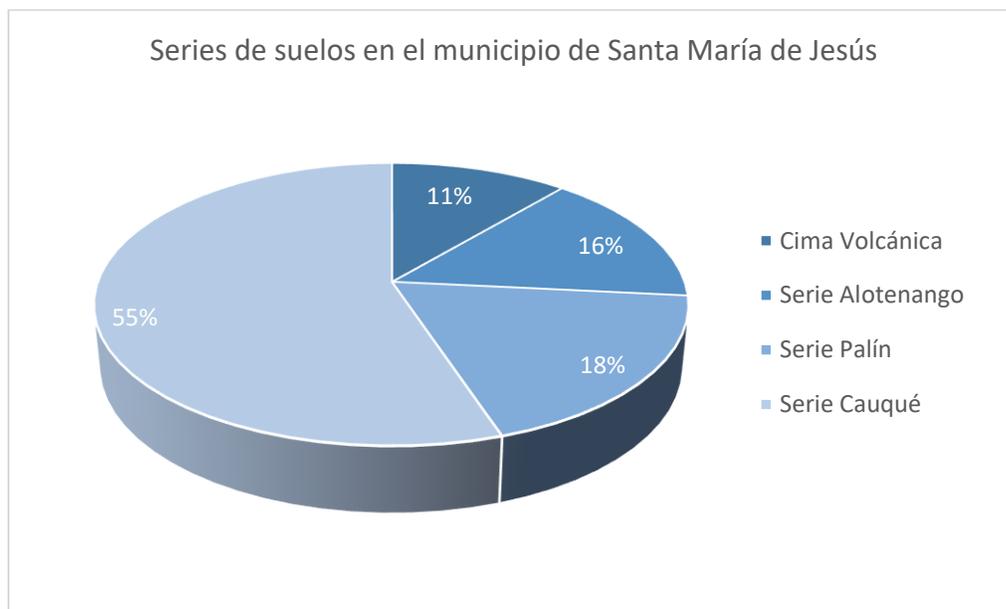


Figura 11. Series de suelos en el municipio de Santa María de Jesús (MAGA, 2005)

El municipio pertenece al Gran Paisaje Tierras Altas Volcánicas, se encuentra dividido en dos regiones fisiográficas (Consejo Municipal de Desarrollo de Santa María de Jesús, 2010):

- a. Volcán de Agua, que comprende el 87% del territorio
- b. Montañas Volcánicas del Centro del País, que comprende el 13% restante

Según el Mapa Geológico de Guatemala el municipio se encuentra en dos regiones formadoras del suelo (Consejo Municipal de Desarrollo de Santa María de Jesús, 2010):

- a. Qv: formado por rocas ígneas y metamórficas del periodo cuaternario, incluyendo coladas de lava, material lahárico, tobas y edificios volcánicos, en este caso el Volcán de Agua.
- b. Tv: formado por rocas ígneas y metamórficas del periodo terciario, incluyendo tobas volcánicas, coladas de lava, material lahárico y sedimentos volcánicos.

Recurso hídrico

Fuentes de agua: cuenta con tres pozos mecánicos que abastecen de agua a la población en el casco urbano y dos nacimientos de agua que son considerados los abastecedores principales: Chicapitán y Chuy. En la actualidad estos dos últimos presentan una reducción del caudal especialmente en época de verano (Consejo Municipal de Desarrollo de Santa María de Jesús, 2010).

Santa María de Jesús está dividida por dos cuencas hidrográficas: Cuenca del Río Achiguate (16.33% de cobertura total) y la Cuenca del Río María Linda (83.66% de cobertura total). El municipio es considerado una zona de recarga hídrica a nivel departamental. En él existen cuatro zonas de recarga (Consejo Municipal de Desarrollo de Santa María de Jesús, 2010):

Zona de recarga clase IV: zona de recarga hídrica de rocas volcánicas sin cobertura forestal, con precipitaciones mayores a 2,000mm

Zona de recarga clase IV A: zona de recarga hídrica de rocas volcánicas con cobertura forestal, precipitaciones mayores a 2,000 mm

Zona de recarga clase V: zona de recarga hídrica de rocas volcánicas sin cobertura forestal, precipitaciones entre 1,000 y 2,000 mm

Zona de recarga clase V A: zona de recarga hídrica de rocas volcánicas con cobertura forestal, precipitaciones entre 1,000 y 2,000 mm

Variables climáticas y zonas de vida

El municipio de Santa María de Jesús se encuentra a una altura de aproximadamente 2,057 metros sobre el nivel del mar y, con una biotemperatura entre 15° - 23° C y por lo tanto predomina el clima frío. El clima es cálido en tierras del sudeste, templado en la mayoría del territorio y muy frío en la cima del volcán (Barquín, 2007). Para el departamento de Sacatepéquez únicamente están registradas las variables climáticas del municipio de San Lucas Sacatepéquez y Santa María de Jesús (Cuadro 4).

Cuadro 4. Variables climáticas para los municipios de San Lucas Sacatepéquez y Santa María de Jesús, Sacatepéquez

Localidad	Elevación (msnm)	Temperaturas Max-Min (C°)	Precipitación (mm)	Brillo Solar (total/hrs/mes)	Humedad Relativa (%)	Evaporación
San Lucas Sacatepéquez	2105	18.5 6.9	991.8	-99	85	90.1
Santa María de Jesús	2065	20.8 – 11.3	1221.1	-99	-99	-99

(INSIVUMEH, 2015)

La época lluviosa o invierno va del mes de mayo a octubre (Figura 12), que cuenta con una precipitación pluvial entre 1057 – 1580 milímetros anuales, con mañanas son brumosas y las tardes nubladas y lluviosas; la seca o verano de noviembre a abril con un clima frío y ventoso en diciembre y enero; y se torna más cálido en marzo y abril. (Barquín, 2007). El mes más seco es enero con una precipitación de 5mm y, el mes más lluvioso es junio con 302mm (Cuadro 5) (CLIMATE-DATA-ORG, 2016).

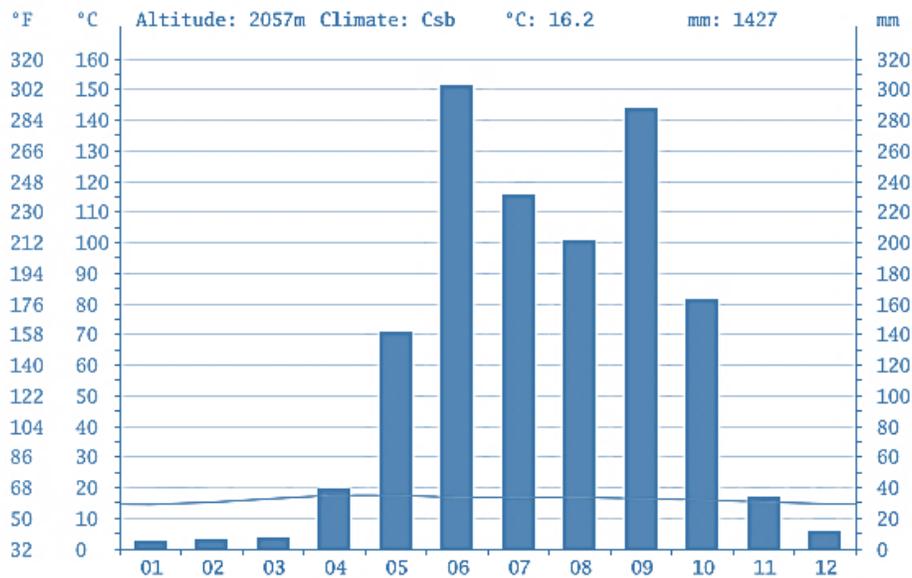


Figura 12. Gráfica climática del municipio de Santa María de Jesús, Sacatepéquez, Guatemala (CLIMATE-DATA-ORG, 2016)

Cuadro 5. Información climática del municipio de Santa María de Jesús, Sacatepéquez, Guatemala

month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
mm	5	6	7	39	141	302	231	201	287	163	34	11
°C	14.5	15.2	16.4	17.5	17.5	16.8	16.7	16.8	16.4	16.0	15.3	14.7
°C (min)	8.9	9.3	10.3	11.8	12.7	12.9	12.5	12.2	12.3	11.9	10.5	9.4
°C (max)	20.1	21.1	22.5	23.3	22.3	20.7	20.9	21.4	20.6	20.2	20.1	20.0
°F	58.1	59.4	61.5	63.5	63.5	62.2	62.1	62.2	61.5	60.8	59.5	58.5
°F (min)	48.0	48.7	50.5	53.2	54.9	55.2	54.5	54.0	54.1	53.4	50.9	48.9
°F (max)	68.2	70.0	72.5	73.9	72.1	69.3	69.6	70.5	69.1	68.4	68.2	68.0

(CLIMATE-DATA-ORG, 2016)

El sistema de clasificación de las zonas de vida del Dr. Leslie R. Holdridge establece 14 zonas de vida para Guatemala. Dentro del municipio de Santa María de Jesús están presentes tres (Cuadro 6) (Consejo Municipal de Desarrollo de Santa María de Jesús, 2010):

Cuadro 6. Zonas de Vida en el Municipio de Santa María de Jesús

Nomenclatura	Zona de Vida	Área (%)
bh - MB	bosque húmedo Montano Bajo Subtropical	70.72
bmh – MB	bosque muy húmedo Montano Bajo Subtropical	22.27
bmh – S (c)	bosque muy húmedo Subtropical (cálido)	7.01

(MAGA, 2005)

Riesgo y Vulnerabilidad

El municipio está situado en una meseta dividida en dos vertientes: al noroeste se extiende por el Valle de Panchoy hacia un profundo barranco que sigue en dirección a la aldea San Juan del Obispo (Antigua Guatemala); al norte existe una serranía formada por los Cerros Chujuyú, El Manzanillo y Aplanché, terminando en las alturas de del Cerro Carmona. Los deslizamientos afectan a los centros poblados, el segundo cantón, sector de la Cruz de San Antonio y Panacoy. Así mismo, en la carretera que comunica con la cabecera departamental y la carretera a Palín se dan derrumbes con frecuencia (Consejo Municipal de Desarrollo de Santa María de Jesús, 2010).

Por otro lado, las inundaciones, especialmente de la época de invierno, tienen un impacto directo en las comunidades de Sabana Grande y Sabana Chiquita, consecuentemente por la alta pendiente de las faldas del Volcán de Agua, también son afectados los poblados del tercer cantón: Chiosario, sector Choxan y el sector Paley (Consejo Municipal de Desarrollo de Santa María de Jesús, 2010).

Como consecuencia del mal manejo de los desechos sólidos y líquidos, la contaminación está en un punto crítico. En el mismo sentido, las violaciones a la Ley de Áreas Protegidas son de manera constante, llevando a la degradación e incremento de la vulnerabilidad (Consejo Municipal de Desarrollo de Santa María de Jesús, 2010).

Saneamiento ambiental

En el 2010 través de la Resolución 64/292, la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció explícitamente el derecho humano al agua y al saneamiento, reafirmando que un agua potable limpia y el saneamiento son esenciales, sobre todo, para el desarrollo sostenible (ONU, 2010). Dentro del municipio el 96% de los hogares cuenta con servicio de saneamiento básico y agua potable (Cuadro 7), aunque este no se da de forma constante. Por ello la población está obligada a llenar cantaros desde tempranas horas de la mañana para abastecerse de agua, no siendo agua tratada, es decir no potable. En cuanto al servicio de drenajes, este aún hace falta en los lugares más aislados al casco urbano (Consejo Municipal de Desarrollo de Santa María de Jesús, 2010).

La municipalidad cuenta con una planta de tratamiento de aguas servidas (PTAR), sin embargo no se encuentra en funcionamiento por falta de capacitación a las personas encargadas del servicio. De la misma forma, la municipalidad tampoco cuenta con el conocimiento para su manejo y operación. Por ello, todos los desechos líquidos domiciliarios e industriales son drenados directamente a los cauces de río provocando su contaminación (Consejo Municipal de Desarrollo de Santa María de Jesús, 2010).

La basura es un problema grande y complejo dentro del municipio, dentro de él se encuentran 15 basureros a cielo abierto que provocan: (a) la contaminación del manto acuífero por lixiviados, (b) contaminación con olores fétidos y (c) problemas de salud y enfermedades. Por otro lado el basurero municipal no cuenta con un tren de aseo eficiente, lo que lleva a la propagación de basureros clandestinos y contaminación en las calles. En el mismo sentido, no se tiene un tratamiento para los desechos sólidos industriales y domiciliarios, elemento vinculado a la ineficiencia del tren de aseo (Consejo Municipal de Desarrollo de Santa María de Jesús, 2010).

Cuadro 7. Acceso al agua potable y saneamiento básico

Total de viviendas con acceso al agua intradomiciliar y servicios de saneamiento	
Total de viviendas	2,514
Viviendas con servicio al agua potable	2,488
Viviendas con servicio de saneamiento básico	2,438

(INE, 2002)

2.2.2.b) Características Socioeconómicas

El municipio de Santa María de Jesús es catalogado como un municipio en un nivel alto de pobreza y pobreza extrema, y que presenta, junto a Sto. Domingo Xenacoj, Magdalena Milpas Altas y Alotenango, los mayores porcentajes a nivel departamental (Cuadro 8).

Cuadro 8. Pobreza y pobreza extrema en el Municipio de Santa María de Jesús

PORCENTAJE DE POBREZA		
Nivel	Pobreza general (%)	Pobreza extrema (%)
Municipal	59.12	9.52
Departamental	36.53	8
Nacional	59.3	23.4

(SEGEPLAN, 2002 y 2015)

La cobertura de educación en el municipio es baja. El nivel de primaria bilingüe es de 8.9% y en básico de 1.96%. El nivel de diversificado no existe en el municipio por lo que los jóvenes se ven obligados a migrar hacia la Ciudad de Antigua Guatemala. La tasa de analfabetismo en el municipio es de más del 40% (Barquín, 2007), lo que indica que el nivel académico es bajo respecto a la tasa a nivel departamental y nacional, 13.64% y 21.04% respectivamente (Consejo Municipal de Desarrollo de Santa María de Jesús, 2010).

Con respecto al estado de los servicios básicos son (Consejo Municipal de Desarrollo de Santa María de Jesús, 2010):

Condiciones de la vivienda: más del 90% de las viviendas en el municipio están construidas con block, seguidas de madera a lepa y adobe.

Servicio de agua potable: el 62% de las viviendas son abastecidas con los 3 nacimientos de agua y un pozo mecánico. El 37% restante se abastece de los chorros comunales.

Aguas servidas: el 87% de las viviendas cuenta con un servicio de recolección y conducción de las aguas servidas y residuales de tipo mixto. El municipio cuenta con una planta de tratamiento PTAR, sin embargo actualmente no se encuentra en funcionamiento por falta de presupuesto.

Desechos sólidos: no existe en el municipio un tren de aseo eficiente que colecte los desechos generados. Existe un número indeterminado de basureros clandestinos e ilegales y de los cuales la municipalidad no lleva registro ni control.

2.2.2.c) Características Socioculturales

Según estimaciones del Instituto Nacional de Estadística (INE) al año 2002 el municipio presentaba una población de 16,594 habitantes y para el año 2009 alcanzo una población de 28,000 habitantes, un crecimiento poblacional de casi el 60%, siendo el índice de crecimiento poblacional de 1.14, relacionada con la departamental de 3.47 y la nacional de 3.68. El municipio no cuenta con datos de censos poblacionales y estadísticas más actuales (INE, 2002).

En el municipio existen dos etnias, cackchiqueles, de los cuales unos solamente hablan, cackchiquel, otros son bilingües, hablando también español, y están también los ladinos. Al hablar de la composición demográfica de la población del departamento de Sacatepéquez, en Santa María de Jesús podríamos decir que predomina la etnia indígena. (Barquín, 2007),

Algunos de los datos más relevantes en el municipio son:

- a. Presenta un Índice de Desarrollo Humano (IDH) de 0.5 en comparación de todo el departamento que es de 0.7%, con carencia de servicios básicos tal como el acceso al agua potable y un índice de pobreza alto. Por otro lado, el municipio presenta un grado alto de vulnerabilidad derivado de condiciones geográficas, demográficas y de ordenamiento territorial por la falta de gestión comunitaria principalmente en el manejo de los desechos sólidos y del recurso hídrico (PNUD, 2011).
- b. El IDH de salud es de 0.5 y la cobertura real es del 20%, ya que mayor parte de la población migra hacia la cabecera municipal para recibir mejores servicios (PNUD, 2011).
- c. Según la Secretaria de Seguridad Alimentaria y Nutricional (SESAN) en el informe del tercer censo nacional del 2008 se indica que el municipio de Santa María de Jesús esta con un estado nutricional de 43.3, lo que incide en una prevalencia del retardo de talla del 56%, situando al municipio en una vulnerabilidad nutricional alta (Consejo Municipal de Desarrollo de Santa María de Jesús, 2010).

2.2.2.d) Características Institucionales

Durante los últimos años, las iniciativas y proyectos de desarrollo social dentro de municipio las encabezan organizaciones sin fines de lucro como las ONG's y las universidades, de la mano con algunas de las formas de organización comunitaria existes (Consejo Municipal de Desarrollo de Santa María de Jesús, 2010):

- Consejo Comunitario de Desarrollo (COCODE)
- Cofradías, hermandades católicas y grupos juveniles

Por otro lado, el municipio posee un Consejo Municipal electo popularmente el cual se encuentra en función por cuatro años y financiado por el gobierno central. También existe una Oficina de Planificación Municipal encargada de priorizar y llevar a cabo los proyectos municipales, sin embargo no cuenta con los insumos y

equipo necesario para realizar sus tareas, así mismo no cuenta con capacitación y mantenimiento del equipo ya presente.

La presencia del Gobierno Central es escasa en el municipio y todas las instituciones del estado están centralizadas en la cabecera municipal departamental, actualmente el municipio se encuentra en la posición 79 de 334 del Índice General de Gestión Municipal 2013 (SEGEPLAN, 2015).

Existe organización y participación comunitaria en los COCODES pero no existe un Consejo Municipal de Desarrollo (COMUDE) dentro del municipio lo que afecta la comunicación sectorial (Consejo Municipal de Desarrollo de Santa María de Jesús, 2010). Entre otras instituciones gubernamentales que asisten al municipio están (Consejo Municipal de Desarrollo de Santa María de Jesús, 2010):

- Ministerio de Educación (MINEDUC)
- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS)
- Tribunal Supremo Electoral (TSE)
- Corte Suprema de Justicia (CSJ)
- Registro Nacional de las Personas (RENAP)
- Policía Nacional Civil (PNC)

Cumpliendo la función de asesoría se encuentran (Consejo Municipal de Desarrollo de Santa María de Jesús, 2010):

- Consejo Nacional de Desarrollo Urbano y Rural (COREDUR)
- Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED)
- Consejo Nacional para la Juventud (CONJUVE)
- Fondo Nacional para la Paz (FONAPZ)
- Instituto Nacional de Estadística (INE)
- Instituto Nacional de Bosques (INAB)
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA)
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN)
- Secretaria de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN)
- Instituto de Fomento Municipal (INFOM)

2.2 MARCO REFERENCIAL

2.3.1 Proyecto Escuela Jardín de Amor

Jardín de Amor es un proyecto guatemalteco dedicado a la educación de los niños de una población indígena con escasos recursos situada en el municipio de Santa María de Jesús, a las faldas del volcán de Agua (Anexo 2. Figura 26). Según afirma Julio García, su fundador, “el proyecto surge para romper las cadenas de pobreza” (Jardín de Amor, 2013).

El proyecto se originó en abril de 2005, donde un grupo de madres del pueblo acudió a Julio García un joven de 21 años, hijo de un fundador de una antigua escuela y licenciado en Administración y Dirección de Empresas para que iniciará el proyecto. Al principio no se contaba con donaciones directas y se carecía de material pedagógico. Después de siete años con más de cien niños en un espacio muy pequeño, en diciembre de 2012, se puso en marcha una nueva escuela con terreno propio (Anexo 3. Figura 27 y Figura 28) (Jardín de Amor, 2013).

El equipo de Jardín de Amor se compone fundamentalmente de 5 personas. El director de la escuela, y fundador, Julio García Reyes; tres profesoras encargadas de impartir clases a los diferentes cursos, una encargada de la cocina y de la limpieza y, una asistente social que se encarga del trabajo pedagógico que se realiza con las madres del proyecto. El proyecto ofrece un servicio educativo, sanitario y alimentario a niños y niñas del municipio de Santa María de Jesús (Jardín de Amor, 2013).

La escuela trabaja con familias que viven en una situación de extrema pobreza, por lo que el proyecto se hace cargo de todos los gastos escolares y, proporciona diariamente un almuerzo a cada uno de sus alumnos. Además, en caso de necesidad, la escuela se ocupa de asistir a los niños y niñas enfermos, llevándolos al médico y comprando medicamentos. Actualmente, la escuela ha logrado que 11 niños estudien en la ciudad de Antigua, a 20 minutos de Santa María de Jesús, en una escuela de secundaria con becas todos (Jardín de Amor, 2013).

Actualmente, la principal necesidad de la escuela es la falta de fondos para financiar material pedagógico, alimentos, reparaciones, insumos y, algunos servicios básicos. Actualmente la escuela llena toneles plásticos con agua potable que utiliza para diferentes usos. Algunos de los proyectos que se desean implementar son (Jardín de Amor, 2013):

- **El proyecto biblioteca:** a pesar de tener un área construida, aún requiere apoyo para ponerla en marcha. Requiriéndose libros, estanterías, sillas, mesas, moqueta etc.
- **El proyecto desayuno:** este proyecto hace frente al problema de la desnutrición. Muchas veces, los alumnos asisten a sus clases sin haber ingerido ningún alimento desde el día anterior. Por ello, y puesto que la escuela sólo puede ofrecer un almuerzo diario, se quiere lanzar el *proyecto desayuno* es considerado un factor determinante para la mejora del sistema educativo del proyecto.
- **Talleres de Formación Profesional:** muchos niños y niñas de la escuela no pueden terminar sus estudios en la escuela por la necesidad de trabajar y apoyar a sus familias. En este proyecto se ofrecería una opción educativa diferente y basada en la práctica, lo cual se adapta a las circunstancias de estos niños y niñas, y que consistirá en el aprendizaje de un oficio, con el objetivo de proporcionar un ingreso para la escuela y también para las familias de los alumnos favorecidos por la iniciativa.
- **Huerta escolar:** la huerta escolar es considerada una estrategia de sostenibilidad para la escuela. Muchos de los estudiantes provienen de familias dedicadas a la agricultura y con este proyecto se pretende que los alumnos aprendan a cultivar sus propios alimentos y que estos formen parte de su dieta. La parcela es de 272 m² localizada frente a la escuela, sin embargo, aún no es totalmente productiva por deficiencias de insumos (agua para riego, semillas, abonos, etc.) (Anexo 3. Figura 29 y Anexo 6. Figura 32).

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El agua es un recurso vital que se halla presente en todas las actividades cotidianas del ser humano. Hoy día, el cambio climático que se ha observado durante las últimas décadas ha sido vinculado a cambios experimentados en el ciclo hidrológico del agua. En general, los cambios de la cantidad y calidad del agua por efecto del cambio climático afectan la disponibilidad, estabilidad, accesibilidad y uso para los alimentos, necesidades básicas y agricultura, en este sentido, el acceso al agua, es uno de los principales limitantes del desarrollo social y económico de las comunidades rurales.

En Guatemala, el crecimiento poblacional, los patrones de consumo y la falta de proyectos y legislación en la gestión hídrica; esto, sumado a que el 90% de las fuentes superficiales que son abastecedoras del 55% de agua potable en las zonas rurales se encuentra contaminada y sufre una mayor disminución de caudales cada año (Cobos, 2002) conllevan a una serie de problemáticas socioambientales y en el municipio de Santa María de Jesús no se da la excepción. Dentro del municipio, el aprovechamiento de las fuentes de agua no satisface las necesidades de la población y; la capacidad técnica y económica para financiar planes de gestión, proyectos y políticas para el manejo del recurso hídrico es nula (Consejo Municipal de Desarrollo de Santa María de Jesús, 2010).

Ante esta situación, el aprovechar agua de lluvia puede ser una alternativa que no solo contribuya a solucionar el problema de escasez en el verano, la irregularidad del servicio municipal y la contaminación; sino también es una medida para reducir la demanda de agua y aumentar el valor del agua pluvial. Actualmente la municipalidad posee un sistema de captación de agua de lluvia que abastece a algunos cantones en el invierno, pero ya que el servicio no es constante y eficaz, algunos habitantes captan agua de lluvia en tambos y contenedores.

Sin embargo ésta es una solución temporal, ya que las lluvias en la región tienden a ser de seis meses (de mayo a octubre, en un año de abundancia) y, los contenedores no tienen la capacidad ni eficiencia para cubrir las necesidades o muchas veces presentan insalubridad. Es por ello, que dentro de la ingeniería y gestión ambiental, es indispensable la evaluación e implementación de proyectos y tecnologías que permitan el acceso y el uso racional y sostenible del recurso hídrico.

En este sentido, el presente estudio se realiza para la Escuela Jardín de Amor en el municipio de Santa María de Jesús, departamento de Sacatepéquez, centro educativo en el cual, actualmente, ya se trabajan proyectos de autosostenibilidad y; que servirá como fuente principal de información. Permitiendo elaborar una propuesta para la implementación de un sistema de captación y cosecha de agua de lluvia que sirva como un mecanismo para la obtención de agua que puede ser utilizada para cubrir las necesidades de la escuela o para contribuir a la productividad del huerto escolar.

3.2 JUSTIFICACIÓN

Según el Consejo Municipal de Desarrollo de Santa María de Jesús (2010) Santa María de Jesús es una zona de recarga hídrica importante dentro del departamento. Por ello, la gestión integrada del recurso no solo implica el saneamiento y el acceso al servicio, sino la aplicación de técnicas sostenibles que permitan el uso eficiente y eficaz del agua; con sistemas de bajo costo para que sean accesibles a todos sus habitantes, reduciendo el impacto ambiental en el uso del recurso hídrico y logrando un mayor alcance en el abastecimiento a las zonas que no cuentan con un sistema de distribución o donde el agua escasea.

Para impulsar una gestión adecuada del agua, es fundamental conocer el estado del recurso, guiar la toma de decisiones y definir las acciones que deben seguirse enfatizando en promover su uso sostenible. Por otro lado, las opciones y tecnologías de adaptación deben estar destinadas a asegurar el abastecimiento

de agua en condiciones normales y en caso de sequía y; para ello se requieren estrategias integradas orientadas tanto a la demanda como a la oferta del recurso. Como una estrategia orientada a la demanda, los sistemas de cosecha de agua de lluvia permiten ahorrar agua proveniente de las fuentes principales y, dedicar el agua pluvial a usos agrícolas, industriales o particulares y; ante el cambio climático, los sistemas de cosecha de agua de lluvia son considerados un recurso estratégico para la sostenibilidad y para la reducción de riesgos (UNISDR - Pacheco, 2004).

En este sentido, con la presente investigación se pretende brindar una propuesta para la implementación de un sistema de cosecha de agua de lluvia para la escuela Jardín de Amor; por medio de una evaluación de factibilidad y, que junto con recomendaciones, permitan a la escuela apropiarse de una alternativa compatible para obtener agua. Siendo este un centro educativo comunitario la importancia de que participe en este tipo de proyectos radica en que las alternativas y proyectos de desarrollo social muchas veces nacen de este tipo de organizaciones y permiten que los proyectos puedan ser replicados en otros centros e instituciones; aportando herramientas de desarrollo sostenible para las comunidades y, sobre todo para aquellas con mayores necesidades.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar una propuesta para la implementación de un sistema de cosecha de agua de lluvia en la escuela Jardín de Amor del Municipio de Santa María de Jesús, departamento de Sacatepéquez.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- A. Definir el estado actual del sistema de abastecimiento de agua potable y la demanda del recurso en la escuela Jardín de Amor.

- B. Evaluar la factibilidad de la implementación de un sistema de cosecha de agua de lluvia que funcione como un mecanismo de obtención, uso y ahorro de agua potable.
- C. Seleccionar la alternativa más compatible con las características de la escuela Jardín de Amor y, brindar recomendaciones de instalación, uso y mantenimiento.

5. METODOLOGÍA

5.1 AMBIENTE

El diagnóstico y evaluación de factibilidad para la implementación de un sistema de cosecha de agua de lluvia se realizó para la escuela Jardín de Amor ubicada en el Municipio de Santa María de Jesús en el departamento de Sacatepéquez, Guatemala.

Coordenadas: 14° 29´ 36´´ Norte / 90° 42´ 36´´ Oeste.

5.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La tesis desarrollada es de tipo descriptiva, se dirige al análisis de las variables que conforman la unidad de análisis; con una fase de gabinete que consistió en la recopilación y diagnóstico de información. Una segunda fase donde se realizó una evaluación de factibilidad y análisis de datos. Finalmente, una tercera fase donde se elaboró una propuesta para su implementación junto recomendaciones para el uso y mantenimiento del sistema.

5.3 INSTRUMENTOS GUÍA

La presente metodología se basa en:

- a. La *“Propuesta Metodológica para Evaluar Sistemas de Aprovechamiento de Agua de Lluvia como Alternativa para el Ahorro de Agua Potable en Viviendas e Instalaciones con Alta Demanda del Suministro en la República de Guatemala”* publicado en el 2013 por Pablo Quevedo de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC).

- b. *“El Manual de Texas para el Aprovechamiento de Agua Pluvial”* publicado en el 2005 por Texas Water Development Board.
- c. El estudio de *“Factibilidad técnica del uso de agua de lluvia en el Municipio de Santos Reyes Yucuná, Oaxaca.”* Publicado en el 2009 por Álvarez-Olguín, G. et al.
- d. El *“Manual de diseño y construcción de sistemas de captación de agua de lluvias en zonas rurales de Chile”*, publicado por el Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO para América Latina y el Caribe.
- e. *“Water Harvesting, Guidelines to good practice”* publicado en el 2013 por Centre for Development and Environment (CDE), The International Fund for Agricultural Development (IFAD), Rainwater Harvesting Implementation Network (RAIN) y el Instituto de Geografía de la Universidad de Bern.
- f. *“Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe”* publicado en el 2013 por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO).
- g. *“Sistematización de Cosecha de Agua de Lluvia para el Huerto Escolar”* publicado en el 2012 por el Proyecto Fondo de Adaptación de Tegucigalpa, Honduras.

5.4 PROCEDIMIENTO

5.4.1 Fase 1: Consulta documental y diagnóstico

En esta primera fase se elaboró una caracterización del municipio, abarcando la información más relevante de la zona e incluyendo características biofísicas, socio-ambientales, económicas e institucionales. Luego, se realizó un diagnóstico de la escuela la cual contiene todos los aspectos de infraestructura, su sistema financiero, la capacidad técnica, la percepción ante las problemáticas, entre otros. Para ello, se realizó una recopilación de datos e información de fuentes primarias y secundarias, siendo estas:

- a. Plan de Desarrollo Municipal de Santa María de Jesús (PDM) 2010-2025
- b. Tesis de grado y postgrado

c. Diálogos, entrevistas y encuestas al equipo de la escuela

Los diálogos, entrevistas y encuestas se realizaron por medio de un proceso participativo iterativo donde participó el director, el equipo de la escuela y una madre de familia. La entrevista principal fue sistematizada en un formato digital y, la información obtenida se utilizó como base para evaluar los factores técnicos, económicos, socioambientales de la escuela y, para analizar la percepción de la participación de la municipalidad en los proyectos de desarrollo y proyectos educativos (Anexo 4 y 5, Cuadro 32 y 33).

Los procesos participativos para la evaluación e implementación de proyectos requieren de una metodología apropiada en función del tema a tratar y del contexto en el que se vaya a trabajar. En este caso, se visitó en varias ocasiones a la escuela para que se familiarizaran con el proyecto. Luego, se definieron los objetivos, las personas involucradas en el proceso y, se estableció un cronograma para trabajar las sesiones, las entrevistas y el trabajo de campo.

El proceso participativo fue también un proceso educativo caracterizado por la transparencia, la información, la comunicación y, la retroalimentación de los involucrados; donde se obtuvo información real acerca de la percepción de los comunitarios, las necesidades de la escuela, la forma y estado de abastecimiento actual del agua potable y el uso del recurso. Con la información obtenida, se determinó el estado actual del sistema de abastecimiento de agua y se identificaron las principales problemáticas en el municipio y de la escuela.

5.4.2 Fase 2: Fase de campo y evaluación de factibilidad

Para evaluar la factibilidad en la implementación de un sistema de captación de agua de lluvia es necesario considerar tres factores principales: el factor técnico, económico y socioambiental; sin embargo, en esta evaluación se considerará también, el factor institucional como un mecanismo de participación y apoyo.

En esta investigación se comparará la factibilidad de dos sistemas (A y B), siendo el sistema A un sistema para uso doméstico (Figura 4) y el sistema B un sistema para uso agrícola (Figura 7), se identificaron sus componentes y especificaciones

de implementación y mantenimiento. Luego, se establecieron componentes para cada factor y, una serie de indicadores cuantitativos y cualitativos; que nos permitieron valorar la compatibilidad de los sistemas con las instalaciones y recursos de la escuela. Para cada sistema se realizó una evaluación de factibilidad donde todos factores tienen una valoración máxima (Cuadro 9), y los cuales se explican a continuación (OPS, 2004) (Quevedo, 2013).

Cuadro 9. Factores que afectan la factibilidad de implementación

Factor	Valoración máxima	Descripción
Factibilidad técnica	30	Criterios definidos con el fin de analizar las posibilidades de implementar el sistema y que este funcione.
Factibilidad económica	30	Criterios basados en el costo/beneficio en la implementación del sistema.
Factibilidad socio-ambiental	20	Criterios dirigidos a identificar la relación del beneficio con el objetivo.
Factibilidad institucional	20	Criterios basados en la organización y participación municipal.
Total	100	

(OPS, 2004, Quevedo, 2013, Sur Futuro, 2012)

Resumen de la técnica de valoración y asignación de criterios de valoración

Para determinar el valor final de cada indicador y la compatibilidad que tiene el sistema con la institución se utilizaron “criterios de valoración”. Como puede observarse en los Cuadros 10, 12, 14 y 16 cada factor tiene distintos rangos en los

criterios de valoración y esto debido a que cada factor tiene una valoración máxima establecida (Cuadro 10) y basada en matrices de valoración de proyectos (Sur Futuro, 2012). De la misma forma, dependiendo cuantos indicadores existan, este número debe dividirse entre el puntaje máximo de cada factor.

Ejemplo, el factor técnico tiene una valoración máxima de 30 pts y posee de 11 a 12 indicadores individuales, lo que nos da un 2.5 - 3 como el criterio de valoración más alto para cada indicador, al cual se le ha asignado el criterio de “compatible”. De la misma forma el criterio de valoración más bajo no podría ser cero ya que no proporciona un valor real, por ello, se le asigna el valor de 0.5 al criterio “menos compatible” y; finalmente, como un valor intermedio se le asigna 1.5 al criterio “medianamente compatible”.

5.4.1.a) Factor Técnico

Se utilizó una evaluación cuantitativa y cualitativa para los elementos biofísicos del área, los factores estructurales de la escuela para la captación y almacenamiento (Henneman, 2007) y, para el uso del agua. Para ello, se realizó una visita de campo donde se obtuvo el plano de las instalaciones de la escuela con el fin de representarla gráficamente. Luego se evaluó por medio de una matriz que incluye los componentes e indicadores para cada factor técnico y su valoración de compatibilidad (Cuadro 11). Los factores técnicos son:

- a) *Producción u “oferta” de agua* que está relacionada directamente con la precipitación durante el año y con las variaciones climáticas dentro del municipio, el tamaño y material de construcción de los techos, etc.
- b) *Demanda de agua*: está relacionada con las necesidades y los usos que se le dan al agua.

Se evaluó la compatibilidad de los indicadores con las especificaciones del sistema A y B por medio de “criterios de valoración” (Cuadro 10). El resultado de la valoración fue la suma total de todos los indicadores y para que este sea factible debe sumar al menos el 75%. Con los resultados de la evaluación del factor

técnico se definió si se requiere un sistema de filtros y qué capacidad debe tener el tanque de almacenamiento.

Cuadro 10. Criterios de valoración para el factor técnico

Compatible	2.5 - 3
Medianamente compatible	1.5
Incompatible	0.5

Cuadro 11. Valoración de los componentes del factor técnico

Componente	Indicador	Dato	Valoración
Geografía y geología	Altitud (msnm)		
	Geología de suelos		
Variables climáticas	Precipitación (mm/año)		
	Biotemperatura (°C)		
	Evaporación		
Especificaciones de las instalaciones	Material y construcción del techo		
	Tamaño de construcción del techo		
	Acceso a materiales de construcción		
	Disponibilidad de espacio para sistema de almacenamiento		
Uso y consumo del recurso	Uso del agua (baños, limpieza, uso para alimentos, sistemas de riego, etc.)		
	Consumo real (m ³ /día/hab)		
Capacidad técnica	Personal con capacidad para manejar y mantener el sistema		
Total			

5.4.1.b) Factor Económico

En la evaluación económica es necesario tener presente que en ningún caso la dotación de agua debe permitir satisfacer sus necesidades básicas elementales. Para este factor se evaluó la factibilidad financiera en base al criterio costo/beneficio por medio de elementos cuantitativos y, para ello se realizó una matriz que incluye los componentes del factor y su valoración (Cuadro 13). Se evaluará la compatibilidad de los indicadores con las especificaciones de los sistemas por medio de los “criterios de valoración” (Cuadro 12) y, el resultado de la valoración es la suma total de todos los indicadores y para que este sea factible, de igual forma debe sumar al menos el 75%.

Cuadro 12. Criterios de valoración para el factor económico

Accesible / regular	6
Medianamente accesible / medianamente regular	3
No accesible / no regular	1

Cuadro 13. Valoración de los componentes del factor económico

Componente	Indicador	Dato	Valoración
Suministro actual de agua potable	Estado del sistema de abastecimiento de agua potable		
	Erogación financiera por el servicio de abastecimiento de agua potable (Q./año)		
Costos de implementación y mantenimiento	Costo de instalación (Q./año)		
	Costo de mantenimiento (Q./año)		
	Aportación anual por parte de terceros (Q./año)		
Total			

5.4.1.c) Factor Socioambiental

Para este factor se utilizó una evaluación cualitativa por medio de una matriz de valoración (Cuadro 15), representada por elementos que pudieran afectar la sostenibilidad de este proyecto, tales como: el conocimiento de la captación de agua pluvial, la conveniencia de adoptar soluciones, la disposición y participación, así como apropiarse de él, y proveer el cuidado y mantenimiento que requiere. Se evaluó el factor utilizando la información obtenida en las entrevistas y por medio de los “criterios de valoración” (Cuadro 14). El resultado de la valoración fue la suma de todos los indicadores y para que este sea factible debe sumar el 75%.

Cuadro 14. Criterios de valoración para el factor socio-ambiental

Bastante	5
Poco	2.5
Nada	0.5

Cuadro 15. Valoración de los componentes del factor socio-ambiental

Componente	Dato	Valoración
La población meta es un grupo en situación de vulnerabilidad y pobreza		
El sistema responde a una necesidad		
El sistema contribuye al ahorro de agua potable		
El sistema contribuye a la adaptación ante los cambios de calidad y cantidad del recurso hídrico		
	Total	

5.4.1.d) Factor Institucional

Se utilizó una evaluación cuantitativa para los elementos institucionales de participación y apoyo a proyectos educativos y de desarrollo. Para ello se realizó una matriz que incluye los componentes e indicadores para cada factor institucional (Cuadro 17). Se evaluó el factor utilizando la información obtenida en las entrevistas y por medio de los “criterios de valoración” (Cuadro 16). El resultado de la valoración fue la suma de todos los indicadores y para que este sea factible debe sumar al menos el 75%.

Cuadro 16. Criterios de valoración para el factor institucional

Bastante	5
Poco	2.5
Nada	0.5

Cuadro 17. Valoración de los componentes del factor institucional

Componente	Dato	Valoración
La municipalidad mantiene consistencia entre sus objetivos y sus actividades		
La municipalidad ha participado en la ejecución de proyectos de desarrollo		
La municipalidad tiene experiencia en sistemas de cosecha de agua de lluvia y otros mecanismos de adaptación al Cambio Climático		
La municipalidad aporta financieramente para llevar a cabo proyectos o para mantener las necesidades de la escuela		
	Total	

5.4.1.5 Componentes de los factores

- Factor técnico: hidrología, geología, geografía, variables climáticas, material tamaño de la construcción de los techos, tipo de consumo de agua y consumo real en m³/día/hab.
- Factor económico: estado y erogación financiera actual para el sistema de abastecimiento de agua potable, costos de implementación y mantenimiento del sistema.
- Factor social: hábitos y costumbres, material empleado en fabricación de viviendas, existencia de materiales alternativos de construcción, seguridad y percepción de los sistemas, y; grado de participación comunitaria.
- Factor institucional: voluntad política, proyectos implementados, y grado de participación municipal.

La evaluación fue el resultado de la caracterización del municipio, el diagnóstico de la escuela y la información disponible. Para esta investigación, la propuesta metodológica de evaluación fue flexible y, donde se pudo ampliar el número de indicadores o modificarlos cuando fue necesario.

5.5 Fase 3. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

En base a los resultados y comparaciones de las evaluaciones de factibilidad para el sistema A y el sistema B, se elaboró una propuesta de implementación para el sistema más compatible; que incluye todos los requisitos para su implementación y mantenimiento. Así mismo, incluye una serie de recomendaciones con el fin de que la escuela pueda cambiar o mejorar algunos elementos que afecten la sostenibilidad del sistema a mediano o largo plazo y para el uso y ahorro del agua.

Este documento y propuesta final en forma de documento individual será presentado al director de la escuela, como herramienta de desarrollo sostenible y

adaptación al cambio climático en la escuela y, para que se pueda compartir y replicar el sistema en otra escuela de la comunidad.

5.4.3.1 Modelo de cálculos

En base a la disponibilidad de lluvia en Santa María de Jesús, un área adecuada para captación y la selección de la mejor opción de sistema de captación de agua de lluvia, se presenta a continuación los modelos de cálculos a utilizar:

Precipitación promedio mensual (Ppi)

La precipitación promedio mensual (sin tener en cuenta la evaporación), expresada en mm, equivale a la precipitación promedio mensual y su equivalente en litros por metro cuadrado, pues se requiere de 1mm de agua para mojar 1m² de área (Palacio, 2010).

$$P_{pi} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} P_i}{n}$$

Donde:

P_{pi}: precipitación promedio mensual del mes “i” (mm/mes)

n: número de años evaluados

p_i: valor de precipitación mensual del mes “i”, (mm)

Demanda de agua en el mes (D_i)

La demanda de agua se puede estimar de diferentes maneras, una de ellas, como se plantea en (SAGARPA, 2012):

$$V_a = \frac{RRa * A}{Ef}$$

Donde:

Va: volumen total anual requerido para riego (m^3)

RRa: requerimiento de riego anual cultivo "i" (mm)

A: área de siembra (mts)

Ef: eficiencia de riego (%)

Por lo general esta fórmula es utilizada para parcelamientos extensivos y donde se conocen las características de cada cultivo y sus respectivos coeficientes de evapotranspiración y eficiencia hídrica. De lo contrario, puede considerarse la lámina de riego que necesitan cultivos exigentes (Jorge Flores Velazquéz, 2015).

Oferta de agua al mes (Ai)

Teniendo en cuenta los promedios mensuales de precipitaciones, el material de la superficie de captación y el coeficiente de escorrentía, se procede a determinar la cantidad de agua captada por mes (Palacio, 2010).

$$Ai = \frac{Ppi * Ce * Ac}{1000}$$

Donde:

Ai: oferta de agua en el mes "i" (m^3)

Ppi: precipitación promedio mensual (L/m^2)

Ce: coeficiente de escorrentía

Ac: área de captación (m^2)

En el caso del coeficiente de escorrentía se tiene que para un material como calamina metálica o bien conocida como lámina galvanizada se tiene un coeficiente de 0.85 a 0.90 (OPS, 2003).

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Diagnóstico de la escuela Jardín de Amor

6.1.1 Sistema de abastecimiento de agua

Debido a la irregularidad del abastecimiento del agua en el municipio y con el fin de ahorrar energía eléctrica, la escuela ha ideado un mecanismo de abastecimiento que asegura el agua diaria para las necesidades básicas. El sistema consiste en:

- a. El agua potable llega a la escuela por medio del entubaje municipal (Figura 13), la cual es extraída por pozos de extracción subterránea y por captación pluvial.



Figura 13. Entubaje de agua potable municipal que abastece a la escuela Jardín de Amor (Fotografía: Jezyka Gonzalez)

- b. El alcantarillado municipal se conecta a una cisterna por medio de una llave y contador (Figura 14). La cisterna posee una capacidad de 16,000lts (16m³) (Figura 15) y una bomba eléctrica que envía el agua hacia un tanque *rotoplast* con una capacidad de 2,500lts, ubicado en la terraza de las instalaciones, a aproximadamente 5-6mts de altura (Figura 16).



Figura 14. Llave y contador del sistema municipal de agua potable de la escuela Jardín de Amor (Fotografía: Jezyka Gonzalez)



Figura 15. Cisterna de 16,000 lts de la escuela Jardín de Amor (Fotografía: Jezyka Gonzalez)



Figura 16. Tanque de almacenamiento de 2,500 litros, filtro y distribución (Fotografía: Jezyka Gonzalez)

- c. Finalmente, por la calidad del agua, esta pasa por un filtro simple y es distribuida por gravedad hacia los sanitarios, la cocina y los chorros del patio (Figura 17). De no utilizar la gravedad la escuela tendría que bombear el agua todo el día lo que incrementa los costos por energía eléctrica.



Figura 17. Línea de distribución de agua potable por gravedad (Fotografía: Jezyka Gonzalez)

6.1.2 Oferta y demanda de agua en la escuela

Cuadro 18. Oferta y demanda de agua potable diaria y mensual de la escuela Jardín de Amor

OFERTA PLUVIAL		DEMANDA		
Oferta real	Cantidad (mm)	Consumo real	Cant. personas	Cantidad (lt)
Mensual	118.92	Diaria	114	1,000
Anual	1,427	Mensual	116	20,000

En la escuela hay 105 niños divididos en dos jornadas, matutina y vespertina, aproximadamente 60 en la jornada vespertina y 40 en la jornada matutina, sumado a eso 9 trabajadores entre maestros y encargados de tiempo completo y aproximadamente 2 voluntarios al mes. Tomando en cuenta que en ningún caso la dotación de agua debe ser menor a 20 litros de agua al día por persona e idealmente para un alumnado externo debería de ser de 40 litros de agua al día, la misma que permite satisfacer sus necesidades básicas elementales (Aguirre, 2016).

Los datos presentados son datos exactos de la cantidad de agua potable que se utiliza en la escuela (Cuadro 18), y para lo cual se obtiene que idealmente se debería de disponer como mínimo 2,320lts al día, por lo que se infiere que el agua que actualmente se tiene no responde a la dotación mínima, sin embargo, en base a la información, lo que se posee es suficiente para cubrir las necesidades mínimas de la escuela.

6.2 Evaluación de factibilidad

6.2.1 Descripción de las alternativas

Para la evaluación de factibilidad se han elegido dos tipos de sistema diferentes: el sistema de tipo vivienda y el sistema para uso agrícola (2.2.1 Sistemas de Captación de Agua Pluvial), los cuales se describen a continuación:

6.2.1.1 Sistema de tipo vivienda

En la captación del agua de lluvia con fines domésticos se acostumbra a utilizar la superficie del techo como captación, conociéndose a este modelo como SCAPT (sistema de captación de agua pluvial en techos) (Figura 18). Los SCAPT en casas y edificios, dependen de la capacidad de almacenamiento y varía de acuerdo al área de captación y el tamaño del recipiente de almacenamiento. Sus especificaciones son (Quevedo, 2013):

Componentes

- a) Área de captación
- b) Sistema de canaletas
- c) Interceptor
- d) Almacenamiento
- e) Distribución
- f) Filtros

Especificaciones

(a) El material de la construcción del techo debe no debe desprender ningún tipo de contaminante, es preferible que sea 100% impermeable, (b) se requiere de una estructura que soporte el volumen de los recipientes de almacenamiento (c), el potencial de captación debe igualar el potencial de almacenamiento, o deberá considerarse un sistema de rebalse (d) el lugar debe poseer oferta de agua pluvial regular y alta para poder satisfacer la demanda, (e) se deberá considerar la calidad del agua pluvial y un sistema de filtros (Quevedo, 2013).

Mantenimiento

El mantenimiento debe darse antes y después de la época lluviosa. Antes de la temporada se debe realizar una inspección del estado del techo y los sistemas de canaletas y; limpiar los filtros y el tanque de almacenamiento. El monitoreo debe darse durante la época lluviosa con el fin de detectar fugas o escurrimientos y repararlos. Finalmente debe considerarse realizar al menos un estudio del agua de lluvia, antes y después de pasar por un filtro, si se tuviese (Quevedo, 2013).

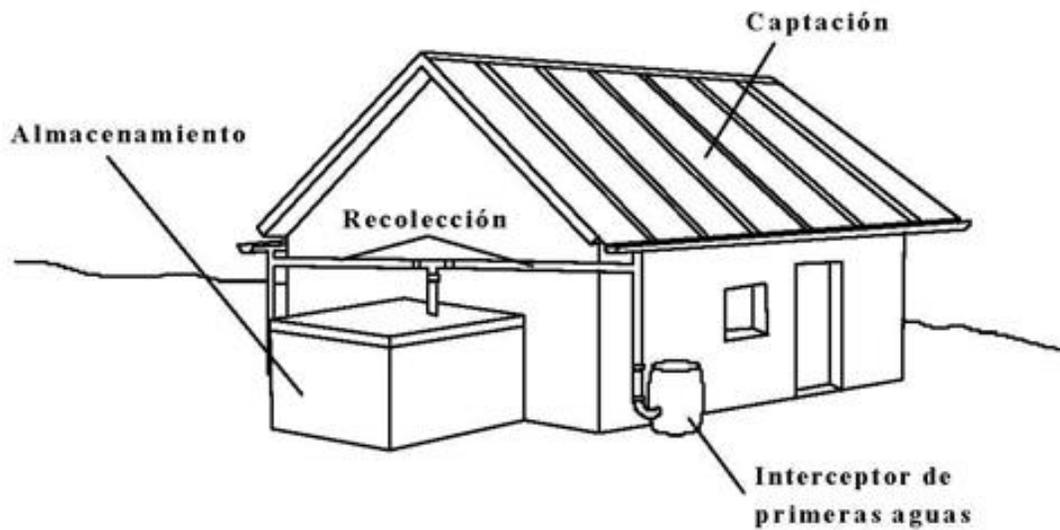


Figura 18. Sistema de captación de agua pluvial de tipo vivienda y sus componentes (Organización Panamericana de Salud, 2003)

6.2.1.2 Sistema para agricultura

Es una alternativa tecnológica de microcaptación que permite captar y almacenar agua que puede ser usada para fines que el productor estime conveniente. Por lo general, son reservorios de agua contruidos con diferentes tipos de material y de formas diversas. Generalmente este tipo de sistemas almacenan agua para pequeños usos, como el abrevadero de animales de corral y huertos caseros; en este último, cuando se planea utilizar para riego, se necesitan estructuras de almacenamiento para regular adecuadamente el uso en diferentes periodos de consumo del cultivo (Figura 19). Los volúmenes almacenados pueden alcanzar hasta unos 50 m³; sin embargo, los diseños económicamente más factibles están por debajo de los 20 m³ (Tavico y Zúñiga., 2014).

Componentes

- a) Área de captación
- b) Almacenamiento
- c) Sistema de riego

Especificaciones

(a) El material de la construcción del techo debe no debe desprender ningún tipo de contaminante, es preferible que sea 100% impermeable, (b) se debe considerar la calidad del agua de lluvia y si es necesario un sistema de filtro orgánico (c), el sistema debe tener una estructura movable (d) en grandes extensiones de cultivo es necesario considerar la demanda de agua de las plantas (Tavico y Zúñiga., 2014).

Mantenimiento

El mantenimiento es similar al sistema de tipo vivienda, sin embargo presenta menores costos por ser un sistema más simple (Tavico y Zúñiga., 2014) .



Figura 19. Sistema de captación de agua pluvial de tipo agricultura para riego (Tavico y Zúñica,2014)

6.2.2 Descripción del sistema de evaluación

Los aspectos técnicos, económicos, socio-ambientales e institucionales fueron evaluados según el diagnóstico y caracterización de la escuela Jardín de Amor y el sistema de abastecimiento de agua potable y; en base a criterios propios y profesionales. Todos los aspectos evaluados representan la posibilidad de implementar alguno de los sistemas propuestos, así mismo determinan, en buena medida, los elementos claves que se deben fortalecer si se desea utilizar alguno.

6.2.3 Aspectos técnicos

A continuación se presenta el cuadro de evaluación técnica para el sistema de tipo vivienda, los componentes e indicadores elegidos representan las variables que deben tomarse en cuenta para implementar este tipo de sistema.

Cuadro 19. Evaluación técnica del sistema de tipo vivienda

Alternativa A: Sistema de tipo vivienda			
Componente	Indicador	Dato	Valoración
Geografía y geología	Altitud (msnm)	2,065	3
Variables climáticas	Precipitación (mm/año)	1,221	3
	Biotemperatura (°C)	15-23	3
Especificaciones de las instalaciones	Material y construcción del techo	Lámina galvanizada	3
	Tamaño de construcción del techo	Lado norte: 39.2 m ² Lado sur: 53.87 m ² Total: 93.07 m ²	3

	Acceso a materiales de construcción	Poco	0.5
	Disponibilidad de espacio para sistema de almacenamiento	Alto	3
Uso y consumo del recurso	Uso del agua	Baños, limpieza y cocina	3
	Consumo real (lt/día)	1,000	3
Capacidad técnica	Personal con capacidad para manejar y mantener el sistema	Poco	0.5
Total			22
Total en porcentaje			73%

Del Cuadro 19 se obtiene como resultado que el sistema de tipo vivienda es compatible en un 73% con la ubicación e instalaciones de la escuela (Cuadro 19). Aproximadamente se obtienen 1, 221 mm de lluvia anual y, considerando que 1mm de lluvia en 1m² representan 1 litro de agua (Gerbiez, 2009); las instalaciones de la escuela tienen la capacidad de captar aproximadamente 113,638 litros de agua anual (ver Figura 30). Sin embargo, ya que la calidad del agua que llega a la escuela es regular, si se requiere de un sistema de filtros para poder ser utilizada, lo que a la vez aumenta los costos de instalación y mantenimiento.

A continuación se presenta el cuadro de evaluación técnica para el sistema para agricultura y riego, los componentes e indicadores elegidos representan las variables que deben tomarse en cuenta para implementar este tipo de sistema.

Cuadro 20. Evaluación técnica del sistema para agricultura y riego

Alternativa B: Sistema para riego y agricultura			
Componente	Indicador	Dato	Valoración
Geografía y geología	Altitud (msnm)	2,065	2.5
	Geología de suelos	Suelos volcánicos, bien drenados, textura franca arenosa	2.5
VARIABLES CLIMÁTICAS	Precipitación (mm/año)	1,221	2.5
	Biotemperatura (°C)	15-23	2.5
	Evaporación	-99	2.5
Especificaciones del terreno	Tamaño del terreno para cultivar	272 m ²	2.5
	Acceso a materiales de construcción	Poco	1.5
	Disponibilidad de espacio para sistema de almacenamiento	9 m ²	2.5
	Seguridad	Medio	1.5
Uso y consumo del recurso	Uso del agua	Riego	2.5
	Consumo real (lts/mes)	En verano: 2,400	2.5
Capacidad técnica	Personal con capacidad mantener el sistema	Alto	2.5
Total			28
Total en porcentaje			93%

Se obtiene como resultado que el sistema para riego y agricultura es compatible en un 93% con la ubicación y tamaño del terreno de la huerta escolar (Cuadro 20). Se obtiene que aproximadamente se obtienen 1, 221 mm de lluvia anualmente y, considerando que 1mm de lluvia en 1m² representan 1 litro de agua (Gerbiez, 2009); se infiere con un sistema que posea un área de captación de 6mts² se tiene la capacidad de captar 8,562 litros de agua anualmente.

6.2.4 Aspectos económicos

A continuación se presenta el cuadro de evaluación económica para el sistema de tipo vivienda:

Cuadro 21. Evaluación económica del sistema de tipo vivienda

Alternativa A: Sistema de tipo vivienda			
Componente	Indicador	Dato	Valoración
Suministro actual de agua potable	Estado del sistema de abastecimiento de agua potable	Regular	6
	Erogación financiera por el servicio de abastecimiento de agua potable (Q./año)	Q.50 mensuales sin límite	6
Costos de implementación y mantenimiento	Costo de instalación (Q.)	Q.10,000 - Q.15,000	1
	Costo de mantenimiento (Q./año)	Q. 1,500	1
	Aportación anual por parte de terceros (Q./año)	Poca	3
Total			17
Total en porcentaje			56%

El costo/beneficio del sistema de tipo vivienda es bajo, representado por un 56% de factibilidad económica, además no representa ningún ahorro económico (Cuadro 21). Por lo general estos tipos de sistema presentan costos de instalación y mantenimiento más elevado que otros, derivado principalmente de componentes que lleva y el nivel de tecnificación que presenta.

A continuación se presenta el cuadro de evaluación económica del sistema para riego y agricultura:

Cuadro 22. Evaluación económica del sistema para agricultura y riego

Alternativa B: Sistema para agricultura y riego			
Componente	Indicador	Dato	Valoración
Suministro actual de agua potable	Estado del sistema de abastecimiento de agua potable	Regular	6
	Erogación financiera por el servicio de abastecimiento de agua potable (Q./año)	Q.50 mensuales sin límite	6
Costos de implementación y mantenimiento	Costo de instalación (Q.)	Q.5,000	3
	Costo de mantenimiento (Q./año)	Q. 500	6
	Aportación anual por parte de terceros (Q./año)	Poca	3
Total			24
Total en porcentaje			80%

Fuente: Elaboración propia

El costo/beneficio del sistema para agricultura y riego está representado por un 80% de factibilidad económica (Cuadro 22). Este tipo de sistema no representa ningún ahorro económico mensual, sin embargo, dentro de la escuela es una alternativa de bajo costo y fácil mantenimiento que puede ser utilizada para riego de hortalizas en huertos familiares y escolares en las zonas rurales.

6.2.5 Aspectos socio-ambientales

A continuación se presenta el cuadro de evaluación socio-ambiental para el sistema de tipo vivienda:

Cuadro 23. Evaluación socio-ambiental del sistema de tipo vivienda

Alternativa A: Sistema de tipo vivienda		
Componente	Dato	Valoración
La población meta es un grupo en situación de vulnerabilidad y pobreza	Bastante	5
El sistema responde a una necesidad	Bastante	5
El sistema contribuye al ahorro de agua potable	Bastante	5
El sistema contribuye a la adaptación ante los cambios de calidad y cantidad del recurso hídrico	Bastante	5
Total		20
Total en porcentaje		100%

Se tiene como resultado que el sistema de tipo vivienda es una alternativa factible social y ambientalmente, representado por un 100% de factibilidad (Cuadro 23) ya que el sistema de tipo vivienda es una alternativa que contribuye al ahorro del agua potable y a sobrellevar la escases del agua; además, en base al diagnóstico realizado (inciso 6.1), muchas familias de la comunidad poseen sistemas de tipo vivienda pero menos tecnificados.

A continuación se presenta el cuadro de evaluación socio-ambiental del sistema para agricultura y riego:

Cuadro 24. Evaluación socio-ambiental del sistema para agricultura y riego

Alternativa B: Sistema para agricultura		
Componente	Dato	Valoración
La población meta es un grupo en situación de vulnerabilidad y pobreza	Bastante	5
El sistema responde a una necesidad	Bastante	5
El sistema contribuye al ahorro de agua potable	Poco	2
El sistema contribuye a la adaptación ante los cambios de calidad y cantidad del recurso hídrico	Bastante	5
Total		17
Total en porcentaje		56%

Se tiene como resultado que el sistema para agricultura y riego es una alternativa factible social y ambientalmente, representada por un 56% de factibilidad (Cuadro 24), este tipo de sistema contribuye a la sostenibilidad del proyecto educativo aportando agua para el riego de las hortalizas de la huerta escolar. Este sistema no contribuye a un ahorro representativo del agua potable, sin embargo, permite eliminar el trabajo de transporte de agua desde las instalaciones hacia el terreno y; además, permite que haya más disponibilidad de agua para ser utilizada dentro de la escuela para las necesidades domésticas.

6.2.6 Aspectos institucionales

A continuación se presenta el cuadro de evaluación institucional del sistema de tipo vivienda:

Cuadro 25. Evaluación institucional del sistema de tipo vivienda

Alternativa A: Sistema de tipo vivienda		
Componente	Dato	Valoración
La municipalidad mantiene consistencia entre sus objetivos y sus actividades	Nada	1
La municipalidad ha participado en la ejecución de proyectos de desarrollo y vivienda	Poco	2.5
La municipalidad tiene experiencia en sistemas de cosecha de agua de lluvia para el abastecimiento de agua potable	Bastante	5
La municipalidad aporta financieramente para llevar a cabo proyectos o para mantener las necesidades de la escuela	Nada	1
Total		9.5
Total en porcentaje		47.5%

Como se muestra en la evaluación, existe poca participación institucional e implementación de proyectos de desarrollo y vivienda dentro del municipio, así mismo la participación y apoyo para la escuela es nula; sin embargo posee conocimientos sobre captación de agua pluvial, ya que es un mecanismo de abastecimiento dentro de algunos de los cantones del municipio, por lo que este sistema posee un 47.5% de factibilidad institucional (Cuadro 25).

A continuación se presenta el cuadro de evaluación institucional del sistema para agricultura y riego:

Cuadro 26. Evaluación institucional del sistema para agricultura y riego

Alternativa B: Sistema para agricultura		
Componente	Dato	Valoración
La municipalidad mantiene consistencia entre sus objetivos y sus actividades en el sector agrícola	Poco	2.5
La municipalidad ha participado en la ejecución de proyectos de desarrollo agrícola	Poco	2.5
La municipalidad tiene experiencia en sistemas de cosecha de agua de lluvia para agricultura	Nada	1
La municipalidad aporta financieramente para llevar a cabo proyectos o para mantener las necesidades de la escuela	Nada	1
Total		7
Total en porcentaje		27.5%

Como se muestra en la evaluación, no existe participación institucional ni implementación de proyectos de desarrollo en el sector agrícola para la adaptación al cambio climático, a pesar que es de las fuentes principales de ingreso y; así como se presenta en el Cuadro 24, la participación y apoyo para la escuela es nula y está representado por un 27.5% de factibilidad (Cuadro 26).

6.3 Análisis de datos

Tomando como base el conocimiento disponible en relación a las características de cada tipo de estructura de almacenamiento y las exigencias de cada finalidad de uso, a continuación resumen los criterios para la selección del sistema de almacenamiento de agua más adecuado considerando las situaciones locales. El sistema ideal es aquel que cumple con los siguientes requisitos:

- Responde a las necesidades del tipo de uso (doméstico o agrícola) en términos de volumen almacenado y de calidad de agua requerida en cada caso.
- Permite mantener y hasta mejorar el abastecimiento de agua.
- Es segura y ofrece facilidades de manejo y mantenimiento.
- Es de bajo costo y fácil de construir.

A continuación se presenta la síntesis de la evaluación de factibilidad del sistema de tipo vivienda:

Cuadro 27. Síntesis de la evaluación de factibilidad del sistema de tipo vivienda

Alternativa A: Sistema de tipo vivienda		
Factor	Valoración	Descripción
Factibilidad técnica	22	Criterios definidos con el fin de analizar las posibilidades de implementar el sistema y que este funcione.
Factibilidad económica	17	Criterios basados en el costo/beneficio en la implementación del sistema.
Factibilidad socio-ambiental	20	Criterios dirigidos a identificar la relación del beneficio con el objetivo.
Factibilidad institucional	9.5	Criterios basados en la organización municipal y la participación comunitaria.
Total	68.5	

El sistema de tipo vivienda presenta un 68.5% de factibilidad en su implementación, derivado principalmente de los bajos resultados en los aspectos económicos e institucionales (Cuadro 27). Los sistemas de tipo vivienda presentan altos costos de implementación y mantenimiento por el uso que se le da al agua y el tipo de tecnología que se necesita, y; tomando en cuenta que la escuela no cuenta con financiamiento propio para implementar proyectos de este tipo, que el sistema de abastecimiento actual ha mejorado y si logra satisfacer las necesidades de la escuela, este tipo de sistema no es factible de implementar. A continuación se presenta la síntesis de la evaluación de factibilidad del sistema para agricultura y riego:

Cuadro 28. Síntesis de la evaluación de factibilidad del sistema para agricultura y riego

Alternativa B: Sistema para agricultura		
Factor	Valoración	Descripción
Factibilidad técnica	28	Criterios definidos con el fin de analizar las posibilidades de implementar el sistema y que este funcione.
Factibilidad económica	24	Criterios basados en el costo/beneficio en la implementación del sistema.
Factibilidad socio-ambiental	17	Criterios dirigidos a identificar la relación del beneficio con el objetivo.
Factibilidad institucional	7	Criterios basados en la organización municipal y la participación comunitaria.
Total	76	

En base a los resultados presentados, el sistema para agricultura y riego presenta un 76% de factibilidad en su implementación, derivado principalmente de los bajos costos de instalación y mantenimiento (Cuadro 28). Los sistemas este tipo son actualmente utilizados para proveer de agua a agricultores de subsistencia en

distintas zonas del país. Son considerados un mecanismo de autosostenibilidad y; esta característica es de suma importancia para la escuela.

7. PROPUESTA “Sistema de cosecha de lluvia para el Huerto Ecológico de la Escuela Jardín De Amor”

La selección del sistema B para uso agrícola se fundamentó principalmente en el diagnóstico realizado en la escuela, la evaluación de factibilidad y las opiniones recibidas dentro de los diálogos del proceso participativo. A pesar que ambas alternativas permiten hacer frente a la problemática actual y su implementación es factible a nivel técnico, el equipo de la escuela consideró que; por mejoras que realiza año con año el gobierno local en el sistema de abastecimiento y saneamiento; por ahora no es necesario, ni es posible económicamente, implementar un sistema de tipo vivienda en las instalaciones. Por el contrario, consideran importante mejorar la productividad del huerto escolar, ya que es un proyecto fuerte, importante y prioritario dentro de la institución para mejorar la dieta de los alumnos y aportar a su seguridad alimentaria.

6.4.1 Valores de precipitación, oferta y demanda de agua por mes

Tomando en cuenta las siguientes consideraciones y, en base al modelo de cálculos (inciso 5.5):

- Un área de captación de 6m²
- Un área de captación lámina galvanizada
- Un área de cultivo de 272 m² (ver Figura 31)
- Una lámina de riego de 5mm diarios que implica 5lt/m²/día (Jorge Flores Velazquéz, 2015)

A continuación, en el Cuadro 29 se presentan los valores de oferta y demanda para el huerto escolar ecológico en la Escuela Jardín de Amor:

Cuadro 29. Valores anuales y netos de la precipitación, oferta y demanda de agua mensual en el huerto ecológico de la Escuela Jardín de Amor

Mes	Dias del mes	Ppi (mm)	Ppi (lt/m2)	Di (lts)	Ai (lts)
Enero	31.00	5.00	30.00	29,140.00	156.60
Febrero	29.00	6.00	36.00	27,260.00	187.92
Marzo	30.00	7.00	42.00	28,200.00	219.24
Abril	31.00	39.00	234.00	29,140.00	1,221.48
Mayo	30.00	141.00	846.00	28,200.00	4,416.12
Junio	31.00	302.00	1,812.00	29,140.00	9,458.64
Julio	30.00	231.00	1,386.00	28,200.00	7,234.92
Agosto	31.00	201.00	1,206.00	29,140.00	6,295.32
Septiembre	30.00	287.00	1,722.00	28,200.00	8,988.84
Octubre	31.00	163.00	978.00	29,140.00	5,105.16
Noviembre	30.00	34.00	204.00	28,200.00	1,064.88
Diciembre	31.00	11.00	66.00	29,140.00	344.52
Total anual	365.00	1,427.00	8,562.00	343,100.00	44,693.64
Total real	--	--	7,950.00	171,080.00	41,499.00

Los valores promedio anuales de precipitación fueron obtenidos de fuentes secundarias, y las cuales utilizan información satelital y, de las estaciones climáticas más cercanas al municipio. En este caso la estación mas cercana al área estudiada es la estación de la Red Hidromet del INSIVUMEH ubicada en el municipio de Antigua Guatemala a aproximadamente 11km de distancia del municipio Santa María de Jesus (INSIVUMEH, 2017). Por otro lado, según (Franco, 2015) los datos presentados por el INSIVUMEH son generales y desactualizados y, no permiten a comprender la variabilidad y realidad climática del país y específicamente de la región central.

Por ello, es fundamental considerar que estos valores poseen un alto margen de error y pueden variar estadísticamente. En este sentido, se debe considerar que la oferta de precipitación es un dato aproximado, muy cercano a la realidad y; puede cambiar positiva o negativamente en función de los datos obtenidos y por la influencia de el cambio climático dentro de la región.

En base a la oferta y demanda promedio mensual y anual de agua para el huerto escolar ecológico se obtiene que el sistema de cosecha de agua de lluvia podría aportar aproximadamente un 25% del total, tomando en cuenta el tamaño de la estructura del sistema y siembras de cultivos de alto rendimiento y demanda de agua (Cuadro 29). La demanda de agua y disponibilidad para un huerto escolar son factores determinantes para el desarrollo de las plantas y la productividad de la parcela, por ello a pesar que el sistema no cubre la demanda total de agua puede aportar a la demanda del recurso en la época de verano y mejorar la productividad que se tiene actualmente durante esa época.

Ya que el sistema no es capaz de cubrir el 100% de la demanda de agua del huerto, esta puede ser reducida hasta en un 67% con la planificación agrícola, el uso de sistemas de riego tecnificados e invernaderos y, con la aplicación de técnicas bio-intensivas tales como: el uso de cubre suelos orgánicos, la siembra cercana, la doble excavación, y, la rotación y asociación de cultivos; que permiten mejorar el rendimiento de los huertos, disminuyendo la demanda de agua y mejorando su circulación, manteniendo la humedad en los cultivos (Centro Agroecológico Las Cañadas, 2016) (Jeavons y Cox, 2010).

6.4.2 Especificaciones del sistema

6.4.3.1 Construcción

A continuación se muestran los costos para la construcción e instalación del sistema de cosecha de agua de lluvia para el huerto escolar en la escuela Jardín de Amor (Cuadro 30):

Cuadro 30. Costo total aproximado del sistema con sus diferentes modalidades

Tipo de sistema	Costo total
Sistema de madera con tanque de almacenamiento (2,500lt)	Q. 5, 589.20
Sistema de metal con tanque de almacenamiento (2,500lt)	Q. 5, 514.20
Sistema de madera con tanque de almacenamiento	Q. 12, 869.70

(5,500lt)	
Sistema de metal con tanque de almacenamiento (5,500lt)	Q. 12, 944.70

(Tavico y Zúñiga., 2014)

El sistema de cosecha de agua de lluvia para el huerto ecológico difiere en sus costos totales dependiendo del material con el que se desee construir la estructura y la capacidad del tanque de almacenamiento, séase madera de pino o costaneras de metal y, tanques de almacenamiento de 2,500lts o 5,500 lts. Por falta de un financiamiento fuerte y formal se infiere que la mejor opción es la de menor costo, con un total de Q.5, 514.20, el cual puede variar dependiendo del tipo de proveedores, su localización y el transporte de materiales o flete.

Se debe considerar que los costos presentados no incluyen: los costos de transporte del material, tierra para el terraplén y, los costos de mantenimientos ya que se considera que puede ser una labor realizada por los empleados de la escuela con el fin de no incrementar los costos anuales que posee actualmente la organización. Por otro lado, si se desea utilizar un sistema de riego eficiente y tecnificado se debe considerar su precio en el costo total.

A continuación en el Cuadro 31 los costos de un sistema de riego (Cuadro 31):

Cuadro 31. Sistemas tecnificados y su costo total

Material	Cantidad	Precio	Costo total
Manguera de poliducto de 10mts	1	Q.30.00	Q.30.00
Cintas de goteo de 24mts	7	Q10.00	Q70.00
Conexión para cinta de goteo	7	Q.5.00	Q.35.00
Macro túnel invernadero de 13 mts	1	Q.454.00	Q.454.00
			Q.589.00

(Vista Volcanes, S.A., 2016)

6.4.3.2 Instalación

La estructura para captar el agua de lluvia, tiene la apariencia de una caseta con techo de un parte agua con cuatro patas y un canal colector (Figura 20 y Figura 22).

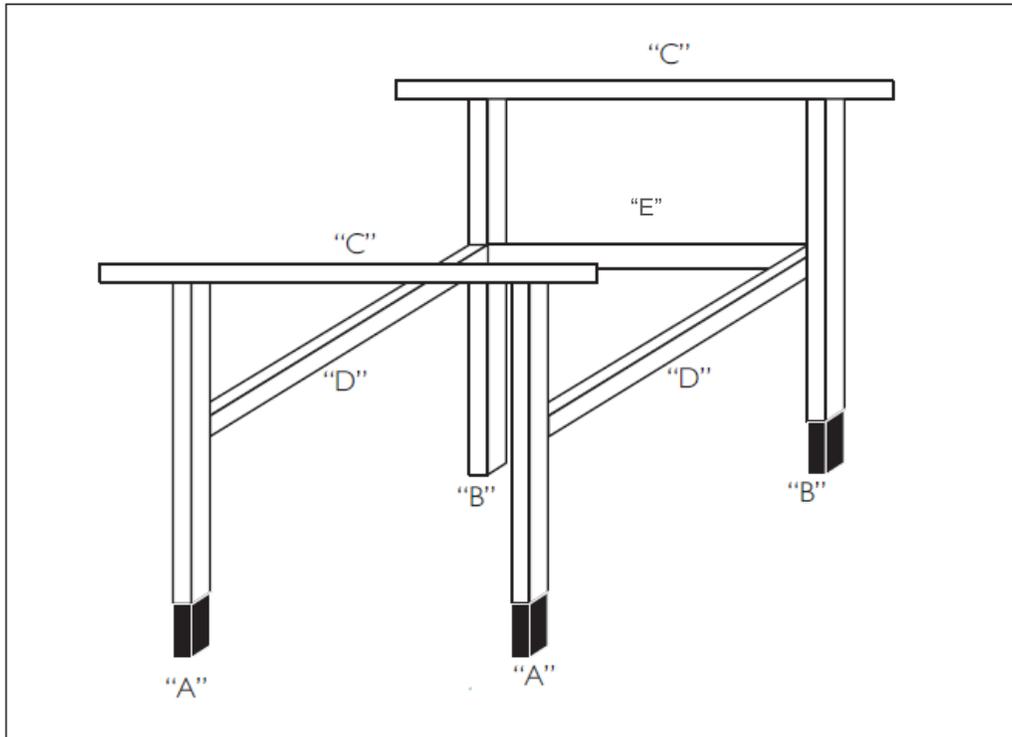


Figura 20. Construcción de la caseta y ubicación de las reglas A, B, C, D y E (Tavico y Zúñiga, 2014)

Para construir el captador, se debe de iniciar con curar la madera de pino u otra clase, o bien comprarla ya curada. Días antes de la construcción de la estructura se debe de pintar las reglas de madera con suficiente aceite quemado, de tal forma que de tiempo que la madera absorba el aceite y se seque al sol. Por otro lado, el sitio donde se ubicara la estructura de captación y el tanque de plástico, debe de quedar en la parte más alta del terreno (Figura 21), lo que garantice que el agua fluya por gravedad y se pueda regar sin dificultad, además debe de aplanar lo más posible el espacio ya que la estructura debe de quedar bien nivelada (Tavico y Zúñiga., 2014).



Figura 21. Selección del área para la ubicación del sistema

Es necesario que las reglas “A” queden a 2.15 metros sobre el nivel del suelo, el resto de la madera debe de quedar enterrado. Las reglas “B” deben de quedar 2.30 metros sobre el nivel del suelo y el resto debe de quedar enterrado (Tavico y Zúñiga., 2014), lo que permite una diferencia de altura de 15 centímetros entre las columnas; con esto el agua de lluvia corre por gravedad sobre las láminas hacia el canal de recolección (las partes enterradas de las patas se muestran de color negro en la Figura 20. Ya que la pendiente que se tiene no supera los 10cm de diferencia, se requiere de un terraplén, para levantar su nivel y formar un plano de apoyo adecuado la estructura.

Una vez terminada la estructura de madera, se procede a colocar las láminas de zinc, colocando una a la par de la otra, con al menos un canal de traslape y clavándolas sobre las reglas “C” con clavos de lámina. Por último se coloca el canal de lámina de zinc, del lado que quedo más bajo de la lámina (Figura 22), para lo que se requieren las abrazaderas de hierro las cuales se sujetan a las

reglas de madera, de tal forma que al colocar el canal sobre las abrazaderas, se asegure que el agua caerá al centro del canal y no se pierda (Tavico y Zúñiga., 2014). Además se debe perforar un agujero en la canaleta para adapta el tubo conductor de 20cm.

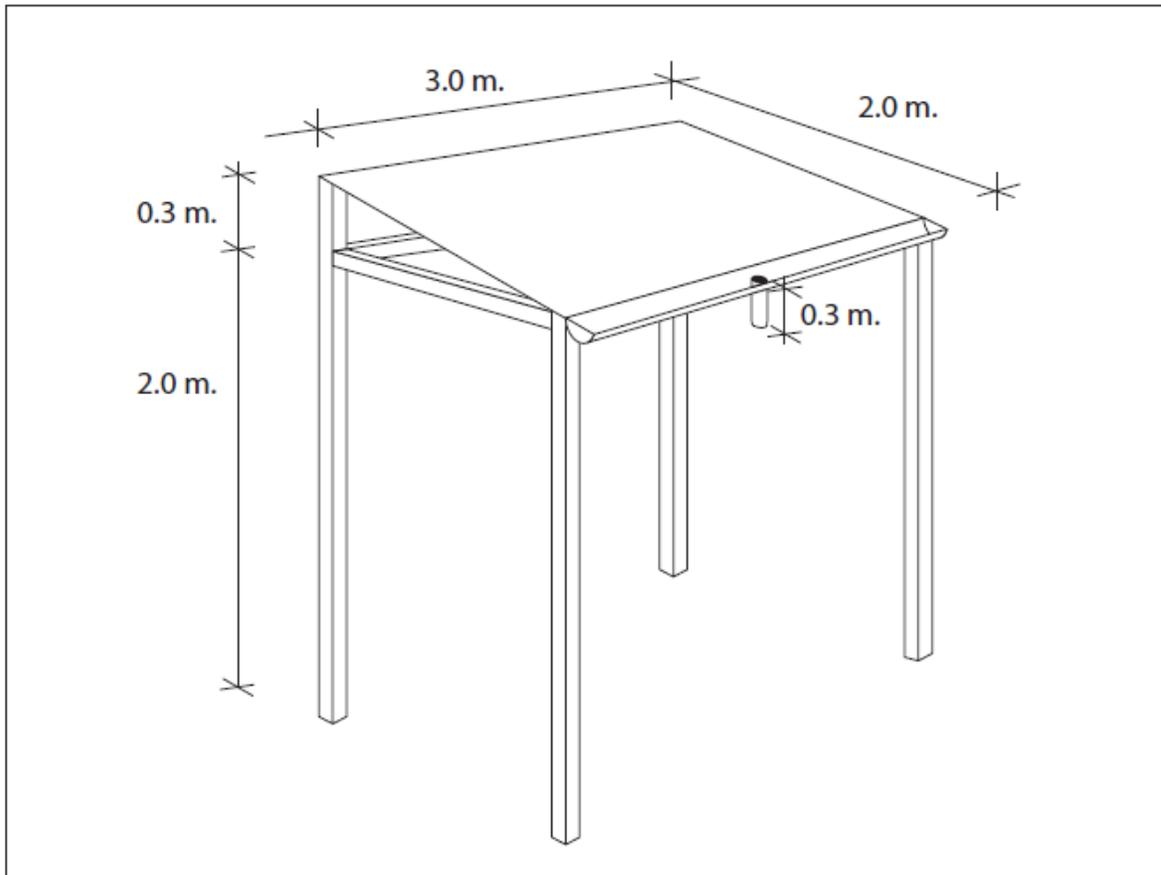


Figura 22. Captador de agua pluvial con medidas en metros (Tavico y Zúñiga, 2014)

Para la instalación completa, se debe hacer al tanque plástico rotoplast un agujero de 3 pulgadas de diámetro en la parte superior y colocar un adaptador para meter el tubo de 20 centímetros que recibe el agua del captador y de esa forma almacenar el agua de lluvia (Figura 23). Se debe de comprar adaptadores de PVC que adapten el agujero de entrada y salida del tanque plástico y; conectar este último a una llave de paso y que al mismo tiempo se conecte con el sistema de riego a utilizar (Figura 24 y Figura 25) (Tavico y Zúñiga., 2014).

Los agujeros de salida pueden tener diámetros de 1, 1 ½, 2 y más pulgadas de diámetro, por lo que se debe de tener los adaptadores adecuados para el sistema de riego. En este caso, el diámetro de salida del tanque es de 2 pulgadas, por lo que se debe utilizar un adaptador de 2 pulgadas y un reductor para tubo de PVC, codos, y una llave de paso de metal para ese diámetro (Tavico y Zúñiga., 2014).

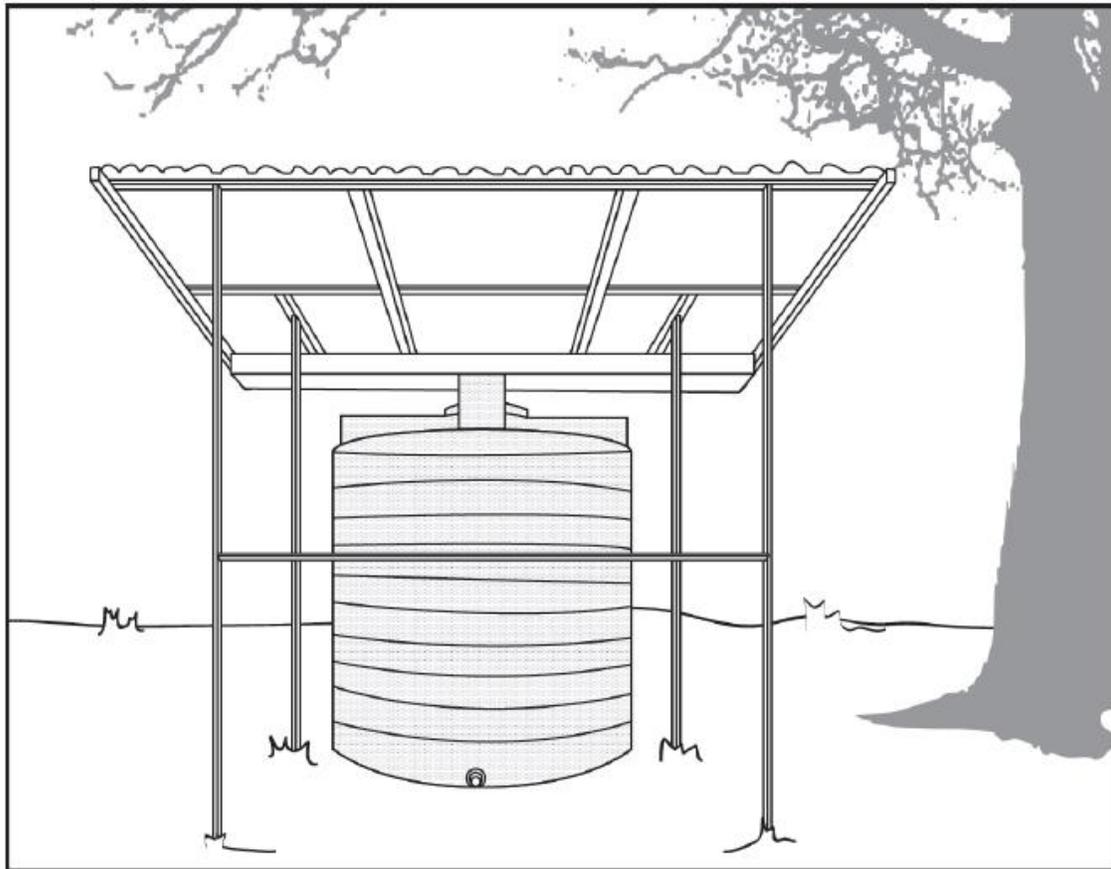


Figura 23. Colocación del tanque rotoplast con capacidad de 2,500lts (Tavico y Zúñiga, 2014)

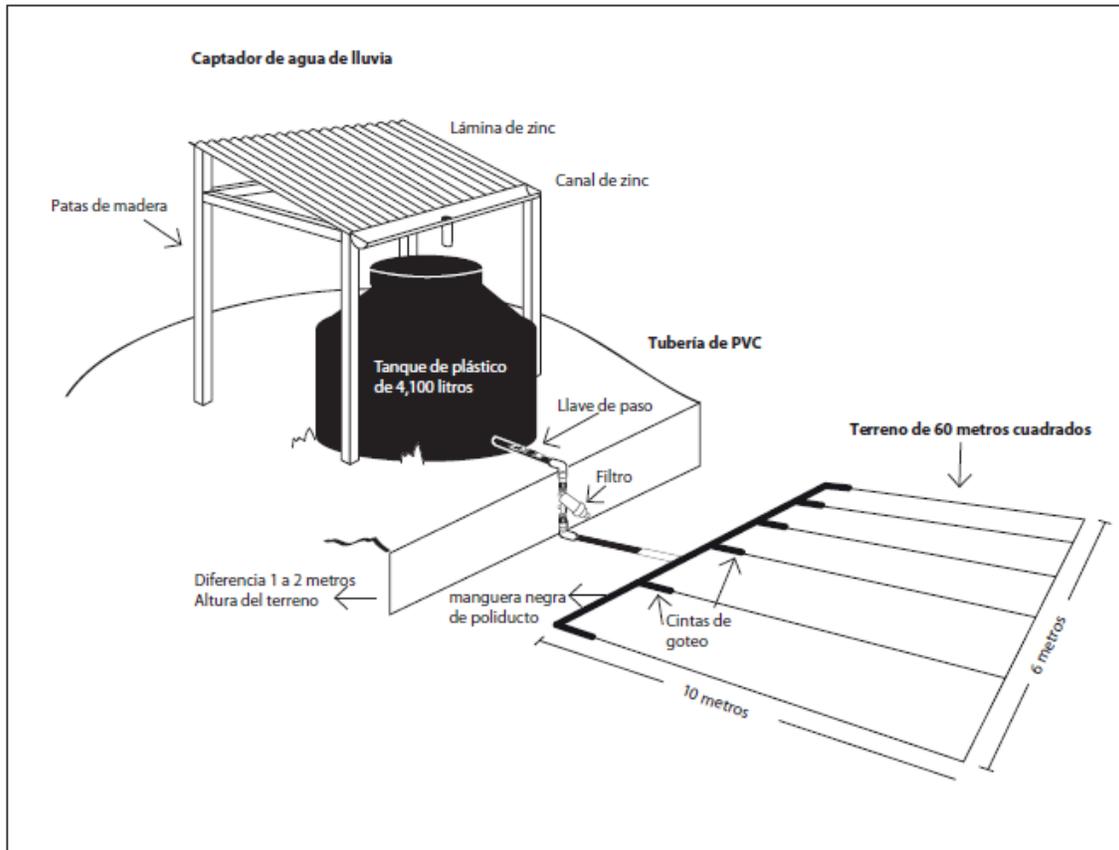


Figura 24. Esquema del sistema de cosecha de agua de lluvia conectado a un sistema de riego por goteo en un huerto de 60m² (Tavico y Zúñiga, 2014)

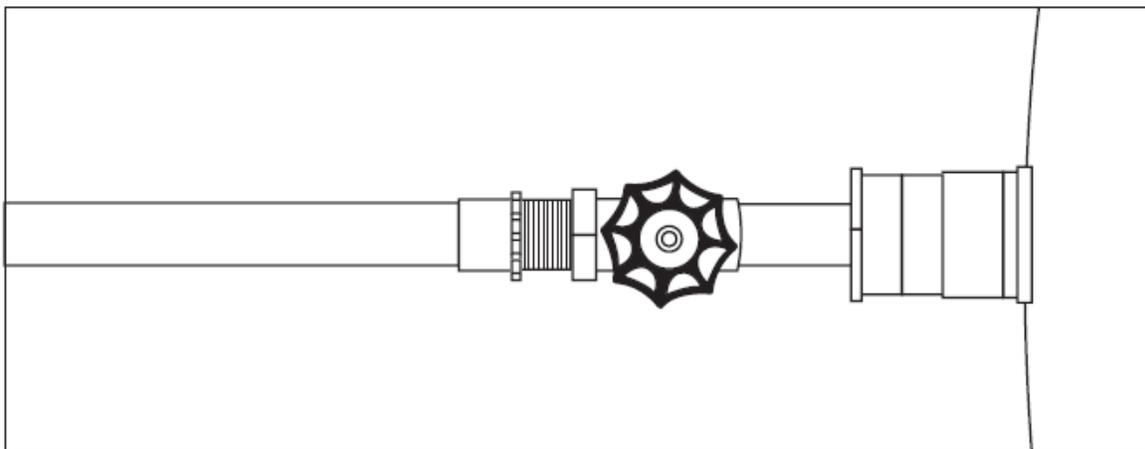


Figura 25. Adaptador de rosca en la salida del tanque, llave de paso y tubo PVC (Tavico y Zúñiga, 2014)

6.4.3.3 Mantenimiento

El mantenimiento del sistema de cosecha de agua de lluvia tiene como objetivos:

- a. Proteger la inversión, conservando y prolongando la vida útil del sistema, su estructura y componentes y,
- b. Disminuir el deterioro de la estructura, evitando al máximo la reposición de componentes del sistema.

Para cumplir con estos objetivos se deben realizar las siguientes actividades de mantenimiento (ONU, 2011):

1. Lavar el techo del sistema dos veces por año, iniciando en el mes de mayo antes de que inicie la temporada de lluvias y finalizando en el mes de noviembre.
2. Lavar el tanque de almacenamiento dos veces por año al igual que el techo del sistema. Para ello, es recomendable lavar las paredes del tanque con un cepillo de cerdas y aprovechar el agua del mismo cuando se encuentra en sus niveles mínimos. Para este tipo de sistema no se recomienda utilizar jabones o cloro, ya que el agua de lavado puede ser reutilizada para riego.
3. Limpiar periódicamente (una vez por semana) con una escoba o cepillo el área de captación y la canaleta del sistema, removiendo polvo, hojas secas, plásticos, y basura en general; sobre todo en la época de lluvias donde funciona el sistema, con el objetivo de prevenir que se tapen los conductos.
4. Al mismo tiempo que se realiza la limpieza se debe revisar las uniones de la canaleta, las tuberías y el tanque de plástico, asegurándose que no existan fugas que puedan ocasionar pérdidas significativas.

6.4.3 Recomendaciones de uso

Se debe de esperar a que el tanque de agua se llene con las lluvias que caen desde el mes de mayo y se logre almacenar el agua de las lluvias que caen hasta el mes de octubre, con lo cual se espera poder llenar el tanque de agua. Una vez que se tiene lleno el tanque se puede iniciar a hacer el riego, pero es importante tomar en cuenta las siguientes indicaciones (Tavico y Zúñiga., 2014):

- Se debe dejar colocada la tapadera superior del tanque de agua, para evitar que en el agua caiga basura, hojas de árboles, insectos, y otros que contaminen el agua.
- Se debe asegurar el mantenimiento periódico del sistema, sobre todo antes y después de las lluvias.
- Se deben de aprovechar las últimas lluvias para hacer las siembras de hortalizas, ya que de esta forma se aprovecha la humedad residual que está en el suelo y se garantiza que las hortalizas se puedan llegar a cosechar, principalmente las que tienen un ciclo de vida de más de dos meses.
- Es importante utilizar el agua captada para regar en las horas frescas de la mañana, entre las seis a diez horas o bien regar por las tardes, después de las cinco de la tarde.

8. CONCLUSIONES

A partir de la experiencia de este trabajo se plantean las siguientes conclusiones:

- a. Durante los últimos años el sistema de abastecimiento de agua potable ha mejorado a nivel municipal y, actualmente, la Escuela Jardín de Amor posee un sistema de abastecimiento utilizando una cisterna de almacenamiento y un sistema de distribución por gravedad que permite cubrir la demanda del recurso durante la jornada escolar.
- b. Para el caso de la Escuela Jardín de Amor, la evaluación de factibilidad técnica y económica responde a un sistema de tipo agrícola; el cual permite tener una alternativa para la obtención y ahorro de agua, evitando que el agua potable municipal se utilice en el huerto.
- c. A pesar que el sistema de abastecimiento municipal de agua cubre la demanda actual de la escuela, la propuesta permite hacer frente a los impactos ambientales provocados por el cambio climático y los cambios evidentes en la cantidad y calidad del agua; siendo una alternativa de sostenibilidad, fácil de implementar y de bajo costo para enfrentar la sequía en época de verano.

9. RECOMENDACIONES

Con el fin de que la propuesta sea implementada y sea perdurable y replicable en el tiempo se plantean las siguientes recomendaciones:

- a. Se recomienda seguir todas las especificaciones para la construcción, instalación y mantenimiento del sistema, con el fin de mantener e incrementar su vida útil y que permita obtener el mayor beneficio posible.
- b. Ya que el sistema no es capaz de cubrir el 100% de la demanda de agua del huerto, esta puede ser reducida hasta en un 67% con la planificación agrícola, el uso de sistemas de riego tecnificados e invernaderos y, con la aplicación de técnicas bio-intensivas.
- c. Para que este estudio pueda ser replicado se recomienda enfocarlo en base a las necesidades de los usuarios, sus actividades productivas y su entorno natural; además de considerar otros factores que afecten la sostenibilidad de este tipo de proyectos, tales como programas gubernamentales y no gubernamentales que puedan servir en la asistencia técnica e inversión.
- d. Todos los costos establecidos son aproximados, de facturaciones canceladas en el año 2013 y de cotizaciones individuales realizadas en el mes de octubre del 2016 con vigencia de 15 días. Por ello, al cálculo se le debe sumar todos aquellos aspectos que no están considerados, como el transporte, combustible y, otros sistemas tecnificados extras. Así mismo, para implementar el proyecto, se deben actualizar las cotizaciones al presente año.
- e. Como parte del Proyecto de Cooperación para la Inversión en la Estrategia de Seguridad Alimentaria Nutricional para Escolares el Ministerio de Educación considera los Huertos Escolares como fomento productivo y para la diversificación de la dieta. En este sentido, se recomienda considerar los sistemas de cosecha pluvial mecanismos para mejorar la productividad de los mismos, sobre todo en áreas donde el recurso escasea.

10. BIBLIOGRAFÍA

- AguaSolutions. (2006). *Captación de Agua de Lluvia*. Obtenido de <http://www.aguasolutions.com/>
- Aguirre, A. (2016). *Mecanica de Fluidos y Recursos Hidráulicos. Determinación de la dotación de agua*. Recuperado el agosto de 2016, de Escuela de Ingeniería de Antioquia, Colombia: <http://fluidos.eia.edu.co>
- America, E. S. (2001). Water in a Changing World. *Issues in Ecology*, 18.
- Anacafé. (2014). *Captación y almacenamiento de agua*. Recuperado el agosto de 2016, de <http://www.anacafe.org/>
- Andreas N.A., L. W. (2012). *Evolution of Water Supply Throughout the Millennia*. London: IWA Publishing.
- Barlow, M. (2017). *A Declaration on the Connection between Water and Climate Justice: Reviving a healthy climate through commons-based water management practices*. Obtenido de Our Water Commons for the Common Good : <http://www.ourwatercommons.org/>
- Barquín, M. (2007). *Conjunto urbano destinado a brindar servicio a la comunidad, Santa María de Jesús*. Guatemala : Universidad Rafael Landivar .
- Bates, B. Z. (2008). *El cambio climático y el agua*. Ginebra: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Secretaria del IPCC.
- Bellen J., G. M. (2006). *Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia*. Joao Pessoa, Brasil: VI SEREA Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua.
- BID, B. I. (2008). *Plan Estratégico Sectorial del Sector Agua Potable y Saneamiento: acciones propuestas. Síntesis de El Salvador*. El Salvador: Iniciativa de Agua y Saneamiento BID.
- Calderón Z., H. B. (2016). *Chultuns in the surrounding areas of the Yaxha Lagoon, Peten*. Recuperado el febrero de 2016, de <http://www.latinamericanstudies.org/>
- Centro Agroecológico Las Cañadas. (2016). *Manual del Cultivo Biointensivo de Alimentos*. Recuperado el 9 de agosto de 2016, de Tierra Amor: <http://www.tierramor.org/>
- CLIMATE-DATA-ORG. (Marzo de 2016). *AmbiWeb*. Obtenido de <http://en.climate-data.org/>

- Cobos, C. (2002). *El agua: Situación actual y necesidades de gestión*. Guatemala : Universidad Rafael Landívar. USAID.
- Cobos, C. R. (1996). *Evaluación y Elaboración del Plan de Rehabilitación de la Red de Estaciones Hidrológicas de Guatemala*. Guatemala: INSIVUMEH, MICIVI .
- CONAGUA. (2011). *Capítulo 8. Agua en el Mundo* . México: Subdirección General de Programación.
- Consejo Municipal de Desarrollo de Santa María de Jesús, S. (2010). *Plan de Desarrollo Santa María de Jesús 2010-2025*. Guatemala: SEGEPLAN-DTP.
- COPREDEH. (2008). *Informe del Estado de Guatemala Resolución 7/23 del Consejo de Derechos Humanos: Los derechos humanos y el cambio climático*. Guatemala.
- CUNORI. (2011). *Centro Universitario de Oriente*. Recuperado el 6 de marzo de 2016, de <http://cunori.edu.gt/>
- DIDELASA. Distribuidora de Atlantico S.A. (12 de septiembre de 2016). Cotización de producto. Guatemala.
- Dirección de Comunicación de Conocimientos. (2014). *Conocimientos tradicionales: Obras hidráulicas Mesoamérica*. Recuperado el junio de 2016, de www.dccuaem.net
- Ecofiltro . (03 de mayo de 2016). *Proceso de purificación del agua*. Obtenido de www.ecofiltro.com
- EDIFY. (2016). *Sistema de captación pluvial, Rotoplas*. Obtenido de <http://edify.mx>
- Escalón, S. (18 de abril de 2016). *Una ley de aguas para el país de Nunca Jamás*. Recuperado el 31 de enero de 2017, de Plaza Pública: <https://www.plazapublica.com.gt>
- Escolero O., D. E. (2006). *Ciclo Hidrológico*. México: Atlas de la Cuenca Lerma, Chapala.
- FAO. (2013). *Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: FIDA, Cooperación Suiza.
- FAO. (2016). *AQUASTAT*. Obtenido de Uso de agua en riego. America del Sur, Centroamérica y Caribe.: <http://www.fao.org/>
- Ferretería Aldana. (12 de septiembre de 2016). Cotización de pedido. Guatemala.

- Franco, G. (2015). *Tesis de Grado. Elaboración de un Mapa de Clasificación Climática para Guatemala*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar.
- Gerbiez, P. (23 de febrero de 2009). *Pensando sobre educar*. Obtenido de Calculando bajo la lluvia: <http://pensandosobreeducar.blogspot.com>
- Global Environmental Management . (2011). *Captación de agua de lluvia como alternativa para afrontar la escases del recurso*. México: GEM, TIES.
- Gobierno de la Republica de Guatemala. (2011). *Política Nacional de Agua en Guatemala y su Estrategia*. Guatemala: Gabinete Específico del Agua.
- Google. (2015). *Mapas y fotos satelitales del mundo*. Recuperado el junio de 2016, de www.zonu.com
- Grupo Bourgoin. (04 de mayo de 2016). *DISEÑADOR, FABRICANTE Y DISTRIBUIDOR DE CISTERNAS FLEXIBLES*. Obtenido de <http://www.citerne-souple-bourgoin.com/>
- Gutiérrez M.E., E. T. (2010). *Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático*. New York: BID.
- GWP. (2002). *Marco Regional de Adaptación al Cambio Climático para los Recursos Hídricos en Centroamérica*. San José, Costa Rica: SICA, UICN-ORMA.
- GWP, G. W. (2011). *Situación de los recursos hídricos en Centroamérica: Hacia una gestión integrada*. Unión Europea, BCIE, ZONAF.
- GWP, G. W. (2013). *Tecnologías para el uso sostenible del agua*. Tegucigalpa, Honduras: FAO.
- Henneman, L. (2007). *Feasibility of Rainwater Harvesting in North Georgia's Humid Climate*. Georgia, USA: University of Georgia.
- IANAS, R. I. (2012). *Diagnóstico del Agua en las Américas*. México: Foro Consultivo Científico y Tecnológico.
- IARNA. (2005). *Situación de los Recursos Hídricos en Guatemala*. Guatemala: Informe Técnico del Perfil Ambiental de Guatemala .
- IARNA. (2011). *Cambio Climático y Biodiversidad*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar .
- IMPLUVIUM. (Junio de 2014). *Sistemas de captación de agua de lluvia . Periódico digital de divulgación de la Red del Agua UNAM*.
- INE. (2002). *Censo poblacional*. Guatemala.

- INSIVUMEH. (2015). *Datos meteorológicos para los departamentos*. Recuperado el agosto de 2016, de <http://www.insivumeh.gob.gt/>
- INSIVUMEH. (abril de 2017). *redhidromet*. Obtenido de Mapa de Red Automatica : <http://www.insivumeh.gob.gt:8080/redhidromet/#>
- Jardín de Amor. (2013). Obtenido de <http://jdaguatemala.org>
- Jeavons J., Cox C. (2010). *Ecology Action*. Recuperado el octubre de 2016, de Grow Biointensive: <http://www.growbiointensive.org/>
- Jorge Flores Velazquéz. (2015). *Riego en cultivos de alto rendimiento*. Recuperado el 29 de febrero de 2016, de Hortalizas.com: <http://www.hortalizas.com/>
- Limaylla, A. Q. (2008). Captación de agua de lluvia para la agricultura familiar, una experiencia en comunidades rurales de Tlaxcala. *Boletín del Archivo Histórico del Agua*, 82-91.
- Margarita Pacheco . (2008). Avances en la Gestión Integral del Agua Lluvia (GIALL): Contribuciones al consumo sostenible del agua, el caso de “Lluviatl” en México. *Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo* , 39-57.
- MARN. (2001). *Programa de Acción Nacional de Lucha Contral la Desertificación y la Sequía*. Guatemala: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
- Municipalidad de Guatemala. (23 de enero de 2014). *muniguate*. Obtenido de <http://osu.muniguate.com/>
- ONU. (2010). *El derecho humano al agua y al saneamiento*. Obtenido de Comité de Naciones Unidas de Derechos Económicos, Sociales y Culturales: <http://www.un.org/>
- ONU. (2011). *Manual de mantenimiento del sistema de captación de agua de lluvia*. Veracruz, México: Fondo para el Logro de los ODM.
- OPS. (2003). *Especificaciones técnicas para la captación de agua de lluvia para consumo humano*. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. OMS.
- OPS. (2011). *Sistema de captación y filtrado de agua de lluvias* . U.S.A.: Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental .
- OPS, O. P. (2004). *Guia de Diseño para la Captación del Agua de Lluvia*. Lima.
- Organización Panamericana de Salud. (2003). *Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental (BVSDE)*. Recuperado el julio de 2016, de

Guía de orientación en Saneamiento Básico para Alcaldías de Municipios Rurales y Pequeñas Comunidades:
<http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/2-3sas.htm>

- Pablo Quevedo. (2013). *Propuesta Metodológica para Evaluar Sistemas de Aprovechamiento de Agua de Lluvia como Alternativa para el Ahorro de Agua Potable en Viviendas e Instalaciones con Alta Demanda del Suministro en la República de Guatemala*. Guatemala : USAC.
- Palacio, N. (2010). *PROPUESTA DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA, COMO ALTERNATIVA PARA EL AHORRO DE AGUA POTABLE, EN LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA MARÍA AUXILIADORA DE CALDAS, ANTIOQUIA*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Perez Quan, A. A. (2005). *Propuesta de Conservación de El Calvario y la Revitalización de la Calle Principal de Santa María de Jesús, Sacatepéquez*. Guatemala: Tesis de Grado. USAC.
- PNUD. (2007). *Informe sobre Desarrollo Humano 2007-2008. La Lucha contra el cambio climático*. E.E.U.U: Mundi Prensa.
- PNUD. (2011). *Cifras para el Desarrollo Humano, Sacatepequez*. Guatemala.
- PNUD. (10 de marzo de 2014). *Innovando con tecnologías alternativas* . Obtenido de <http://www.gt.undp.org/>
- Qiang Zhu, Y. L. (2003). Pueblos "a prueba" de sequia. *LEISA Revista de Agroecología*, 19-21.
- Quevedo, P. (2013). *Propuesta metodológica para evaluar sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable en viviendas e instalaciones con alta demanda del suministro en la Republica de Guatemala*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC).
- Quispe A. (2008). Captación de agua de lluvia para la agricultura familiar, una experiencia en comunidades rurales de Tlaxcala. *Boletín del Archivo Histórico del Agua. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México. México*, pp- 82-91.
- Ramírez, R. V. (2011). *Medidas de adaptación frente al cambio climático en la Cuenca del Río Santa*. Perú: Folleto Informativo N°.3.
- Recinos, M. (22 de abril de 2016). *LEY DE AGUAS, UNA NORMA VITAL PARA EL PAÍS*. Recuperado el 31 de enero de 2017, de Congreso de la República de Guatemala: <http://www.congreso.gob.gt/>

- SAGARPA. (2012). *Estimación de las demandas de consumo de agua*. México: Colegio de Postgraduados.
- Sánchez, F. J. (febrero de 2013). *El Ciclo Hidrológico*. Obtenido de Studii Salamantini: <http://ocw.usal.es/>
- SEGEPLAN. (2002). *Índice de Pobreza General y Pobreza Extrema por Municipio*. Obtenido de Sistema de Usuarios de Información Territorial - SINIT.
- SEGEPLAN. (2015). *Informe final de cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM)*. Guatemala, Centroamérica: Secretaria de Planificación y Programación de la Presidencia .
- SEGEPLAN. (2015). *Ranking de la Gestion Municipal. Informe Ejecutivo*. Guatemala: Secretaria de Planificación y Programación de la Presidencia.
- Sur Futuro. (2012). *Matriz de Puntuación para Evaluación de Proyectos*. Santo Domingo: Programa Siembra Saber.
- Tavico y Zúñiga. (2014). *Riego por goteo para la producción familiar de hortalizas con agua de lluvia en el corredor seco*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC).
- Urizar, F. (s.f.). *Conservación, Restauración y Mantenimiento del Templo de Santa María de Jesús, Sacatepequez*. Guatemala: USAC.
- Vista Volcanes, S.A. (7 de octubre de 2016). *Cotización Sistema de Riego y Macrotunel para Huerto Familiar*. Chimaltenango, Guatemala.
- WATER, U. (febrero de 2015). *La adaptación al cambio climático tiene que ver, sobre todo, con el agua...* Obtenido de www.unwater.org
- World Water Assessment Programme. (2000). *Agua para todos, Agua para la vida*. Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo.

11. ANEXOS

Anexo 1. Glosario de términos

1. **Recurso Hídrico.** Los recursos hídricos son los cuerpos de agua que existen en el planeta, desde los océanos hasta los ríos pasando por los lagos, los arroyos y las lagunas. Estos recursos deben preservarse y utilizarse de forma racional ya que son indispensables para la existencia de la vida.
2. **Cambio Climático.** Definido por la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático como «un cambio en el clima, atribuible directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad climática natural observada durante períodos de tiempo comparables».
3. **Adaptación.** La adaptación al cambio climático es definida como las iniciativas y medidas encaminadas a reducir la vulnerabilidad de la sociedad y la susceptibilidad de los sistemas naturales, ante los efectos reales o esperados del cambio climático.
4. **Sostenibilidad.** Característica o estado según el cual pueden satisfacerse las necesidades de la población actual y local sin comprometer la capacidad de generaciones futuras o de poblaciones de otras regiones de satisfacer sus necesidades.
5. **Aguas Pluviales.** Son las aguas producto de la lluvia o precipitación que escurren sobre la superficie del terreno.
6. **Sistema de Captación Pluvial.** La captación pluvial es un sistema hidráulico ancestral para obtener agua para el consumo humano y uso agrícola.
7. **Captación de agua Pluvial.** Acción y efecto de obtener o recoger convenientemente el agua de lluvia.
8. **Almacenamiento de Agua.** Estructuras de diversos materiales y volúmenes que tienen como función almacenar agua para luego ser distribuida.
9. **Cosecha de Agua Pluvial.** La cosecha de agua pluvial es la captación de la precipitación para utilizarse en la vida diaria.

Anexo 2. Mapa y ubicación geográfica de la escuela Jardín de Amor

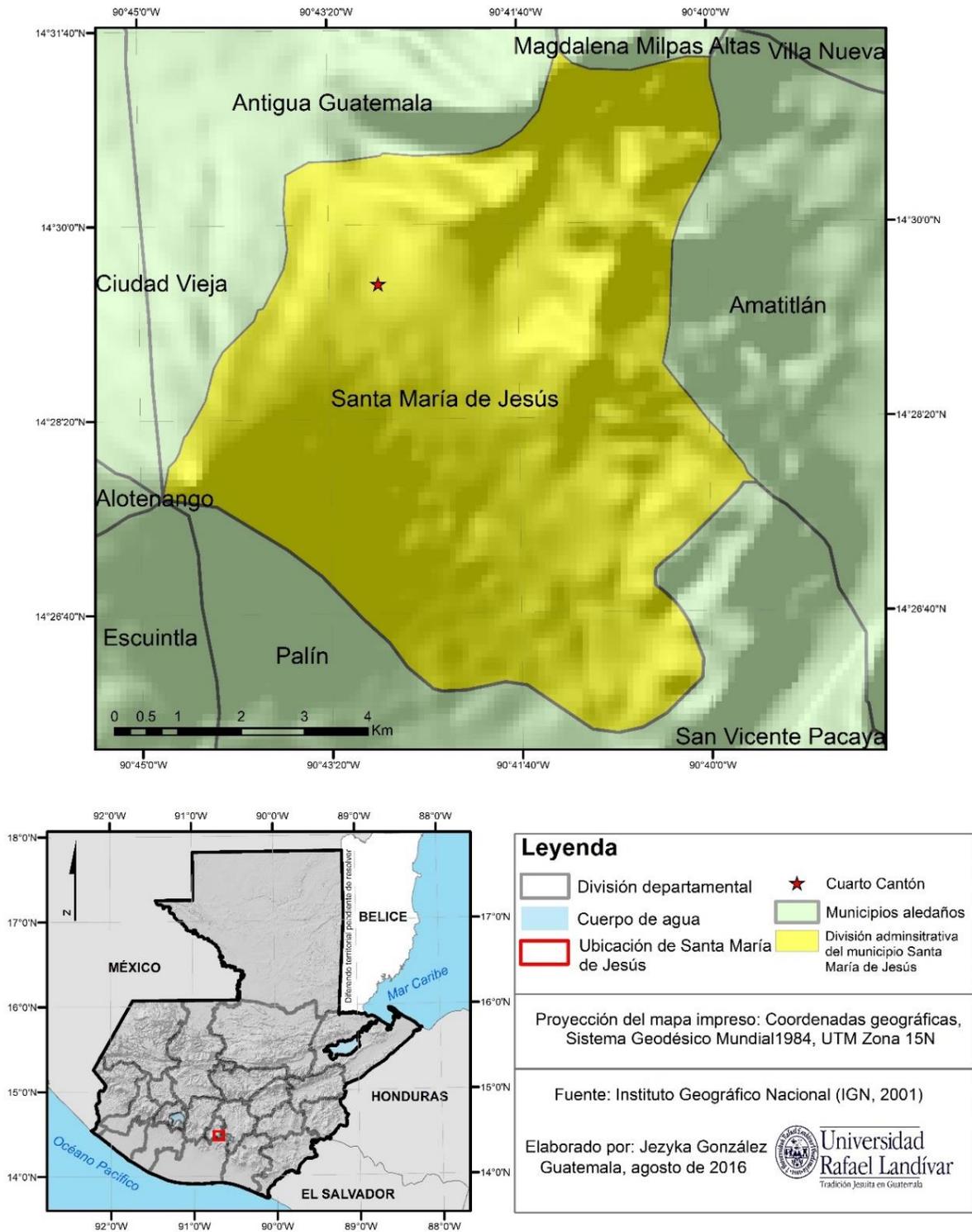


Figura 26. Mapa de ubicación del municipio de Santa María de Jesús, Sacatepéquez, y sus límites municipales

Anexo 3. Fotografías de la Escuela Jardín de Amor



Figura 27. Fotografía de la Escuela Jardín de Amor (Fotografía Jezyka Gonzalez, 2015)



Figura 28. Fotografía del patio de la Escuela Jardín de Amor (Fotografía Jezyka Gonzalez, 2015)



Figura 29. Fotografía del huerto escolar en Jardín de Amor (Fotografía: Jezyka Gonzalez, 2015)

Anexo 4. Formato final de la entrevista

A continuación se presentan de forma digitalizada el formato final de la entrevista realizada al equipo de trabajo de la escuela.

Cuadro 32. Formato final de la entrevista

No.	Pregunta	Descripción de la pregunta
1	¿Cuál es la forma de abastecimiento de agua potable en la escuela?	Define la forma o las diferentes formas de abastecimiento actual: sistema municipal, pipas de agua, agua pluvial.
2	¿Cuántos mts ³ utiliza la escuela mensualmente?	Define la cantidad exacta en mts ³ que la escuela utiliza para cubrir sus necesidades.
3	¿Cuál es el gasto mensual para el abastecimiento de agua potable?	Define el gasto mensual (en quetzales) para el abastecimiento de agua potable.
4	¿Qué usos se le da al agua en la escuela?	Define los usos que se le dan al recurso: sanitarios, limpieza, cocina, riego.
5	¿El abastecimiento actual de agua potable es suficiente para cubrir las necesidades de la escuela?	Define si la cantidad de agua con la que se abastecen actualmente es suficiente para cubrir todas las necesidades de la escuela.
6	¿En la escuela se tienen prácticas para el ahorro del agua potable?	Define si existen o no buenas prácticas en el uso de agua potable

7	¿Ha recolectado agua de lluvia alguna vez? ¿De qué forma?	Define si el equipo posee conocimientos o ha tenido experiencias recolectando agua de lluvia.
8	¿Tiene conocimiento acerca de los sistemas de captación de agua de lluvia?	Define si el equipo posee conocimientos de los sistemas de recolección de agua de lluvia.
9	¿Qué tipo de financiamiento posee para implementar proyectos en la escuela?	Define como se financia la escuela y sus proyectos: cooperativas, donaciones, financiamiento propio, créditos, etc.
10	¿Conoce algún programa de desarrollo que haya implementado la municipalidad?	Define el conocimiento por parte del equipo de la escuela con respecto a programas de desarrollo municipal
11	¿Qué grado de participación tiene la municipalidad en la escuela?	Define si la municipalidad participa o apoya las actividades de la escuela
12	¿Los alumnos de la escuela pertenecen a un grupo vulnerable?	Define el grupo social al que pertenecen los estudiantes de la escuela
13	¿Cuáles son necesidades de los estudiantes y sus familias?	Define cuales son las necesidades principales de las familias y sus hijos.
14	¿Qué grado de participación tienen las familias de los alumnos en las actividades de la escuela?	Define si existe o no participación de las familias en la escuela, sus actividades y programas.
15	¿Ha notado cambios en la regularidad del abastecimiento de agua?	Define el conocimiento por parte del equipo de la escuela con respecto al cambio climático y sus efectos en el municipio
16	¿Ha escuchado sobre el cambio climático? ¿Qué sabe acerca de él?	
17	¿Cuánto estaría dispuesto a aportar económicamente para llevar a cabo la implementación de un sistema de captación de agua de lluvia?	Define cual es la disposición de los integrantes del proyecto (equipo, padres de familia, estudiantes, financiadores, entre otros) para financiar la implementación de un sistema de aprovechamiento pluvial.

Anexo 5. Resumen de las entrevistas realizadas

A continuación se presentan de forma digitalizada todas las entrevistas realizadas al equipo de trabajo de la escuela, incluyendo el director, encargada de proyectos, catedrática y madre de familia.

Cuadro 33. Resumen de las entrevistas realizadas al equipo de trabajo de la escuela Jardín de Amor

Fecha: 26/julio/2016		
No.	Pregunta	Respuesta
Información general		
1	¿Los alumnos de la escuela pertenecen a un grupo vulnerable y de bajos recursos?	Si. Los alumnos forman parte de familias más pobres del municipio, aquellos que carecen de servicios básicos, buenas viviendas, ingresos económicos, etc. Actualmente se tienen 115 alumnos en total en las jornadas matutina y vespertina y, 10 becados estudiando básico. La mayoría de las familias no son capaces de costear la inscripción ni listado de útiles de los alumnos, únicamente el 50% de los estudiantes traen material de sus casas.
2	¿Cuáles son necesidades de los estudiantes y sus familias?	<ul style="list-style-type: none"> ○ Alimentación ○ Higiene ○ Salud ○ Vivienda ○ Educación ○ Trabajo ○ <u>Todas las anteriores</u>
3	¿Ha notado cambios en la regularidad del abastecimiento de agua?	El sistema de abastecimiento de agua que poseemos se mantiene desde hace años, el agua llega a la escuela un día si un día no y; además, cuando viene no es todo el día sino únicamente unas 4 horas. Hoy día, el abastecimiento de agua ha mejorado poco en calidad y cantidad, sin embargo, en algunos cantones del municipio pueden pasar hasta 15 días sin agua.
4	¿Ha escuchado sobre el cambio climático? ¿Qué sabe acerca de él?	Poco. Más que nada sobre la contaminación del aire y los climas extremos, en Santa María de Jesús, sin duda alguna, existe una relación entre el clima y el agua; cuando llueve más hay más disponibilidad del agua y viceversa.

Información técnica		
5	¿Cuál es la forma de abastecimiento de agua potable en la escuela?	<ul style="list-style-type: none"> ○ <u>Municipal</u> ○ Pozo propio ○ <u>Agua de lluvia</u> <p>Comentarios: existen dos sistemas que se complementan, el primero es por un pozo de extracción y el segundo es por un sistema de captación pluvial, ambos son municipales y abastecen a los diferentes cantones. Además, cuando es época de invierno en el patio de la escuela juntamos agua en toneles.</p>
6	¿Cuántos mts ³ utiliza la escuela mensualmente?	Al día se gastan aproximadamente 1000lts, lo que hace un promedio mensual de 20,000lts/mes
7	¿Qué usos se le da al agua en la escuela?	<ul style="list-style-type: none"> ○ Preparar alimentos ○ Beber ○ Baños ○ Limpieza ○ Riego de plantas ○ <u>Todas las anteriores</u>
8	¿Cuál es la calidad del agua que llega a la escuela?	<ul style="list-style-type: none"> ○ Buena ○ Regular ○ <u>Mala</u> <p>Comentarios: la calidad no es buena, nadie bebe agua del chorro, se debe hervir o filtrarla; para ello la escuela posee 2 EcoFiltro donados.</p>
9	¿El abastecimiento actual de agua potable es suficiente para cubrir las necesidades de la escuela?	Si es suficiente, sin embargo a veces por mantenimiento del sistema municipal o el propio nos podemos quedar sin agua hasta dos días. Actualmente el abastecimiento se mejoró con el funcionamiento de la bomba; antes se tenían que llenar toneles y no era suficiente y, además era de muy mala calidad.
10	¿Cuál es la percepción de los alumnos sobre el agua?	Todos los estudiantes viven en condiciones de pobreza y saben sobre la carencia del agua. Dentro de la escuela se les educa para cuidar el agua y no desperdiciarla.
11	¿En la escuela se tienen prácticas para el ahorro del agua potable?	Siempre se racionaliza el agua para las necesidades básicas y se educa a los niños a no desperdiciarla.
12	¿Se ha recolectado agua de lluvia alguna vez? ¿De qué forma?	Antes que el sistema bombeo funcionara llenábamos toneles con agua de lluvia de forma artesanal y luego se tenía que acarrear hacia los baños y pilas.

13	¿Tienen conocimiento acerca de los sistemas de captación de agua de lluvia?	Poco, sin embargo se quiso poner un sistema en la escuela pero se vio más factible mejorar la cisterna.
14	¿Cree usted que el agua de lluvia puede ser utilizada en la escuela?	Con el sistema que tenemos no es necesario, sin embargo podría ser una opción para el riego del huerto o limpieza de los patios.
Información financiera		
15	¿Cuál es el gasto mensual para el abastecimiento de agua potable?	Existe una cuota única de Q50.00 sin límite de uso. Por lo general cada cambio de alcalde modifican la cuota por deudas internas, se espera que el próximo año baje a Q.30.00
16	¿Qué tipo de financiamiento posee la escuela para implementar proyectos?	La escuela no posee financiamiento propio, funciona con donaciones que brindan cooperativas internacionales o voluntarios.
Información de participación social		
17	¿Qué grado de participación tienen las familias de los alumnos en las actividades de la escuela?	Las madres de los estudiantes tienen una participación importante tanto en reuniones mensuales como en las faenas, que son días de trabajo sin ningún copago; donde realizan cualquier tipo de trabajo que requiera la escuela, como pintar, construir, arreglar, y ahora colaboran con el huerto escolar.
18	¿Conoce algún programa de desarrollo que haya implementado la municipalidad?	La municipalidad tiene programas educativos tales como CONALFA que tiene como objetivo alfabetizar señoras de mayor edad y ahora se están mejorando, en algunos cantones, las calles y sistemas de drenaje.
19	¿Qué grado de participación tiene la municipalidad en la escuela?	<ul style="list-style-type: none"> ○ Mucha ○ Poca ○ <u>Ninguna</u>
20	¿Cómo se podría aportar económicamente para llevar a cabo la implementación de un sistema de captación de agua de lluvia?	Ya que la escuela no cuenta con fondos propios, se podría conseguir financiamiento por parte de terceros con una buena propuesta o exigiendo un aporte de Q1.00 – Q5.00 por familia, ya sea mensual o anual.

Anexo 6. Planos de las instalaciones de la Escuela Jardín de Amor

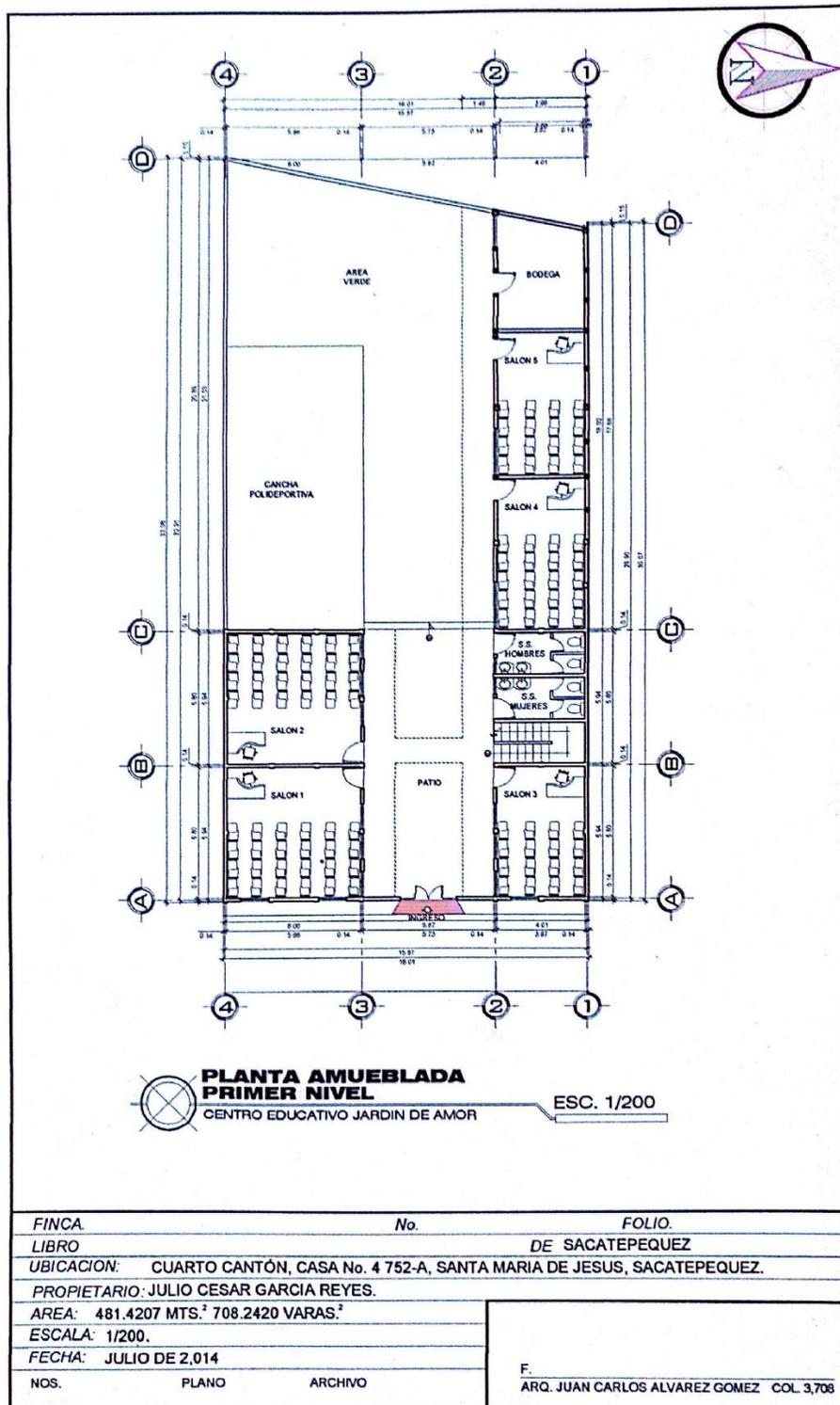


Figura 30. Plano de las instalaciones de la Escuela Jardín de Amor (primer nivel)

Fuente: Escuela Jardín de Amor, 2013

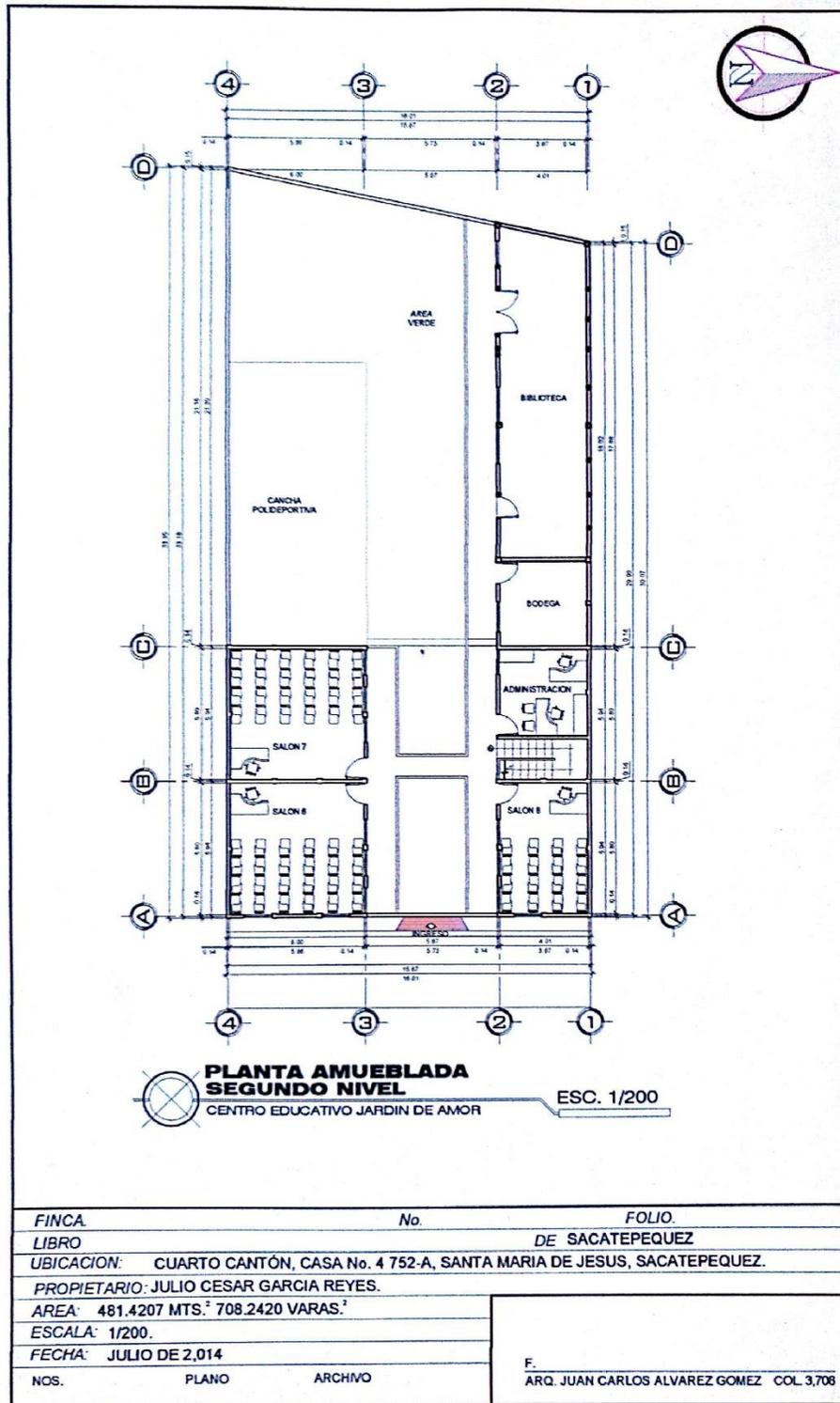


Figura 31. Plano de las instalaciones de la Escuela Jardín de Amor (segundo nivel)

Fuente: Escuela Jardín de Amor, 2013

Anexo 7. Planos del Huerto Ecológico de la Escuela Jardín de Amor

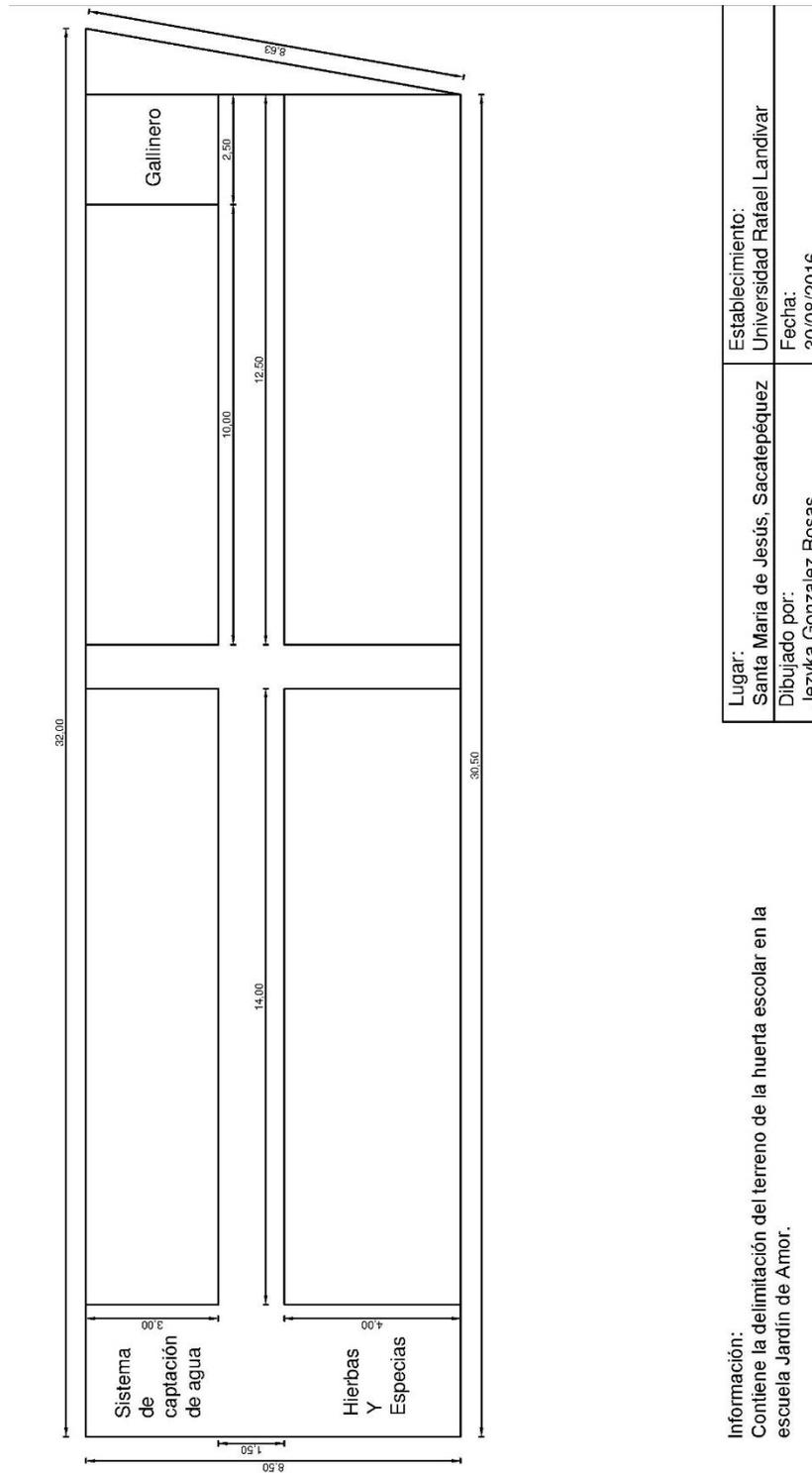


Figura 32. Planos del Huerto Ecológico de la Escuela Jardín de Amor

Anexo 8. Cotizaciones de los materiales para la construcción del sistema de cosecha de agua de lluvia

Cuadro 34. Listado de materiales y costo total sistema de madera

Material	Cantidad	Precio en Q. (con IVA)	Costo total
Regla "A" de madera 3 x 3 pulgadas y de 2.70 metros de largo.	2.00		
Regla "B" de madera de 3 x 3 pulgadas y de 3.00 metros de largo.	2.00		
Regla "C" de madera de 1 x 3 pulgadas y de 3.05 metros de largo	2.00		
Regla "D" de madera de 1 x 2 pulgadas y de 1.52 metros de largo.	2.00		
Regla "E" de madera de 1 x 2 pulgadas y de 2.13 metros de largo.	1.00		
Bote de aceite quemado para "curar" la madera.	1.00	600.00	
Clavos de 3 y 2 pulgadas y clavos de lámina (libra).	3.00	6.00	
Láminas de zinc (galvenizada) de 3 mts de largo x 0.70 mts de ancho	5.00	65.75	
Canal PVC colonial de 3 mts de largo x 5.5 pulg. de ancho	1.00	109.00	
Tubo PVC de 3 pulg. de diámetro y 1mt de largo.	1.00	11.50	
Boquilla bajante canal PVC colonial	1.00	25.50	
Juego de tapas para canal PVC colonial	1.00	14.35	
Abrazaderas de soporte canal PVC colonial .	4.00	4.80	
Adaptadores de PVC macho y hembra	2.00	3.10	
Reductores, convertidores o coplas de PVC	3.00	4.25	
Manguera reforzada 30mts	1.00	168.25	
Llave de paso de metal con rosca	1.00	82.20	
Deposito de agua reforzado ROTOPLAST 2,500lts sistema completo	1.00	2,344.50	
Metro cuadrado de tierra negra	2.00	150.00	
Mano de obra (soldadura y carpintería) y/o herramientas	..	2,000.00	5,589.20

Fuente: elaboración propia en base a DIDELASA. Distribuidora de Atlantico S.A, 2016; Ferretería Aldana, 2016

Cuadro 35. Listado de materiales y costo total sistema de metal

Material	Cantidad	Precio en Q. (con IVA)	Costo total
Costanera "A" de 4 pulg. y de 2.70 metros de largo.	2.00		
Costanera "B" de 4 pulg. y de 3.00 metros de largo.	2.00		
Costanera "C" de 4 pulg. y de 3.05 metros de largo	2.00		
Costanera "D" de 4 pulg. y de 1.52 metros de largo.	2.00		
Costanera "E" de 4 pulg. y de 2.13 metros de largo.	1.00		
Bote de aceite quemado para "curar" la madera.	1.00	525.00	
Clavos de 3 y 2 pulgadas y clavos de lámina (libra).	3.00	6.00	
Láminas de zinc (galvenizada) de 3 mts de largo x 0.70 mts de ancho	5.00	65.75	
Canal PVC colonial de 3 mts de largo x 5.5 pulg. de ancho	1.00	109.00	
Tubo PVC de 3 pulg. de diámetro y 1mt de largo.	1.00	11.50	
Boquilla bajante canal PVC colonial	1.00	25.50	
Juego de tapas para canal PVC colonial	1.00	14.35	
Abrazaderas de soporte canal PVC colonial .	4.00	4.80	
Adaptadores de PVC macho y hembra	2.00	3.10	
Reductores, convertidores o coplas de PVC	3.00	4.25	
Manguera reforzada 30mts	1.00	168.25	
Llave de paso de metal con rosca	1.00	82.20	
Deposito de agua reforzado ROTOPLAST 5,500lts sistema completo	..	9,775.00	
Metro cuadrado de tierra negra	2.00	150.00	
Mano de obra (soldadura) y/o herramientas	..	2,000.00	12,944.70

Fuente: elaboración propia en base a DIDELASA. Distribuidora de Atlantico S.A, 2016; Ferretería Aldana, 2016



Vista Volcanes, S.A.
 18 Ave. La Alameda 3-104 Zona 5 Chimaltenango.
 Telefonos: 7849-0226 -07 Fax 7849-0228
melvin_argueta@hotmail.com

COTIZACION
FECHA

No. 0159-16
07/10/2016

Nombre del Cliente : *Jesica Gonzales*

Dirección : *Frijanes, Guatemala.*

DESCRIPCION DEL PRODUCTO.

Sistema de Riego para Huerto Familiar.

TIEMPO DE ENTREGA: 5 días al confirmar el pedido		CONDICIONES DE PAGO: Contado	VENDEDOR Melvin Argueta	PEDIDO NO.	ENVIO NO.
CANTIDAD	UNIDADES DE MEDIDA	DESCRIPCION	PRECIO UNIDAD Q	TOTAL	
2	Unidad	Tubo Pvc de 1"	Q 60,00	Q	120,00
1	Unidad	Llave bola pvc de 1"	Q 45,00	Q	45,00
3	Unidad	Adaptador hembra de 1"	Q 8,00	Q	24,00
1	Unidad	Tapon Macho de 1"	Q 6,00	Q	6,00
1	Unidad	Filtro Azud de 1"	Q 180,00	Q	180,00
7	Unidad	Conector Inicial de pvc a Cinta	Q 4,50	Q	31,50
170	Metros	Cinta de goteo	Q 1,20	Q	204,00
TOTAL		SEISCIENTOS DIEZ CON 50/100		Q	610,50

Chimaltenango, 7 de Octubre de 2016

Validez de la oferta: 15 días

Vista Volcanes S.A.
MELVIN ARGUETA
VENDEDOR
CEL: 3127-9670

Figura 33. Cotización sistema de riego tecnificado

Fuente: Vista Volcanes, S.A., 2016



Vista Volcanes, S.A.
 18 Ave. La Alameda 3 -104 Zona 5 Chimaltenango.
 Telefonos: 7849-0226 -07 Fax 7849-0228
melvin_argueta@hotmail.com

**COTIZACION
 FECHA**

**No. 0158-16
 07/10/2016**

Nombre del Cliente : Operadora De Colegios Santa Lucia S.A

Dirección : Km 20.5 Carretera A Fraijanes, Finca Santa Lucia.

DESCRIPCION DEL PRODUCTO.

 Materiales para un Macrotunel.

TIEMPO DE ENTREGA: 3 días al confirmar el pedido		CONDICIONES DE PAGO: Contado	VENDEDOR Melvin Argueta	PEDIDO NO.	ENVIO NO.	
CANTIDAD	UNIDADES DE MEDIDA	DESCRIPCION	PRECIO UNIDAD Q	TOTAL		
3	Unidades	Arcos Galvanizados	Q 95,00	Q	285,00	
13	Metros	Agryl de 6,5 mts	Q 13,00	Q	169,00	
TOTAL		CUATROCIENTOS CINCUENTA Y CUATRO EXACTOS			Q	454,00

Chimaltenango, 7 de Octubre de 2016

Validez de la oferta: 15 días

Vista Volcanes S.A.
MELVIN ARGUETA
VENDEDOR
CEL: 3127-9670

Figura 34. Cotización invernadero tecnificado

Fuente: Vista Volcanes, S.A., 2016