

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería

SISTEMA HIDRÁULICO PARA LA CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENTO  
DEL AGUA DE LLUVIA PARA USO DOMÉSTICO Y CONSUMO HUMANO  
UTILIZANDO ECO-MUROS

Trabajo de graduación en modalidad de Trabajo Profesional presentado por  
Javier Alfonso Flores Veliz  
para optar al grado académico de Licenciado en ingeniería en Tecnología Industrial

Guatemala  
2015



**SISTEMA HIDRÁULICO PARA LA CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENTO  
DEL AGUA DE LLUVIA PARA USO DOMÉSTICO Y CONSUMO HUMANO  
UTILIZANDO ECO-MUROS**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería

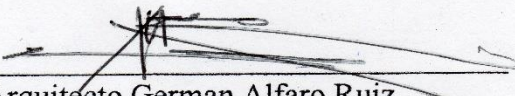


SISTEMA HIDRÁULICO PARA LA CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENTO  
DEL AGUA DE LLUVIA PARA USO DOMÉSTICO Y CONSUMO HUMANO  
UTILIZANDO ECO-MUROS

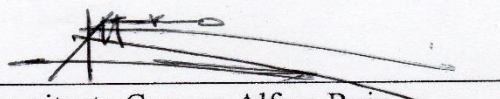
Trabajo de graduación en modalidad de Trabajo Profesional presentado por  
Javier Alfonso Flores Veliz  
para optar al grado académico de Licenciado en ingeniería en Tecnología Industrial

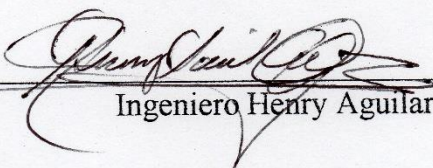
Guatemala  
2015


Vo. Bo.:

(f)   
Arquitecto German Alfaro Ruiz

Tribunal Examinador:

(f)   
Arquitecto German Alfaro Ruiz

(f)   
Ingeniero Henry Aguilar

(f)   
Ingeniera Alejandra Bonilla

Fecha de aprobación: Guatemala 30 de Enero de 2015

# PREFACIO

Esta tesis fue elaborada para promover el uso y el manejo eficiente del recurso hídrico, sobre todo en la EODP Escuela Oficial Urbana Mixta para Párvulos, Calzada 15 de Septiembre Santa Lucía Cotzumalguapa donde el agua es escasa. Comenzó como numerosas experiencias sobre el tema de captación y almacenamiento de agua de lluvia. Se intenta reunir, organizar, reproducir y actualizar aquellas técnicas disponibles y con mayores posibilidades de adopción y aplicación por los pequeños agricultores en la Costa Sur de Guatemala. Además, se tienen experiencias en la utilización del agua de lluvia para consumo y uso doméstico; sin embargo, falta aplicar sistemas de potabilización y purificación, especialmente cuando se va a destinar para consumo humano.

El objetivo es movilizar y concientizar a las comunidades precarias y escuelas públicas de Santa Lucía Cotzumalguapa, municipio del departamento de Escuintla en el aprovechamiento del agua de lluvia, recurso natural que representa una solución real al problema de escasez que viven todos los días los habitantes del municipio. El sistema pretende ser base para resolver problemas básicos de abastecimiento de agua, que representan soluciones reales para poner a disposición de los usuarios objetivo como lo son las escuelas públicas del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa con un promedio de asistencia de 300 alumnos y hogares de familias en necesidad de no más de 4 integrantes, volúmenes disponibles del agua de lluvia en cantidad y calidad adecuadas.

En el proceso de instalación del Eco-Muro no se requiere de una inversión alta de dinero, ni tampoco de materiales que no estén disponibles para cualquier individuo en cualquier parte del país o del mundo, con el objetivo de utilizar materiales de reciclaje para apoyar de sobre manera al medio ambiente. El sistema tiene como fin común el apoyo social a cada estudiante impactado que no tenga acceso al agua en forma segura, en el momento que lo necesite.

# ÍNDICE

PREFACIO .....	ii
ÍNDICE .....	iii
LISTA DE CUADROS .....	v
LISTA DE FIGURAS .....	vi
RESUMEN.....	vii
I. INTRODUCCIÓN.....	2
II. OBJETIVOS.....	3
A. OBJETIVO GENERAL.....	3
B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
III. JUSTIFICACIÓN.....	4
IV. MARCO TEÓRICO .....	6
A. EL AGUA .....	6
B. AGUA POTABLE.....	6
C. CONTAMINANTES EN EL AGUA .....	6
D. LA LLUVIA .....	7
E. LA LLUVIA ÁCIDA.....	8
F. CLASIFICACIÓN DE PRECIPITACIONES ACUOSAS .....	8
G. AGUA DE LLUVIA PUEDE SER POTABILIZADA .....	9
H. ESTADO DEL AGUA EN GUATEMALA.....	9
I. CONSUMO DE AGUA POR PAÍS EN GUATEMALA.....	12
J. LAS PARTES INDISPENSABLES DEL SISTEMA HIDRÁULICO PARA LA CAPTACIÓN, DISTRIBUCIÓN Y APROVECHAMIENTO DE AGUA PLUVIAL. ....	14
K. DISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA .	14
L. MÉTODOS PARA PURIFICAR EL AGUA .....	23
M. EL MARCO LEGAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN GUATEMALA .....	25
N. INSTITUCIONES GUATEMALATECAS ENCARGADAS DEL RECURSO HÍDRICO.....	26
V. METODOLOGÍA .....	28
A. TIPOS DE INVESTIGACIÓN SEGÚN LA NATURALEZA DE LOS DATOS .....	28
B. MODELOS CUANTITATIVOS .....	29
C. PROYECTO DE INVESTIGACIÓN SEGÚN GUILLERMO BRIONES .....	29

D.	EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	30
E.	DISEÑO DE LA METODOLOGÍA.....	31
F.	CRONOGRAMA DE TRABAJO .....	35
G.	PRESUPUESTO.....	36
VI.	RESULTADOS .....	37
A.	RESULTADOS DE LAS ENCUESTAS .....	37
B.	LOCALIZACIÓN DEL SITIO DE CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO.....	40
C.	DEMANDA DE AGUA .....	40
D.	PRECIPITACIÓN PLUVIAL NETA.....	44
E.	ÁREA EFECTIVA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA .....	46
F.	DISEÑO DE LA CONDUCCIÓN DEL AGUA DE LLUVIA CAPTADA .....	47
VII.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	50
VIII.	CONCLUSIONES.....	52
IX.	RECOMENDACIONES .....	54
X.	BIBLIOGRAFÍA.....	55
XI.	ANEXO.....	57
XII.	GLOSARIO.....	64

# LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación de la precipitación según la intensidad .....	7
Cuadro 2. Escala de potencial hidrógeno .....	8
Cuadro 3. Vertientes de Guatemala.....	9
Cuadro 4. Disponibilidad de agua en Guatemala .....	11
Cuadro 5. Uso actual y potencial de agua en Guatemala .....	12
Cuadro 6. Coeficientes del escurrimiento (Ce) de los diferentes materiales en el área de captación .....	16
Cuadro 7. Volumen de agua captada en litro con relación al área de captación y a la precipitación pluvial promedio.....	17
Cuadro 8. Diámetro de la tubería de caída según superficie de captación, utilizando la fórmula de Sotelo.....	18
Cuadro 9. Altura, Área, Perímetro, Radio .....	19
Cuadro 10. Rendimiento energético del ariete hidráulico .....	21
Cuadro 11. Relación de Caudal y Diámetro del tubo de alimentación del ariete hidráulico.....	22
Cuadro 12. Comparativa de los dos tipos de investigación según la naturaleza de los datos, Cualitativa y Cuantitativa.....	29
Cuadro 13. Distribución de la población por edades.....	31
Cuadro 14. Distritos de la supervisión del MINEDUC, en Santa Lucía Cotzumalguapa .....	32
Cuadro 15. Niños inscritos a la pre-primaria en el 2014, Santa Lucía Cotzumalguapa.....	32
Cuadro 16. Estudiantes de la escuela beneficiada con el sistema de captación de agua de lluvia para beber.....	33
Cuadro 17. Cronograma de actividades.....	36
Cuadro 18. Demanda anual de agua para servicios .....	42
Cuadro 19. Demanda anual de agua para beber .....	43
Cuadro 20. Precipitación media durante 10 años .....	44
Cuadro 21. Determinar el Diámetro de la tubería de caída .....	47
Cuadro 22. Determinar el Diámetro de las canaletas .....	48
Cuadro 23. Cotización de los materiales y elementos indispensables para instalar el sistema de captación de agua de lluvia.....	49

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cuencas hidrográficas y vertientes en Guatemala .....	10
Figura 2. Usos del agua en Guatemala .....	13
Figura 3. Causas de la mortandad infantil en Guatemala .....	15
Figura 4. Funcionamiento del ariete hidráulico.....	20
Figura 5. Compresión del aire contenido y descarga del líquido .....	20
Figura 6. Descompresión del aire contenido y venteo del líquido .....	21
Figura 7. Materiales a ensamblar en la construcción de un ariete hidráulico.....	23
Figura 8. Marcas registradas de las instituciones encargadas del tema hídrico en Guatemala .....	27
Figura 9. Tasa neta de matriculación pre-primaria, 2006 al 2008 Municipio de Escuintla .....	33
Figura 10. Encuesta ilustrada realizada al alumnado de la escuela pública .....	34
Figura 11. Encuesta popular pregunta número 1 .....	37
Figura 12. Encuesta popular pregunta número 2.....	38
Figura 13. Encuesta popular pregunta número 3.....	38
Figura 14. Encuesta popular pregunta número 4.....	39
Figura 15. Encuesta popular pregunta número 5.....	39
Figura 16. Pregunta número 5 de la encuesta inicial .....	40
Figura 17. Mapa mental de la selección del lugar objetivo .....	41
Figura 18. Utilización total de agua per cápita por país .....	43
Figura 19. Precipitación Pluvial del departamento de Escuintla .....	45
Figura 20. BOLETIN Climático 12-2014. Perspectiva de finalización de época de lluvias en Guatemala .....	46
Figura 21. Parte del laminado de galvanizado en el área. Donde se instaló el prototipo .....	46
Figura 22. Diseño del Eco-Muro y el listado de los materiales de ensamblaje del mismo .....	48
Figura 23. Fotografía 1 del interior de la escuela beneficiada con el prototipo .....	57
Figura 24. Fotografía 2 del interior de la escuela beneficiada con el prototipo .....	57
Figura 25. Fotografía 3 del interior de la escuela beneficiada con el prototipo .....	58
Figura 26. Fotografía 4 del interior de la escuela beneficiada con el prototipo .....	58
Figura 27. Fotografía 5 del interior de la escuela beneficiada con el prototipo .....	59
Figura 28. Fotografía 6 del interior de la escuela beneficiada con el prototipo .....	59
Figura 29. Fotografía 7 del interior de la escuela beneficiada con el prototipo .....	60
Figura 30. Fotografía 8 del interior de la escuela beneficiada con el prototipo .....	60
Figura 31. Fotografía 9 del interior de la escuela beneficiada con el prototipo .....	61
Figura 32. Fotografía 10 del interior de la escuela beneficiada con el prototipo .....	61
Figura 33. Fotografía 11 del interior de la escuela beneficiada con el prototipo .....	62
Figura 34. Ariete utilizado en el sistema de captación de agua de lluvia.....	62
Figura 35. Proceso de ensamblaje del Eco-Muro .....	63
Figura 36. El sistema de captación de agua de lluvia utilizando Eco-Muros para su almacenamiento .....	63

# RESUMEN

En Guatemala, país considerado como tercermundista, la población demanda de sus líderes los servicios necesarios para poder llevar una vida más sana; situación que se ve limitada debido a la falta de recursos de los entes llamados a proporcionarlos.

En este informe, correspondiente al trabajo de graduación, se presentan los aspectos más importantes para evidenciar el proceso mediante el cual se realizó el diseño de un sistema para el aprovechamiento del agua de lluvia en la EODP Escuela Oficial Urbana Mixta para Párvulos, Calzada 15 de Septiembre Santa Lucía Cotzumalguapa como propuesta para el fortalecimiento de la gestión medioambiental e integración del Plan de Gestión Ambiental y Social PGAS – SEGEPLAN.

En primer lugar, este proceso se lleva a cabo desde el área de Tecnología e informática y de la identificación de los inconvenientes que pueden ser solucionados gracias a este tipo de propuestas de carácter tecnológico, las cuales involucran la aplicación de conceptos desde diferentes áreas, la indagación, búsqueda de información, expresión gráfica y ejecución de una serie de actividades encaminadas a que ésta propuesta sea viable y su futura construcción pueda hacerse realidad, siendo de enorme beneficio para la institución, no solo por la disminución de costos de inversión para la instalación del sistema, sino también por las oportunidades de apoyar en el desarrollo físico, habitacional y formación integral de los estudiantes de la escuela pública.

En segundo lugar, el trabajo presenta los objetivos a ser alcanzados mediante su desarrollo, el planteamiento del problema y su respectiva descripción, que consiste en la falta de aprovechamiento de las aguas de la lluvia en la EODP Escuela Oficial Urbana Mixta para Párvulos, Calzada 15 de Septiembre Santa Lucía Cotzumalguapa, la metodología por medio de la cual se encaminarán las acciones y procesos que permitan dar solución al problema planteado y el marco teórico que se toma como referente para abordar los conceptos y términos propios de este campo, que permitan entender lo que se plantea para diseñar un sistema de recolección de agua de lluvia que dé solución al problema establecido.

# I. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas que afrontan las comunidades del área rural de nuestro país es la disponibilidad de agua potable, debido en muchos casos a la carencia de fuentes disponibles próximas a estas comunidades. Esta situación obliga a las personas a buscar el agua lejos de su comunidad, sin tomar en cuenta las medidas sanitarias necesarias para evitar enfermedades.

Existe una falta de ayuda gubernamental para proyectos de esta naturaleza, que necesitan una planificación y recursos económicos para su construcción. Teniendo la certeza que en los últimos años los seres humanos se han visto en la necesidad de crear conciencia acerca del cuidado de los recursos naturales de la tierra, juegan un papel importante los métodos y sistemas adecuados para la evacuación de los desechos provenientes de viviendas, comercios, evitando de este modo el daño al medio ambiente.

Santa Lucía Cotzumalguapa sufre una gran crisis hídrica que se hace presente en la mayoría de los municipios del Escuintla, fue así como se decidió aplicar una solución alternativa, el diseño, construcción y puesta en operación de un sistema de captación pluvial, como una fuente de agua alternativa para uso indirecto en EODP Escuela Oficial Urbana Mixta para Párvulos, Calzada 15 de Septiembre Santa Lucía Cotzumalguapa. Se elaboró el diseño de cada parte del sistema y se construyó. Sin embargo, con las pruebas de capacidad y resistencia de cada parte de la estructura del prototipo, se inició al mismo tiempo el perfeccionamiento de cada uno de los problemas suscitados. A partir de las fuentes consultadas y de las modificaciones se logró así la captura, filtración, almacenamiento y uso del agua de lluvia en la escuela.

La palabra Cotzumalguapa es de origen Cakchiquel, “lugar de las comadrejas”. Las palabras Santa Lucía hacen referencia al nombre de una mujer extraordinaria beatificada, son de origen español, por lo que el municipio, fue bautizado con el nombre de Santa Lucía Cotzumalguapa. El municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa se encuentra ubicado en el departamento de Escuintla, a 90 kilómetros de la ciudad capital y a 34 kilómetros de la cabecera departamental de Escuintla. Al sur occidente del país, siendo éste el municipio más importante del departamento por su indiscutible liderazgo industrial, comercial, agrícola y ganadero.

El municipio es plano en un 80%, en los extremos norte y noreste registra algunas elevaciones. Los principales ríos son Mapán, Cristóbal, Limones, Agüero, Petayá, Coyolate y Pantaleón. Éste se caracteriza por tener un clima muy caluroso y lluvioso, propio de las tierras bajas costeras del Océano Pacífico. Se encuentra a 356 metros sobre el nivel del mar. Su clima es cálido en la parte más baja del municipio y en la meseta superior es ligeramente templado. Su temperatura varía entre 17° a 32°C. La evaporación de la humedad es

aproximadamente de un 50% de la lluvia que cae; teniendo 150 días de lluvia al año, según el INSIVUMEH.

En el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa la época más crítica para obtener agua entubada es irónicamente en la temporada de invierno, debido a que las crecidas de los ríos rompen la tubería de conducción. De este modo se decidió aplicar una solución alternativa en EODP Escuela Oficial Urbana Mixta para Párvulos, “Calzada 15 de Septiembre”. El diseño, construcción y puesta en operación de un sistema de captación pluvial.

## **II. OBJETIVOS**

### **A. OBJETIVO GENERAL**

1. Diseñar y construir un sistema que permita la captación, aprovechamiento y purificación de agua de lluvia para ampliar el acceso a agua limpia y bebible a los alumnos de la EODP Escuela Oficial Urbana Mixta para Párvulos, Calzada 15 de Septiembre del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla.

### **B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Instalar un sistema hidráulico para recolectar agua de lluvia que se adecue al 85% de las necesidades y condiciones de la EODP Escuela Oficial Urbana Mixta para Párvulos, Calzada 15 de Septiembre.
2. Analizar la productividad del sistema de recolección de agua de lluvia determinado en las fases de conducción, almacenamiento, distribución y utilización del agua pluvial.
3. Optimizar el uso de agua dentro de la EODP Escuela Oficial Urbana Mixta para Párvulos, Calzada 15 de Septiembre por persona.
4. Determinar la viabilidad del prototipo a la relación costo-inversión/disponibilidad de la instalación en la EODP Escuela Oficial Urbana Mixta para Párvulos, Calzada 15 de Septiembre.

### **III. JUSTIFICACIÓN**

Un gran problema en el municipio Santa Lucía Cotzumalguapa es el impacto a la salud de las personas por el uso/consumo de agua contaminada. Solo el 15% de la población que vive en áreas urbanizadas del País recibe agua potable dentro de los parámetros establecidos por la norma COGUANOR NGO 29001. La ciudad posee tuberías viejas y averiadas que permitiría el contacto del agua potable con un factor externo, que puede ser hasta aguas residuales (Coliformes Fecales). En nuestro municipio se mantiene un historial de 240 días de lluvia al año, eso equivale a 8 meses. Lo que representó en el 2014, una precipitación de 3,556 mm de lluvia según el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático y su estación meteorológica ubicada en Camantulul. Agua dulce que no es aprovechada.

El municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa posee una extensión territorial de 432 kilómetros cuadrados y se encuentra ubicado en el departamento de Escuintla, a 90 kilómetros de la ciudad capital y a 34 kilómetros de la cabecera departamental de Escuintla, al sur occidente del país, siendo éste el municipio más importante del departamento por su indiscutible liderazgo industrial, comercial, agrícola y ganadero.

El municipio es plano en un 80%, en los extremos norte y noreste registra algunas elevaciones. Los principales ríos son Mapán, Cristóbal, Limones, Agüero, Petayá, Coyolate y Pantaleón. Éste se caracteriza por tener un clima muy caluroso y lluvioso, propio de las tierras bajas costeras del Océano Pacífico. Se encuentra a 356 metros sobre el nivel del mar. Su clima es cálido en la parte más baja del municipio y en la meseta superior es ligeramente templado. Su temperatura varía entre 17° a 32°C. La evaporación de la humedad es aproximadamente de un 50% de la lluvia que cae; teniendo 150 días de lluvia al año, lo que representa 140 mm de lluvia anual, según el INSIVUMEH.

En tiempos normales el invierno inicia en el mes de abril terminando a finales de octubre o principios de noviembre. Durante los meses de julio, agosto, septiembre y octubre suele llover con mucha intensidad, casi siempre con fuertes tormentas eléctricas y vientos. El fenómeno de La Niña ha alterado estas condiciones, convirtiéndola en una de las zonas más vulnerables ante las inundaciones, debido al desbordamiento del río Coyolate y la falta de un adecuado alcantarillado entre otros factores.

Con base en encuestas se identificó que la falta de Educación Ambiental (EA) y una cultura de Desarrollo Sostenible, no permite reconocer el gran deterioro por el que está pasando la estructura ecológica del municipio y en especial la ciudad, que deben ser preocupación prioritaria tanto para las autoridades como para la comunidad en general. Un punto de partida en la construcción de una cultura de Desarrollo Sostenible así como la del cuidado y prevención de los recursos naturales, en este caso hídricos es implementar el sistema hidráulico de captación de agua de lluvia y replicarlo.

Uno de los grandes problemas de este recurso es la contaminación que percibe y el impacto que tiene en la salud de la población en la ciudad, ya que apenas el 4.5% de los municipios de Guatemala otorgan el tratamiento de agua para convertirla realmente en agua potable, agua que consumen sus comunidades, y es por eso que apenas un 15% de la población del área urbana recibe agua apta para el consumo humano. (MARN, 2012)

Si se captara toda la lluvia en los techos y en algunos suelos, se podría ahorrar de 10% a 15% del agua que se consume en los hogares. Y las escuelas de Santa Lucía Cotzumalguapa, del departamento de Escuintla se abastecen de agua contaminada, porque en el trayecto de la distribución de agua potable la ciudad poseen tuberías viejas y averiadas sin reparación que permiten el contacto del agua potable con un factor externo, que puede ser hasta aguas residuales. (Manual sobre sistemas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia para uso doméstico y consumo humano, F. Anaya, G. M. 2006.)

Existen 1400 millones de kilómetros cúbicos de agua en el planeta tierra, menos del 1% es agua dulce; de esto, sólo el 0.0001% es accesible. Mientras el 70.8% de la superficie de la tierra es océano (agua salada), el agua dulce es la forma más escasa del vital líquido, pero la que permite la existencia de los seres vivos sobre la tierra. (Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo WCED, 2012)

El sistema de captación y aprovechamiento del agua de lluvia representan una opción real para abastecer agua, en cantidad y calidad a aquellas personas que no cuentan con este vital líquido. La utilización del agua de lluvia es una opción viable para el consumo humano, ya que el agua potable de la mayoría de las ciudades de Guatemala contiene altas concentraciones de sales, están contaminadas con organismos coliformes totales y organismos coliformes fecales o aún peor no existe disponibilidad, cualquiera de las anteriores causa problemas en la salud de las personas.

## IV. MARCO TEÓRICO

Para realizar el diseño de nuestra propuesta de sistema de recolección y distribución de agua de lluvia se tomará en cuenta los siguientes temas, los cuales están inmersos en este trabajo.

### A. EL AGUA

«(Del lat. *Aqua*) f. Sustancia cuyas moléculas están formadas por la combinación de un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno, líquida, inodora, insípida e incolora. Es el componente más abundante de la superficie terrestre y, más o menos puro, forma la lluvia, las fuentes, los ríos y los mares; es parte constituyente de todos los organismos vivos y aparece en compuestos naturales.» (RAE)

«Sustancia líquida sin olor, color ni sabor que se encuentra en la naturaleza en estado más o menos puro formando ríos, lagos y mares, ocupa las tres cuartas partes del planeta Tierra y forma parte de los seres vivos; está constituida por hidrógeno y oxígeno ( $H_2O$ ).» (MARN)

### B. AGUA POTABLE

El agua potable está libre de sustancias y microorganismos que puedan afectar la salud. Los requerimientos de potabilidad del agua, que pueden variar dependiendo de múltiples factores:

1. Que posea menos de 10 bacterias intestinales por litro.
2. Que no contenga impurezas químicas.
3. Que no presente sabor, olor ni color o turbiedad objetables.
4. Que no provenga de manantiales sujetos a contaminación por aguas negras (NORMA GUATEMALTECA COGUANOR NTG 29001).

### C. CONTAMINANTES EN EL AGUA

1. Carbono orgánico total (COT): Concentración de carbono orgánico oxidable presente en el agua.

2. DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno): Cantidad de oxígeno consumido por la actividad metabólica de microorganismos, en un período de cinco días, a 20 °C considerando la suma de las concentraciones solubles y en suspensión.

3. Sólidos totales disueltos (STD): Cantidad total de sólidos expresada en mg/L o ppm, que permanecen en una muestra de agua cuando ésta se evapora totalmente.

4. Sólidos suspendidos totales (SST): Concentración de partículas que son retenidas en un medio filtrante de microfibras de vidrio, con un diámetro de poro de 1.5 micrómetros o su equivalente.

## D. LA LLUVIA

*«La lluvia es la precipitación de partículas líquidas de agua, de diámetro mayor de 0,5 milímetros o de gotas menores, pero muy dispersas. Si no alcanza la superficie terrestre no sería lluvia, y si el diámetro es menor, sería llovizna. La lluvia se mide en milímetros.»* (WMO)

Las gotas de lluvia pequeñas son casi esféricas, mientras que las mayores están achatadas. Su tamaño oscila entre los 0,5 y los 6,35 milímetros, mientras que su velocidad de caída varía entre los 8 y los 32 kilómetros por hora, dependiendo de su intensidad y volumen.

La precipitación se mide en milímetros de agua. Por cada milímetro de agua de lluvia que cae sobre un metro cuadrado de superficie de captación, se obtendrá un litro de agua. Es decir, el área de lámina de agua recogida en una superficie plana (1 milímetro de agua de lluvia equivale a 1 L de agua por metro cuadrado).

No obstante, existen coeficientes de ponderación que modifican el enunciado anterior debido a las pérdidas en las superficies de captación causadas el rebote del agua al caer, la absorción, evaporación del agua y la pendiente de las superficies. Pero dado que en su influencia dependen de las condiciones de cada lugar en particular, los valores pueden ser modificados con base en estudios de diseño.

La cantidad de lluvia que cae en un lugar se mide con el pluviómetro. La medición se expresa en milímetros de agua y equivale al agua que se acumularía en una superficie horizontal e impermeable durante el tiempo que dure la precipitación o solo en una parte del periodo de la misma. (F. Anaya, G. M. 2006.)

Oficialmente, la lluvia se expresa respecto a la cantidad de precipitación por hora. Una de las expresiones más empleadas en los fenómenos como las inundaciones repentinas, deslaves y otros con daños materiales.

Cuadro 1. Clasificación de la precipitación según la intensidad

<b>Clase</b>	<b>Intensidad media en una hora (mm/h)</b>
<b>Débiles</b>	$\leq 2$
<b>Moderadas</b>	$> 2 \text{ y } \leq 15$
<b>Fuertes</b>	$> 15 \text{ y } \leq 30$
<b>Muy fuertes</b>	$> 30 \text{ y } \leq 60$
<b>Torrenciales</b>	$> 60$

## E. LA LLUVIA ÁCIDA

El agua de lluvia se considera ácida cuando sus valores de Ph son inferiores a los considerados normales. El Ph es una escala que va de 0 a 14 y nos indica que tan ácida o alcalina es una sustancia.

Cuadro 2. Escala de potencial hidrógeno

TIPO	Ph	Ejemplo	VALOR
Alcalino	7>	Sangre	7.3
Neutro	7	Agua pura	7
Ácido	7<	Jugo de limón	2.3

Este fenómeno se produce principalmente debido a la quema de combustibles que lanzan a la atmósfera gases, como:

1. Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)
2. Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>).

Los cuales al formar ácidos sulfúricos (H<sub>2</sub>, SO<sub>4</sub>) y nítrico (HNO<sub>3</sub>), que mezclados con el agua de lluvia producen una disminución en el Ph de la lluvia por debajo de 5.0, lo cual es conocido como lluvia ácida.

## F. CLASIFICACIÓN DE PRECIPITACIONES ACUOSAS

1. Lluvia. Es un término general para referirse a la mayoría de precipitaciones acuosas. Puede tener cualquier intensidad, aunque lo más frecuente es que sea entre débil y moderada.

2. Llovizna. Lluvia muy débil en la que a menudo las gotas son muy finas e incluso pulverizadas en el aire. En una llovizna la pluviosidad o acumulación es casi inapreciable. Popularmente se le llama garúa, orvallo, sirimiri, pringas o calabobos.

3. Chubasco. Es una lluvia de corta duración, generalmente de intensidad moderada o fuerte. Los chubascos pueden estar acompañados de viento.

4. Tormenta eléctrica. Es una lluvia acompañada por actividad eléctrica y, habitualmente, por viento moderado o fuerte, e, incluso, con granizo. Las tormentas pueden tener intensidades desde muy débiles hasta torrenciales, e, incluso, a veces son prácticamente secas. Oficialmente se clasifica como día de tormenta aquel en el que al menos un observador oye un trueno.

5. Aguacero. Es una lluvia torrencial, generalmente de corta duración.

6. Rocío. No es propiamente una lluvia, pero sí una precipitación acuosa. Se forma en las noches frías y despejadas, por condensación de la humedad del ambiente.

## G. AGUA DE LLUVIA PUEDE SER POTABILIZADA

Las propiedades físicas y químicas del agua pluvial son superiores a las fuentes de agua subterránea. El agua de lluvia es en teoría pura, sin embargo al caer se escurre a través de superficies arrastrando contaminantes que pueden ser tóxicos. Se ha comprobado que los techos tanto de zonas urbanas como rurales, se han registrado valores altos en plomo, coliformes fecales de las aves, roedores, contaminación de la atmósfera por las emanaciones de CO<sub>2</sub> industriales y de los vehículos (OMS, 2014).

El agua de lluvia se potabiliza con métodos de filtración y purificación. En Guatemala existe una norma que especifica los parámetros que debe poseer el agua de lluvia para considerarla potable, parámetros establecidos en la norma guatemalteca COGUANOR NTG 29001.

## H. ESTADO DEL AGUA EN GUATEMALA

Guatemala es un país montañoso, ubicado geográficamente en una región donde el clima es cálido y con una cantidad de agua relativamente abundante. Esta cantidad varía según las condiciones locales, el efecto del relieve de las montañas y la distancia entre el océano Pacífico y Atlántico. Las montañas definen la dirección hacia donde drenan los ríos. En Guatemala se conforman tres grandes regiones llamadas “vertientes”, que definen hacia donde van a desembocar los ríos que nacen en el territorio nacional, y en cada una de estas vertientes se ubican las cuencas hidrográficas.

El 22% de las aguas de los ríos del país drenan hacia el Océano Pacífico, un 31 % van hacia el mar Caribe y el restante 47% drenan hacia el Golfo de México. El Cuadro 1 presenta la dimensión de las vertientes, la proporción con respecto al área del país, el número de cuencas en cada vertiente y el caudal promedio. En la Figura 1 se visualiza las tres vertientes y la división de las cuencas hidrográficas. (MARN, 2012)

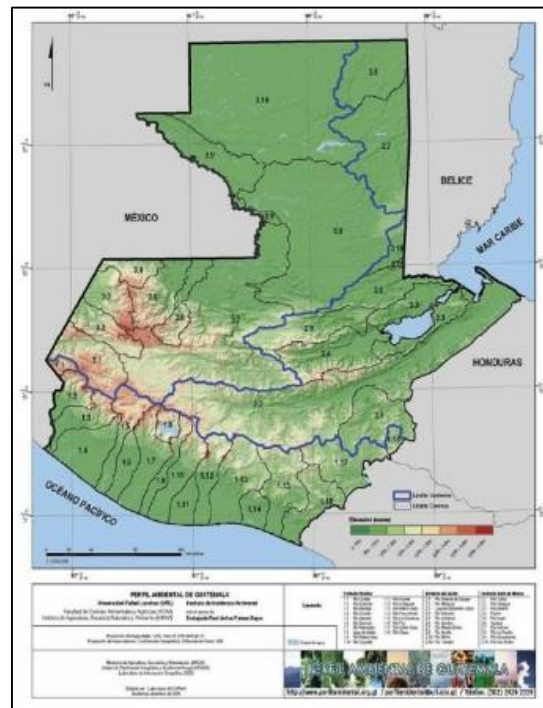
Cuadro 3. Vertientes de Guatemala

<b>Vertiente</b>	<b>Área km<sup>2</sup></b>	<b>% respecto al país</b>	<b>Cuencas (número)</b>	<b>Caudal promedio (m<sup>3</sup>/seg.)</b>
<b>Pacífico</b>	24,237	22	18	808
<b>Caribe</b>	33,799	31	10	1010
<b>Golfo de México</b>	50,852	47	10	1372
<b>Total</b>	108,889	100	38	3,190

Las cadenas montañosas también han facilitado el surgimiento de lagos y lagunas. El país cuenta con 7 lagos, 19 lagunas costeras, 49 lagunas, 109 lagunetas, 7 embalses. Los sistemas lacustres más sobresalientes, tanto por su extensión como por su belleza escénica, son los lagos de Izabal con 589.6 km<sup>2</sup>, Atitlán con 130 km<sup>2</sup> Amatitlán con 15.2 Km<sup>2</sup> y Petén Itzá con 99 Km<sup>2</sup>.

En Guatemala, al igual que en todos los países del mundo, los recursos hídricos están sufriendo cambios negativos en cuanto a calidad y disponibilidad, lo cual ocasiona limitaciones de uso, cualquiera que sea este: humano, riego, hidroeléctricas e industria. En general, la mayoría de las personas desconoce el funcionamiento del ciclo hidrológico y como la intervención humana afecta el mismo. También se considera al agua como un bien abundante y de poco valor. Desde el punto de vista de la sociedad guatemalteca, la percepción general se concentra en aspectos de contaminación, pero muy poco en el aspecto de derechos de uso, manejo integrado o uso eficiente del recurso.

Figura 1. Cuencas hidrográficas y vertientes en Guatemala.



La fuente más importante de agua es la precipitación pluvial. Las lluvias en Guatemala están fuertemente influenciadas por las cadenas montañosas, así la Sierra Madre delimita un sistema de laderas que corren paralelas al litoral del Pacífico, una zona conocida como boca costa. Estas laderas actúan como mecanismo de levantamiento para la humedad que viene del Océano Pacífico, ayudando a que las lluvias se presenten tempranamente en esta zona con respecto al resto del territorio.

Las cordilleras montañosas del Norte delimitan otro sistema de laderas, la denominada Franja Transversal del Norte. Estas laderas actúan como un mecanismo de ascenso para los vientos cargados de humedad provenientes del Mar Caribe y Golfo de México.

Entre los ríos más caudalosos del país destacan el Usumacinta con 1,800 m<sup>3</sup>/seg; el Motagua con 240 m<sup>3</sup>/seg; el Sarstún con 172 m<sup>3</sup>/seg; el Suchiate con 28 m<sup>3</sup>/seg en la costa sur.

La disponibilidad de agua en Guatemala supera el uso actual, sin embargo, si se continúa con los niveles de contaminación y el desperdicio del líquido, habrá problemas de abastecimiento a futuro por eso continuamente se escucha hablar de escasez y falta de agua. Esto se debe principalmente a dos razones: la temporalidad del recurso agua y su nivel de contaminación.

La temporalidad se produce porque se observan dos estaciones muy marcadas: la lluviosa y la seca. La lluvia se concentra en los meses de junio y septiembre, con una canícula o período de menor precipitación, entre julio y agosto. En las regiones secas, la estación sin lluvias es de seis meses, que comprenden de noviembre a abril, mientras que para las regiones más húmedas, se reduce a dos o tres meses. La agricultura, el principal usuario del agua en términos de volumen, requiere del agua precisamente en la época seca. En el caso del agua contaminada, solo por descargas industriales y municipales, el volumen es equivalente al de 120 lagos de Amatitlán contaminados por año.

Cuadro 4. Disponibilidad de agua en Guatemala

<b>Oferta del agua</b>	<b>Al año 2005 millones de m<sup>3</sup></b>	<b>Al año 2025 millones de m<sup>3</sup></b>
<b>Total de oferta hídrica bruta o disponibilidad bruta (Incluye agua superficial y subterránea)</b>	84,991	88,390
<b>Caudal ecológico</b>	21,248	22,097
<b>Agua contaminada por descargas</b>	33,996	35,355
<b>Oferta hídrica neta o disponibilidad neta</b>	29,747	30,936

Los niveles de los mantos acuíferos se están reduciendo. Debido a la distribución de las lluvias en el país, hay algunos meses en los que se presenta una excesiva precipitación y otros con muy poca o ninguna, esto ocasiona escasez en los meses secos. Factores como la deforestación, el cambio de uso de la tierra, las tierras sobre-utilizadas y la pavimentación de las áreas urbanas, entre otros, dificultan los procesos de recarga de los acuíferos, incrementando las crecidas y reduciendo los caudales en la época seca al disminuir las posibilidades de que el agua se infiltre en el suelo.

## I. CONSUMO DE AGUA POR PAÍS EN GUATEMALA

Existe poca información actualizada sobre estadísticas de los diferentes usos del agua. Es por ello que se recurre a estimaciones gruesas de los usos más importantes del recurso hídrico en el país. El Cuadro 5 resume las estimaciones del uso actual y a futuro del recurso agua en Guatemala.

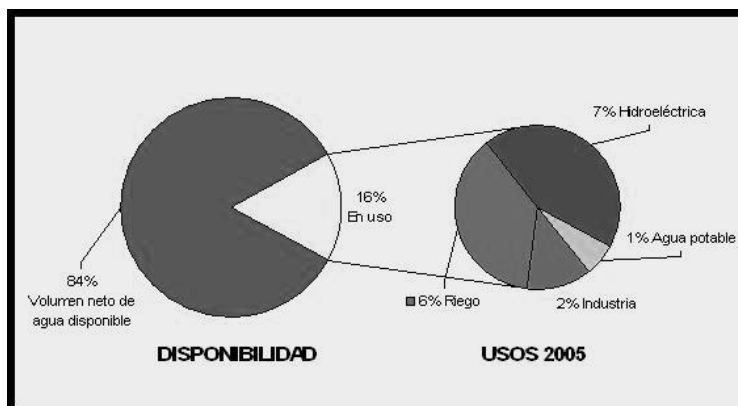
Cuadro 5. Uso actual y potencial de agua en Guatemala

<b>Demanda del agua</b> (según usos)	<b>Cantidad usada al año 2005</b> (millones de m <sup>3</sup> )	<b>Proyección de uso al año 2025</b> (millones de m <sup>3</sup> )
<b>Agua potable</b>	284	1,211
<b>Riego</b>	2,200	10,200
<b>Industria</b>	850	3,625
<b>Energía*</b>	2,883	15,000
<b>Usos total</b>	6,217	30,036

\* El volumen es solo para fines comparativos, pues al pasar por la turbina el agua queda disponible nuevamente para su uso.

Se estima que el consumo de agua potable ronda los 284 millones de metros cúbicos anuales (equivalente al volumen de agua del Lago de Amatitlán por año), lo cual representa el 1% del agua que tiene el país, aunque las proyecciones para el año 2025 indican un crecimiento hacia el 4%, es decir 1, 211 millones de metros cúbicos por año. En la actualidad el mayor consumidor de agua lo representa el sector agrícola con un 6%. Para el año 2002 se realizó un censo y el suministro de agua potable de en ese entonces las 331 municipalidades, se abastece del 70% con aguas superficiales y 30% con aguas subterráneas, un 66% usa sistemas de gravedad, 18.5% utilizan bombeo y 15.2% son sistemas mixtos.

Figura 2. Usos del agua en Guatemala



FUENTE: <http://www.conagua.org.gt/>

En riego se estima que se utilizan 2,200 millones de metros cúbicos anuales, basándose en un consumo promedio equivalente a 1.10 litros por segundo por hectárea.

Para producción de energía, se estima que se usan 2,283 millones de metros cúbicos de agua anuales (equivalente al agua de 10 lagos de Amatitlán), aunque el agua después de pasar por la turbina queda disponible nuevamente para su uso. El 32% de la potencia eléctrica instalada en el país (529 MW) es hidroeléctrica.

En la industria no existen datos confiables sobre el uso del agua por este sector. Se estima una utilización de 425 millones de metros cúbicos (80% del volumen producido) en el proceso de destilación, rectificación y mezcla de bebidas espirituosas, productos vinícolas, fabricación de cerveza y la producción de bebidas gaseosas, jugos y otras. Es importante hacer notar que hay otros usos considerables de agua en la industria alimenticia, así como la limpieza de equipo e instalaciones, la alimentación de calderas, y el agua utilizada para refrigeración y enfriamiento.

Existen otros usos como pesca, turismo, transporte acuático, que aunque no consumen agua directamente, si requieren del uso del recurso en cantidad y calidad. Además el agua también es un receptor de desechos, siendo este uso el más nocivo, porque se reduce la disponibilidad futura del recurso.

## J. LAS PARTES INDISPENSABLES DEL SISTEMA HIDRÁULICO PARA LA CAPTACIÓN, DISTRIBUCIÓN Y APROVECHAMIENTO DE AGUA PLUVIAL.

1. Área de captación: Lugar donde se acumula el escurrimiento del agua de lluvia, antes de realizar su disposición final. Se utilizará las superficies de los techos de casas y escuelas.

2. Sistema de 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. El material utilizado debe ser liviano, resistente, fácil de unir entre sí y que no permita la contaminación con compuestos orgánicos o inorgánicos.

3. Dispositivo de retiro de contaminantes y filtración: Antes de conducir el agua a la infraestructura de almacenamiento se colocará un dispositivo que retire y filtre los contaminantes que puede arrastrar el agua a su paso por las superficies, como pueden ser sedimentos, metales, grasas y basuras. De esta forma el agua llegará sin residuos tóxicos al lugar de almacenamiento.

4. Tanques de almacenamiento: Se trata de sistemas modulares en donde se conserva el agua de lluvia captada, se pueden situar por encima o por debajo de la tierra. Deben ser de material resistente, impermeable para evitar la pérdida de agua por goteo o transpiración y estar cubiertos para impedir el ingreso de polvo, insectos, luz solar. Además, la entrada y la descarga deben de contar con mallas para evitar el ingreso de insectos y animales.

5. Eco-Muro Cisterna: es un sistema de recolección de aguas lluvia elaborada con envases PET (Tereftalato de Polietileno) que al ir unidas entre sí conforman módulos que pueden ser fácilmente instalados, ocupando poco espacio y su costo es mínimo, ahorrando y reciclando hacia el mejoramiento del medio ambiente.

6. By-Pass: Es la estructura de una obra hidráulica de almacenamiento a través de la cual se descargan los volúmenes que exceden la capacidad del embalse, con objeto de evitar fallas por desbordamiento. También se utiliza para desviar la corriente de lluvia ácida y objetos que ensuciarían el Eco-Muro.

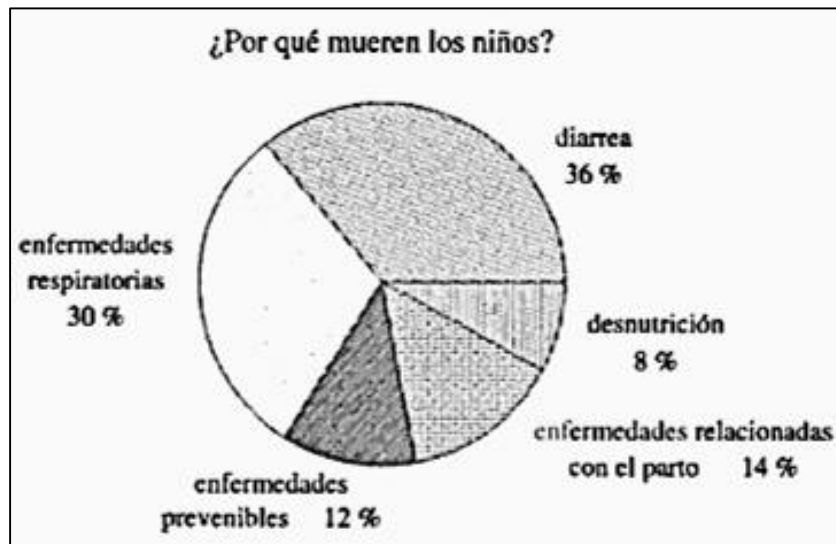
## K. DISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA

La importancia de captar, almacenar y utilizar el agua de lluvia para uso y consumo en la EODP Escuela Oficial Urbana Mixta para Párvulos Calzada 15 de Septiembre es de gran relevancia, sobre todo porque se tiene acceso al agua entubada solo durante las tardes, momento en el cual no se realiza ninguna actividad dentro de la escuela en cuestión.

Esta opción permite satisfacer las necesidades básicas de los estudiantes de la escuela. Asimismo, ayuda a prevenir la presencia de enfermedades gastrointestinales que tanto han

afectado a la niñez guatemalteca. En Guatemala tenemos la tasa de mortalidad infantil (24) a causa de enfermedades gastrointestinales más elevada de Latinoamérica, después de Haití, que suma 9 por cada mil en el año 2011, en niños nacidos con edades comprendidas entre 0 a 5 años de edad. (UNICEF, 2011)

Figura 3. Causas de la mortandad infantil en Guatemala



FUENTE: <http://www.oms.org/>

Es importante identificar los principales componentes de un Sistema de Captación de Agua de Lluvia, su funcionamiento, los criterios de diseño más sobresalientes, las características de los materiales de construcción, la forma de construir estos sistemas, su operación y mantenimiento, de tal forma que se puedan ejecutar todos los procesos del sistema hidráulico. Para ello se debe considerar lo siguiente:

1. Localización del sitio para establecer el Sistema de captación: Se realizará considerando la recopilación de información general, identificación de impactos ambientales y programas de mitigación de la EODP Escuela Oficial Urbana Mixta para Párvulos Calzada 15 de septiembre.

2. Determinación de la demanda de agua por alumno o la escuela completa: La demanda o dotación por persona, es la cantidad de agua que necesita una persona diariamente para cumplir con las funciones físicas y biológicas de su cuerpo. Además, considera el número de habitantes beneficiados. La expresión matemática (1) para calcular la demanda de agua es la siguiente:

$$D_j = \frac{Nu * Dot * Nd_j}{1000}$$

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

Donde:

$D_j$  = demanda de agua en el mes  $j$  (metros cúbicos/mes/población).

$U_n$  = número de beneficiados del sistema.

$Dot$  = dotación diaria por persona (L/persona/día).

$N_{d_j}$  = Número de días efectivos del mes  $j$ .

$D_{anual}$  = demanda de agua de la población.

$J$  = número del mes ( $j = 1, 2, 3, \dots, 12$ ).

1000 = factor de conversión de litros a metros cúbicos.

3. Cálculo de la precipitación pluvial neta: la eficiencia de la captación del agua de lluvia depende del coeficiente de escurrimiento de los materiales del área de captación, el cual varía de 0.0 a 0.9. Se tomará como referencia la Estación Climatológica “Camantulul”, ubicada en la finca Camantulul del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla. La Estación Climatológica es parte del programa del Instituto Privado de Investigación sobre el Cambio Climático (base de datos consultada en [http://www.icc.org.gt/estaciones\\_climatologicas/](http://www.icc.org.gt/estaciones_climatologicas/), 2014). A continuación se presenta la fórmula (2) para estimar la precipitación neta.

$$PN_{ijk} = P_{ijk} * \eta_{captación}$$

Donde:

$PN_{ijk}$  = Precipitación pluvial neta del día  $i$ , mes  $j$  y año  $k$ . Medido en milímetros.

$P_{ijk}$  = Precipitación total del día  $i$ , mes  $j$  y año  $k$ . Medido en milímetros.

$\eta_{captación}$  = Eficiencia de captación del agua de lluvia, 0.765. Se obtiene de multiplicar el coeficiente de escurrimiento ( $C_e$ ) por el coeficiente de captación 0.85.

Cuadro 6. Coeficientes del escurrimiento ( $C_e$ ) de los diferentes materiales en el área de captación

Tipo de captación	$C_e$
<b>Cubierta superficiales</b>	
<b>Concreto</b>	0.6 – 0.8
<b>Pavimento</b>	0.5 – 0.6
<b>Geomembrana de PVC</b>	0.85 – 0.90
<b>Azotea</b>	
<b>Azulejos, teja</b>	0.8 – 0.9
<b>Hojas de metal acanaladas</b>	0.7 – 0.9
<b>Orgánicos (hojas de barro)</b>	< 0.2

Para realizar el análisis del volumen de agua de lluvia captada en litros, con relación al área de captación y precipitación pluvial promedio. De esta forma, se puede obtener el volumen del agua de lluvia a captar para cualquier condición, mediante las sumas correspondientes a las intersecciones de precipitación contra el área de captación.

Cuadro 7. Volumen de agua captada en litro con relación al área de captación y a la precipitación pluvial promedio

Área de captación (m <sup>2</sup> )	Precipitación pluvial promedio (mm)							
	1	10	100	140	1.000	2.000	3.000	4.000
1	1	10	100	140	1.000	2.000	3.000	4.000
10	10	100	1.000	1.400	10.000	20.000	30.000	40.000
50	50	500	5.000	7.000	50.000	100.000	150.000	200.000
100	100	1.000	10.000	14.000	100.000	200.000	300.000	400.000
150	150	1.500	15.000	21.000	150.000	300.000	450.000	550.000
200	200	2.000	20.000	28.000	200.000	400.000	600.000	700.000
250	250	2.500	25.000	35.000	250.000	500.000	750.000	850.000
300	300	3.000	30.000	42.000	300.000	600.000	900.000	1.000.000
350	350	3.500	35.000	49.000	350.000	700.000	1.050.000	1.150.000
400	400	4.000	40.000	56.000	400.000	800.000	1.200.000	1.300.000
450	450	4.500	45.000	63.000	450.000	900.000	1.350.000	1.450.000
500	500	5.000	50.000	70.000	500.000	1.000.000	1.500.000	1.600.000

4. Área de captación de agua de lluvia se obtiene con la ecuación (3):

$$A = a \times b$$

Donde:

A = Área de captación, medido en metros cuadrados.

a = Ancho o el fondo de la lámina, en metros.

b = Largo de la canaleta por cantidad de ellas, en metros.

En caso de que no exista el área de captación de agua de lluvia, se diseñará en función (4) de la demanda anual de los beneficiados y la precipitación pluvial neta anual.

Donde:

$A_{ec}$  = Área efectiva de captación (m<sup>2</sup>).

$D_{anual}$  = Demanda anual de la población.

$\sum_{j=1}^{12} PN_j$  = Precipitación Pluvial Neta (mm).

J = meses cuya precipitación media es,  $\geq 100$  mm.

$$A_{ec} = \frac{D_{anual}}{\sum_{j=1}^{12} \overline{PN}_j}$$

5. Sistema de conducción del agua de lluvia captada: El agua pluvial captada en el techo de la escuela debe ser conducida al sistema de almacenamiento, mediante canaletas de lámina galvanizada y tubería de PVC. Cuando la pendiente es mayor al 10%, es necesario contar con un dispositivo hidráulico para reducir la velocidad del agua. El caudal de conducción en la tubería se obtiene con la siguiente expresión (5):

$$Q = A * I$$

Donde:

Q = caudal, medida en metros cúbicos por segundo.

A = área de la sección transversal de la canaleta, medida en m<sup>2</sup>.

I = intensidad media de escurrimiento, metros por segundo. (La velocidad en canaletas con pendiente de 2% es 1.2 m/s)

El diámetro de la tubería de caída se determina despejando el área de la ecuación (6) de continuidad (Sotelo, 2005).

$$D = 2 * \sqrt{\frac{Qc}{\pi V}}$$

Donde:

Qc = caudal de conducción, medida en metros cúbicos por segundo.

V = velocidad de escurrimiento, en m/s.

$\pi = 3.1416$

Tabla de referencia, muestra la relación entre el tamaño del área de captación en m<sup>2</sup> y el diámetro de la caída con capacidad de desalojo para intensidad de lluvia de 0.41 mm/h.

Cuadro 8. Diámetro de la tubería de caída según superficie de captación, utilizando la fórmula de Sotelo.

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

Con la fórmula (7) de Darcy – Weisbach, se obtiene la pérdida por fricción de un tubo.

$$h_L = f \frac{L V^2}{D 2g}$$

Donde:

D = diámetro de la tubería, medida en metros.

V = velocidad de escurrimiento, en m/s.

hL = pérdida por fricción, medida en metros.

f = factor de fricción, adimensional.

L = longitud del tubo, medida en metros.

g = aceleración de la gravedad, m/s<sup>2</sup>.

Cuadro 9. Altura, Área, Perímetro, Radio.

Forma	Altura tirante	Área hidráulica	Perímetro mojado	Radio hidráulico	Observaciones
Circular	0.5D	1.57 r <sup>2</sup>	3.14r	0.500r	D = diámetro r = radio
Rectangular	y	by	B+2y	$\frac{by}{b+2y}$	b = base y = tirante
Triangulo 90°	y	y <sup>2</sup>	2.83y	$\frac{y}{2.83}$	y = tirante
Trapezoidal talud 60° con la horizontal				$y \left( \frac{b+y/\sqrt{3}}{b+4y/\sqrt{3}} \right)$	b = ancho y = tirante

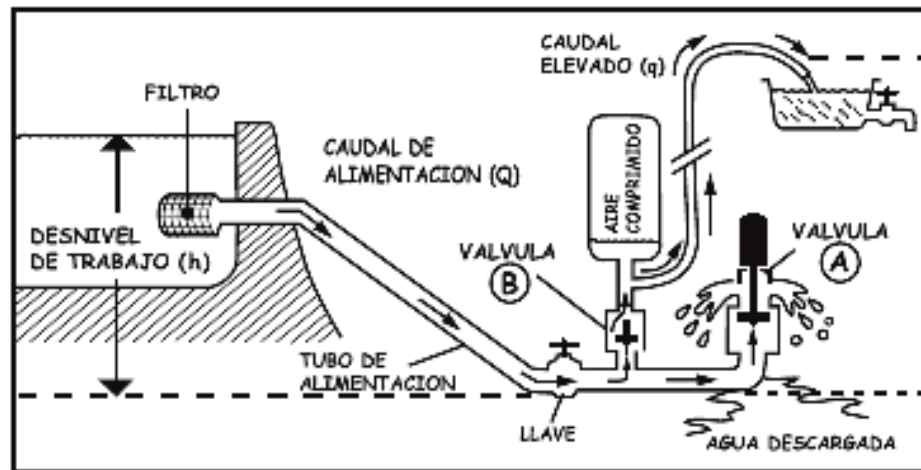
FUENTE: <http://www.mathematics.edu/>

6. Ariete hidráulico: Es una bomba hidráulica que no necesita energía eléctrica o térmica para su funcionamiento ya que aprovecha la energía cinética producida por un golpe de ariete de un fluido. Este tipo de bomba es ideal para lugares sin electricidad o en donde no es posible el abastecimiento constante de combustibles. El ariete hidráulico fue patentado en 1796, por Joseph Montgolfier (1749-1810), consiste en una máquina que aprovecha únicamente la energía de un pequeño salto de agua para elevar parte de su caudal a una altura superior.

a. Funcionamiento: La operación es simple. Para iniciar la operación, basta con abrir la válvula de la tubería conectada a la fuente de agua de la propiedad. La presión fuerza la abertura de la válvula de retención, que permite la entrada de agua en la botella de PET. El aire contenido en el interior de la botella es comprimido y la resistencia a la entrada de agua se incrementa hasta que la presión dentro de la botella suba y provoque el cierre de la válvula. Como el agua es impedida de volver a la tubería de suministro, sale por el tubo

que desemboca en un depósito. El agua se acelera a lo largo del tubo de alimentación hasta alcanzar una velocidad suficiente como para que se cierre la válvula *A*, de la Figura 3. Entonces se crea una fuerte presión, al detenerse el agua bruscamente. Este golpe de presión abre la válvula *B* y hace pasar un pequeño chorro de agua al depósito *C*, hasta que se equilibran las presiones. En ese momento, la gravedad abre la válvula *A* y se cierra la *B*, repitiéndose de nuevo el ciclo. El agua, a cada golpe de aire hace fluir el agua, con continuidad, por la manguera de elevación. El ritmo de golpes por segundo suele ser de uno o dos.

Figura 4. Funcionamiento del ariete hidráulico.



b. Golpe de ariete: El ariete hidráulico es una máquina que provoca continuos cierres bruscos de un circuito con agua en aceleración y que aprovecha las sobrepresiones para mandar parte del caudal a una gran altura. En las figuras 5 y 6 se pueden observar los dos momentos del golpe de ariete.

Figura 5. Compresión del aire contenido y descarga del líquido.

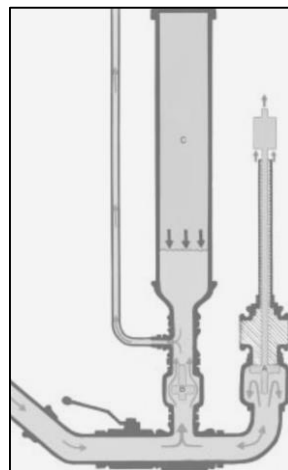
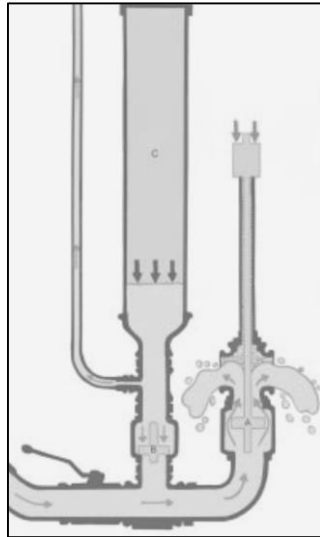


Figura 6. Descompresión del aire contenido y venteo del líquido.



c. Partes indispensables:

1) La altura de elevación ( $H$ ): es la altura de descarga o la altura a donde se pretende transportar el líquido. A razón de 12 veces la altura ( $h$ ), el rendimiento de los arietes disminuye en gran medida. Se espera que sea entre 5 veces mayor que  $h$ , pero no mayor de 10 veces.

2) Cabeza de Succión ( $h$ ): es el desnivel de trabajo del cual proviene el agua a trasportar.

3) Razón de cambio de altura ( $H/h$ ): es el cociente entre la altura de elevación y la cabeza de succión. Al aumentar el cociente, el rendimiento del ariete disminuye.

4) Rendimiento ( $R$ ): El rendimiento del ariete hidráulico representa el porcentaje de líquido que se puede bombear en relación al total de lo canalizado por el ariete. En la Cuadro 8 puede verse cómo varía el rendimiento energético.

Cuadro 10. Rendimiento energético del ariete hidráulico.

$H/h$	2	3	4	6	8	10	12
$R$	0.85	0.81	0.76	0.67	0.57	0.43	0.23

5) Tubo de alimentación: medio por el cual se transporta el líquido que alimenta el ariete hidráulico.

6) Tubo de descarga: medio por el cual se transporta el líquido de descarga que va hacia el lugar objetivo a transportar el mismo.

7) Válvula (A): Se cierra hasta que el flujo sea suficiente y justo antes del golpe de ariete.

8) Válvula (B): Normalmente cerrada. Es abierta debido al golpe de ariete y deja pasar el caudal del líquido hacia el destino predefinido.

9) Caudal de alimentación ( $Q$ ): Hay que tener en cuenta que el agua que se acelera en el tubo de alimentación, es la que provoca el “golpe de ariete”, por lo que este ha de tener una longitud, inclinación y diámetro adecuados, sin curvas ni estrechamientos que provoquen pérdidas de carga por rozamiento. El ángulo de inclinación del tubo de alimentación  $\alpha$  debe estar entre los  $10^\circ$  y los  $45^\circ$  con la horizontal. El caudal de alimentación del ariete dependerá del diámetro de dicho tubo de acometida. En el cuadro 9 se pueden ver relacionados estos parámetros, para tubería de hierro galvanizado, que es la más recomendable para alimentar arietes hidráulicos.

Cuadro 11. Relación de caudal y diámetro del tubo de alimentación del ariete hidráulico

<b>Q (lt/min)</b>	<b>22.5</b>	<b>45</b>	<b>30</b>	<b>60</b>
<b>D (in)</b>	1/2”	1”	1 1/4 “	1 1/2 “

10) Caudal de descarga ( $q$ ): Depende del rendimiento ( $R$ ), el caudal de alimentación ( $Q$ ), el desnivel de trabajo ( $h$ ) y la altura de elevación ( $H$ ). La ecuación (8) por la que se relacionan es la siguiente:

$$q = R \cdot Q \cdot H / h$$

Donde:

Q (Caudal de alimentación) = litros/minuto

R (Rendimiento de descarga) =

h (desnivel de trabajo) = metros

H (Altura de elevación) = metros

Figura 7. Materiales a ensamblar en la construcción de un ariete hidráulico



## L. MÉTODOS PARA PURIFICAR EL AGUA

1. **Desinfección por ebullición:** Para eliminar las bacterias es necesario que el agua hierva de 15 a 30 minutos. Es una forma sencilla y económica de desinfección al alcance de la mayoría de los hogares. Entre las desventajas de este método destaca la concentración del contenido de minerales disueltos, debido a la vaporización del agua.

2. **Desinfección con cloro:** La cloración es uno de los métodos más rápidos, económicos y eficaces para eliminar las bacterias contenidas en el agua. La cantidad de cloro que debe agregarse al agua depende de la concentración que tenga el compuesto de esta sustancia; generalmente, tres gotas por litro suelen ser suficientes. Después de agregar el cloro, es importante esperar media hora antes de tomar el agua. El agua ya viene clorada de la red, por lo que al agregarle más cloro su sabor sea muy desagradable; esto no representa riesgos para su salud.

3. **Desinfección con plata iónica:** En el mercado existen algunos productos para desinfectar agua y verduras que utilizan compuestos de plata iónica o coloidal. Aunque los fabricantes recomiendan esperar aproximadamente diez minutos después de añadirlos al agua, es preferible esperar el doble del tiempo sugerido.

4. **Filtros de cerámica o Eco-Filtro:** Estos filtros separan materia sólida del líquido gracias a que tienen un poro muy fino, es decir, retienen partículas muy pequeñas. Un inconveniente de estos filtros es que sobre ellos pueden desarrollarse colonias de microorganismos. Por lo tanto, al comprar un filtro de este tipo, será importante verificar

que éste libere o esté impregnado con plata iónica, ya que esta sustancia tiene un efecto germicida.

5. Filtro de carbón activado: En este sistema el agua pasa por un filtro de carbón activado, el cual contiene millones de agujeros microscópicos que capturan y rompen las moléculas de los contaminantes. Este método es muy eficiente para eliminar el cloro, el mal olor, los sabores desagradables y los sólidos pesados en el agua. También retiene algunos contaminantes orgánicos, como insecticidas, pesticidas y herbicidas. El riesgo que representan estos filtros es que pueden saturarse y contaminarse con microorganismos, por tanto, es preciso cambiarlos cada cinco meses, de lo contrario, si no se cuenta con un sistema de desinfección colocado después del filtro (como luz UV o plata iónica), el agua ya no es segura para beber. El equipo de filtración por carbón activado incluye un tanque de fibra de vidrio, una válvula de control y el filtro; puede durar hasta 6 años.

6. Purificación por ozono: Como purificador de agua, el ozono es un gas muy efectivo porque descompone los organismos vivos sin dejar residuos químicos que puedan dañar la salud o alterar el sabor del agua.

a. Ventajas

1) Reduce de manera importante el aspecto turbio, el mal olor y sabor del agua, así como la cantidad de sólidos en suspensión.

2) No sólo elimina las bacterias causantes de enfermedades, sino que también inactiva virus y otros microorganismos que el cloro no puede destruir.

3) El equipo consta de un generador de ozono, dos válvulas y un secador de aire, y tiene la capacidad para purificar aproximadamente 300 litros de agua diarios por alrededor de 6 años.

b. Desventaja

1) Elevado costo.

2) Requiere mantenimiento constante.

3) Instalación especial y utiliza energía eléctrica.

7. Desinfección por rayos ultravioleta (UV): En una primera etapa, el agua pasa por un filtro que retiene las partículas en suspensión. Después pasa por un filtro de carbón activado, el cual elimina el mal olor, sabor y color en el agua, así como el cloro. Por último, el agua es purificada por medio de luz ultravioleta, que se encarga de destruir las bacterias. Este método es automático, efectivo, no daña al medio ambiente y es fácil de instalar; además, puede purificar hasta 200 litros de agua al día. Los filtros de este tipo de equipos se deben reemplazar cada seis meses y el bulbo de la lámpara de rayos UV debe cambiarse cada año.

8. Purificación por ósmosis inversa: El proceso de ósmosis inversa utiliza una membrana semipermeable que separa y elimina del agua sólidos, sustancias orgánicas, virus y bacterias disueltas en el agua. Puede eliminar alrededor de 95% de los sólidos disueltos totales (SDT) y 99% de todas las bacterias. Las membranas sólo dejan pasar las moléculas de agua, atrapando incluso las sales disueltas. Durante la operación, la misma agua se

encarga de limpiar la membrana, disminuyendo los gastos. Un equipo de filtración por ósmosis incluye un filtro de sedimentación, uno de carbón activado, una membrana, una lámpara de rayos UV y dos pos-filtros. Su rendimiento diario es de 200 litros de agua y, con un mantenimiento adecuado, puede utilizarse hasta por 10 años. Este método no es recomendable cuando se trata de agua dura, esto es, agua que contiene un alto porcentaje de sales de calcio y magnesio.

## M. EL MARCO LEGAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN GUATEMALA

El agua como elemento abiótico es introducido al ordenamiento legal nacional por la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente (1987) cuya aplicación corresponde al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

La Ley de Áreas Protegidas (1989), cuya aplicación corresponde al Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), incorpora genéricamente las aguas como parte de procesos ecológicos esenciales y sistemas naturales vitales; y el Artículo 13 establece como programa prioritario el Subsistema de Conservación de Bosques Pluviales.

La Constitución Política de Guatemala establece que el agua es propiedad del Estado y ordena la emisión de una ley específica para el tema del Agua; sin embargo a la fecha no existe esta ley, si bien durante los últimos diez años han sido admitidos en el Congreso de la República cuatro proyectos de ley de aguas, pero ninguno ha prosperado. Entre los artículos constitucionales reconoce la propiedad privada, que en conjunto con el Código Civil parecen contradecir o al menos debilitar el artículo que establece la propiedad del Agua por el Estado.

El no tener una ley de aguas se refleja en la ausencia de una entidad responsable directamente del manejo integrado de los recursos hídricos, entendiendo el manejo integrado como el proceso para fomentar la administración y el desarrollo coordinado del agua, la tierra y demás recursos relacionados, para maximizar el bienestar social y económico de la población, bajo el criterio de equidad y sin comprometer la existencia de los ecosistemas estratégicos para el alcance de este objetivo.

El no tener una institución responsable de esta coordinación se refleja en la gran cantidad de normas y reglamentos que desde los diferentes ministerios han ido generando para administrar el recurso. El Ejecutivo regula y ejecuta actividades en cuanto a usos sectoriales del agua –canales de navegación comercial y de irrigación así como para la construcción y operación de sistemas de agua potable, cuya ejecución asigna a los sectores de obras públicas, agricultura y salud (1920, 1935, 1945) sin atribuir a ningún ente la gestión integrada del recurso.

En este contexto, al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales le corresponde formular las políticas, es decir el conjunto de principios, objetivos, estrategias e instrumentos que se deben implementar para orientar y modificar el comportamiento de los diferentes grupos que utilizan el recurso y otros recursos asociados. El Ministerio de Comunicaciones,

Transporte, Obras Públicas y Vivienda es responsable de construir canales de navegación, el dragado de los ríos y de la medición hidrológica. Al Ministerio de Energía y Minas le corresponde fomentar el desarrollo de hidroeléctricas. El Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación es el encargado de promover el riego en el país, mientras el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social vela por la calidad del agua potable. Sin embargo, en el tema del agua potable y saneamiento son importantes las acciones que desarrollan los Fondos Sociales, la Secretaría Ejecutiva de la Presidencia, el Instituto de Fomento Municipal, las municipalidades, las organizaciones no gubernamentales nacionales e internacionales, las empresas privadas y la cooperación internacional.

## N. INSTITUCIONES GUATEMALATECAS ENCARGADAS DEL RECURSO HÍDRICO

Existe una diversidad de instituciones que intervienen en el manejo de recursos hídricos, cada una, con distintas responsabilidades, entre ellas:

1. El Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA): por su propia naturaleza, ha sido el encargado del tema riego en el país, su rol actual es el de promover el acceso a crédito para la construcción de proyectos de sistemas de riego de agricultores individuales o asociaciones.

2. Ministerio de Energía y Minas a través de INSIVUMEH.

3. Ministerio de Recursos Naturales y Ambiente.

4. Instituto de Fomento Municipal.

5. Fondo de Inversión Social.

6. La Secretaría General de Planificación de la Presidencia (SEGEPLAN).

7. El Ministerio de Energía y Minas (MEM): es el encargado de la política energética y de la explotación minera, que afectan el tema de hidroelectricidad, la primera, y la extracción de agregados para la construcción de los cauces de los ríos, la segunda.

8. El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) tiene a su cargo la elaboración de las políticas de Recursos Naturales incluyendo el recurso hídrico y la legislación respectiva.

9. El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS) tiene a su cargo la política de agua potable y saneamiento, el ejecutor de esta política es INFOM.

El Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) ha sido la entidad gubernamental encargada de la investigación en el tema del agua; sin embargo, su función se ha limitado a la generación de datos básicos.

En el año 2004 se crea una institucionalidad temporal del agua, denominada Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), liderada por el Comisionado Presidencial del Agua.

La nueva instancia surge con el propósito de ordenar las acciones que el Estado realizar sobre el recurso hídrico. Basado en la figura de CONAGUA, se han realizado logros importantes, entre ellos: la formulación de la Política Hídrica Gubernamental (pendiente de publicar), la elaboración de la agenda de trabajo del agua 2004-2008, la coordinación del sistema de información hídrico y la campaña nacional de sensibilización del recurso hídrico: “Aguas con el Agua”.

Figura 8. Marcas registradas de las instituciones encargadas del tema hídrico en Guatemala



## V. METODOLOGÍA

Se mencionan los aspectos que constituyen el proceso mediante el cual se desarrolló la estrategia metodológica para la elaboración del proyecto de acuerdo con la bibliografía consultada.

El término investigación que, en general, significa indagar o buscar, cuando se aplica a las ciencias sociales, toma la connotación específica de crear conocimientos sobre la realidad social, es decir, sobre su estructura, las relaciones entre sus componentes, su funcionamiento, los cambios que experimenta el sistema en su totalidad o en esos componentes. Los conocimientos generados por una investigación en particular se unen a otros conocimientos ya existentes, acumulados durante mucho tiempo por otros investigadores, sea en la forma de un aporte original o como confirmación o refutación de hallazgos ya existentes. Cualquiera que sea la situación que se enfrente, la investigación es siempre la búsqueda de la solución a algún problema de conocimiento. Esa solución constituye un nuevo conocimiento que se mantiene mientras no haya otras propuestas mejor fundamentadas de acuerdo con criterios teóricos y metodológicos y sean aceptadas por la comunidad de científicos pertenecientes a la misma área de indagación.

La investigación es un proceso o actividad que conduce al hombre mismo a captar y aprehender los diferentes fenómenos que aparecen ante él, los cuales no puede descifrar e interpretar a primera vista. Por tal motivo, esta constituye la principal herramienta que permite establecer de forma clara los pasos que se llevarán a cabo para poder abarcar el problema planteado, sin dejar por fuera ninguna de las acciones o aspectos que puedan llevarnos a la abstracción e interpretación de dicho problema para generar una solución.

### A. TIPOS DE INVESTIGACIÓN SEGÚN LA NATURALEZA DE LOS DATOS

Autores como Briones y Cerda reconocen este tipo de clasificación en dos categorías:

1. Investigación cualitativa
2. Investigación cuantitativa

La primera, se basa en toda aquella información que es cuantificable, es decir que puede ser expresado numéricamente y que su análisis se puede realizar mediante estadísticas. Además tiene claramente definido el problema y los objetivos, por lo general emplea instrumentos de recolección estructurados con preguntas cerradas y de selección.

Para establecer diferencias entre el modelo de investigación cualitativo del cuantitativo, tomamos como referencia el siguiente cuadro comparativo, en el cual se puede apreciar sus características puntuales.

Cuadro 12. Comparativa de los dos tipos de investigación según la naturaleza de los datos, cualitativa y cuantitativa.

<b>INVESTIGACIÓN CUALITATIVA</b>	<b>INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA</b>
<b>Datos cualitativos</b>	Datos cuantitativos
<b>Investigación de contextos naturales</b>	Investigación de contextos artificiales
<b>Preferencia por los significados</b>	Preferencias por las conductas
<b>Rechazo de las ciencias naturales como modelo.</b>	Adopción de las ciencias naturales como modelo
<b>Enfoque inductivo</b>	Enfoque deductivo
<b>Búsqueda de patrones culturales.</b>	Identificación de leyes científicas

FUENTE: [http://www.medotos.com/investigacion\\_cuantitativa/](http://www.medotos.com/investigacion_cuantitativa/)

## B. MODELOS CUANTITATIVOS

Se encuentran dos modelos, el Experimental y Cuasi Experimental. El primero de ellos se utiliza principalmente en las ciencias naturales, en el campo de la educación, se utiliza para validar métodos de enseñanza, materiales de tipo instrucción como por ejemplo los libros de texto, para determinación de variables sobre rendimiento escolar, etc. Este modelo consiste básicamente en someter el objeto estudio de caso a experimentaciones donde el investigador influye en ciertas variables o controla ciertas condiciones, con el fin de observar los efectos producidos por dicha influencia sobre el objeto.

El modelo Cuasi Experimental, se diferencia de los experimentos verdaderos por grado de rigurosidad y confiabilidad que se puede tener. Es utilizado cuando no es posible tener control sobre todas las variables pero al menos se controla una de ellas.

## C. PROYECTO DE INVESTIGACIÓN SEGÚN GUILLERMO BRIONES

Guillermo Briones es profesor de sociología de la Universidad Nacional de Colombia y profesor de sociología en el Instituto de Planificación de la Universidad de Chile, desde 1999. El modelo de investigación utilizado como referencia en la metodología del trabajo de graduación se establece en la documentación consultada del libro “Metodología de la investigación cuantitativa en las ciencias sociales. ISBN: 958-9329-14-4. INSTITUTO COLOMBIANO PARA EL FOMENTO DE LA EDUCACIÓN SUPERIOR (ICFES). Bogotá, Colombia.”

El proyecto de investigación es el documento en el cual se sistematizan los conocimientos de la fase de acercamiento al tema y problemática de la investigación por realizar y se agregan otros menos o no tratados anteriormente. De manera convencional, el proyecto de investigación comprende los componentes y tareas que se indicarán en cada uno de ellos:

1. Finalidades.
2. Diseño metodológico.
3. Cronograma de trabajo.
4. Presupuesto.

El problema de investigación, que se vincula directamente con la finalidad o propósito de la investigación y la metodología utilizada, puede formularse como:

1. Una o más preguntas;
2. Una o más hipótesis;
3. Un propósito.

#### D. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La metodología cuantitativa se basará principalmente en dos preguntas importantes que da la temática y el enfoque apropiado para la formulación correcta de los resultados y sus respectivos análisis. Los cuestionamientos que se pretende responder con la investigación propuesta son:

1. ¿Abastece en cantidad suficiente el sistema de captación de agua de lluvia con el dispositivo de almacenamiento de Eco-Muro a los alumnos de nivel parvulario de la EODP Escuela Oficial Urbana Mixta para Párvulos, 15 de Septiembre?
2. ¿Existe un porcentaje en la eficiencia de disponibilidad de agua a favor del docente-alumno entre el sistema de captación de agua de lluvia con el proceso de consumo de agua municipal y servicio de agua purificada?

## E. DISEÑO DE LA METODOLOGÍA

El diseño metodológico o metodología de la investigación propuesta es la estrategia que se utilizará para cumplir con los objetivos de esa investigación. En términos prácticos, tal estrategia está compuesta por una serie de decisiones, procedimientos y técnicas que cumplen funciones particulares. La metodología de la investigación se elaboró como un diseño no experimental. En relación con esta decisión, se especifica los siguientes componentes y tareas:

1. Población en la cual se realizará el estudio: Según datos obtenidos del Instituto Nacional de Estadística con su programa SEGEPLAN y la Dirección General de Planificación de la Municipalidad del Municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa para el año 2014, el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa tiene una población de 129,913 habitantes. En el área urbana hay 70,000 habitantes y en área rural 50,000. Se calcula que hay un 28% de población indígena (33,000 personas aproximadamente). De los cuales 48 868 son hombres siendo el 49% de la población, y 50 862 mujeres siendo el 51%. Para este proyecto no se seleccionó la población nominal del municipio, ya que los beneficiados poseen una edad específica y se relaciona directamente con su nivel académico.

La población representativa que abarca el contexto del proyecto incluye a los niños de Santa Lucía Cotzumalguapa con edades comprendidas entre 3 a 6 años. Debido a que se instaló el Sistema de Captación de Agua de Lluvia en una escuela pública que está dentro del sistema de educación pre-escolar donde los alumnos poseen una edad entre 3 a 6 años. (MINEDUC, 2014)

Tomando en consideración la proyección estadística municipal como resultado del censo realizado en el 2012 y del índice de crecimiento poblacional, se estima que la población del municipio está distribuida de la siguiente manera:

Cuadro 13. Distribución de la población por edades

<b>Rango de edad</b>	<b>Población total año 2002</b>	<b>Proyección año 2014</b>
<b>Total</b>	85 974	102 657
<b>De 0 a 2</b>	11 728	14 004
<b>De 3 a 6</b>	11 689	24.922
<b>De 7 a 14</b>	11 359	13 563
<b>De 15 a 19</b>	9 401	11 225
<b>De 20 a 24</b>	8 107	9 680
<b>De 25 a 29</b>	6 064	7 241
<b>De 30 a 34</b>	5 227	6 241
<b>De 35 a 39</b>	4 593	5 484

El municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa tiene una población de 129,913 habitantes de los cuales el 19% son niños de 3 a 6 años. Según la proyección basada en el censo de 2,002 y en índice de crecimiento poblacional brindadas por el INE y la DIRECCIÓN GENERAL DE PLANIFICACIÓN del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa (SEGEPLAN, 2014).

Este 19% equivale a un total de 24,922 niños en todo el municipio que deberían tener acceso al agua y educación en cualquiera de los casos, según las leyes de nuestro país. Algo que ni en papel, ni en la realidad se puede ver claramente. Lo que si es cierto, es que en el 2014 dentro del sistema de educación pública al nivel Pre-Primario solo se inscribieron un total de 5,328 niños con edades entre 3 a 6 años, eso equivale al 21% de todos los niños con esas edades de todo el municipio.

En el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa el sistema de educación pública a nivel pre-primario consta de una supervisión con oficinas en la colonia Pantaleocito, en el área urbana del municipio. Tres supervisores distribuidos en los distintos caseríos del municipio, nombrados por distrito. El distrito 95-27 está a cargo del Lic. Orlando Natareno; El distrito 95-28 está a cargo la Licda. Linda Esmeralda Sánchez de Morales y el distrito 95-29 está a cargo el Lic. Joel Mansilla. La siguiente tabla describe la cantidad de alumnos de nivel pre-primario estuvo inscrito durante el ciclo 2014 en el sistema público nacional del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa y el porcentaje que representa la población objetivo.

Cuadro 14. Distritos de la supervisión del MINEDUC,  
en Santa Lucía Cotzumalguapa

<b>DISTRITO</b>	<b>95-27</b>	<b>95-28</b>	<b>95-29</b>	<b>SUBTOTALES</b>
ETAPA 3	-	195	-	195
ETAPA 4	170	359	159	688
ETAPA 5	468	717	457	1.642
ETAPA 6	899	1.016	888	2.803
<b>TOTAL</b>	<b>1.537</b>	<b>2.287</b>	<b>1.504</b>	<b>5.328</b>

Cuadro 15. Niños inscritos a la pre-primaria  
En el 2014, SLC.

NIÑOS MUNICIPIO (19%)	24.922
<b>INSCRITOS 2014</b>	<b>5.328</b>
<b>POBLACIÓN</b>	<b>21%</b>

2. Tipo y tamaño de la muestra: La muestra seleccionada es del carácter no aleatorio, ya que se eligieron los elementos previamente, en función de que sean representativos. Siendo entonces la siguiente muestra, los niños que asisten a la EODP Escuela Oficial Urbana Mixta para Párvulos 15 de Septiembre teniendo un total de 550 alumnos que poseen edades entre 3 y 7 años. También se incluye 13 docentes beneficiados con la disponibilidad de agua del sistema.

Cuadro 16. Estudiantes de la escuela beneficiada con el sistema de captación

<b>BENEFICIADOS</b>	<b>SUBTOTALES</b>
ESTUDIANTES (3 - 6 AÑOS)	550
DOCENTES	13
CONSERJES	2
<b>TOTAL</b>	<b>565</b>

La matriculación es un eje elemental para determinar el nivel de desarrollo educativo de un municipio, puesto que refleja la relación entre el número de estudiantes y la población en edad escolar.

Figura 9. Tasa neta de matriculación pre-primaria, 2006 al 2008  
Municipio de Escuintla

Posición	Municipio	Pre-primaria		
		2006	2007	2008
1	San Vicente Pacaya	62.68	66.83	75.18
2	Iztapa	67.57	59.90	65.56
3	Nueva Concepción	63.19	64.71	65.01
4	Siquinalá	65.95	56.33	61.29
5	Escuintla	58.4	58.90	58.51
6	Masagua	56.57	60.18	58.03
7	Guanagazapa	46.05	45.76	51.94
8	Santa Lucía Cotz.	50.18	49.76	51.51
9	Tiquisate	51.34	54.14	51.38
10	Palín	49.77	53.27	50.49
11	La Democracia	43.39	43.63	48.22
12	San José	44.21	45.64	47.86
13	La Gomera	44.62	46.80	45.99

Fuente: MINEDUC, 2006-2008.

3. Los instrumentos que se utilizarán en la recolección de informaciones: encuesta ilustrada de bajo nivel de entendimiento, observación estructurada, escalas para la medición de actitudes evaluadas visualmente.



Se realizaron dos encuestas para recopilar datos a la población objetivo, las personas que viven en el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa.

La primera, tenía como objetivo identificar varios factores importantes que serían base para la investigación del trabajo de graduación. El problema, la ubicación ideal, los afectados, sus necesidades y posibles soluciones. Se encuestó al 0.1% de la población que vive en el sector urbano del municipio, por cercanía, facilidades y conocimiento de los encuestados. Es entonces, de los habitantes del casco urbano del municipio unos 75, 312 (64% de toda la población) se tomó como referencia a 76 personas para la base de datos.

La segunda, a la muestra objetivo que consta de 5 preguntas fáciles de contestar y entender. Utilizando un lenguaje simple de dibujos y diagramas. Con la modalidad de respuesta única y selección múltiple. Por la edad de los beneficiados es importante la ayuda y asistencia de los docentes para apoyar a cada alumno, en su defecto se realizaran las encuestas verbalmente simulando una entrevista informal a cada alumno con la ayuda del docente.

Figura 10. Encuesta ilustrada realizada a los alumnos de 6 años de la escuela pública.



1. ¿Te gusta tomar agua pura?




2. ¿Cuántos vasos tomas de agua pura al día?

**1** **2** **3** **4** **5** **7** **8**



3. ¿De dónde tomas agua pura?

4. ¿En qué recipiente tomas agua pura?

5. ¿Qué agua utilizas para lavarte las manos?

4. Plan general para la recolección de información o trabajo de campo. Para la recolección de la información se realizará el plan general de censo estipulado por la municipalidad de Santa Lucía Cotzumalguapa que especifica cada paso de la siguiente forma:

- a) Visita de inspección al lugar objetivo.
- b) Crear vínculos con la población objetivo, mediante el líder comunitario. Que en este caso es la Directora de la EODP Escuela Oficial Urbana Mixta para Párvulos 15 de Septiembre, la maestra de educación pre-primaria Julia Guevara.
- c) Entregar la solicitud, con el permiso de encuestar e instalar el sistema en la institución educativa.
- d) Programar el día o los días para realizar la encuesta. Notificarle a la directora de la escuela.
- e) Cumplir con el compromiso. Realizar la encuesta en el horario de clases normales que los alumnos asistirán a la escuela.
- f) Recolectar el instrumento estadístico y puntualizar las cortesías del caso.

5. Procedimientos para el procesamiento de la información: codificación de las variables, tabulación de los datos recolectados, representación gráfica para facilitar el análisis de los resultados finales.

## F. CRONOGRAMA DE TRABAJO

1. Recopilación de información.
2. Planificación y calendarización objetiva.
3. Diseño.
4. Pruebas y mejoras.
5. Construcción de prototipo.
6. Instalación de prototipo.
7. Pruebas y mejoras.
8. Construcción a gran escala del primer Eco-Muro.
9. Construcción del sistema de captación de agua pluvial.
10. Instalación del primer sistema completo de captación, aprovechamiento y purificación de agua de lluvia en escuela pública.

11. Etapa de replicar el sistema en más instituciones educativas.
12. Etapa de ajustes para instalación en una comunidad.
13. Instalación del sistema en comunidad.
14. Evaluación de resultados.

Cuadro 17. Cronograma de actividades.

2014 (MESES)		Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto				Septiembre			
No.	Actividad/Semana	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36		
1	Conceptualización	■	■																																		
2	1era Revisión Informe			■																																	
3	Corrección de informe				■	■	■	■																													
4	Alianza ICC								■																												
5	1ra Entrega Informe									■																											
6	Presupuesto										■																										
7	Entrevista popular											■																									
8	Diseño prototipo												■	■	■																						
9	2da Revisión Informe														■																						
10	2da Entrga Informe															■																					
11	Instalación del sistema																■	■	■	■	■																
12	Evaluación del sistema																				■	■	■														
13	Mejoramiento																					■															
14	Estudio de viabilidad																						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
15	Replicar en el sector																								■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
16	3ra Revisión Informe																																				
17	3ra Entrega informe																																				
18	Verificación																																				
19	Resultados																																				

## G. PRESUPUESTO

El presupuesto mensual es una de las herramientas más utilizadas en el mundo empresarial para planificar cualquier futuro. Como ya se ha indicado anteriormente, no consiste solo en pronosticar el comportamiento de un conjunto de variables de forma pasiva, sino que supone tomar un conjunto de decisiones con el objetivo de actuar sobre los resultados, mediante la realización de unos precisos planes de acción que se tiene previsto llevar a cabo a lo largo del ejercicio económico.

Existen circunstancias que resultan determinantes para implantar un presupuesto, estos son algunos de sus objetivos que se desea cumplir:

1. Asegurar la liquidez financiera.
2. La coordinación de todas las actividades, para obtener ese fin.
3. Establecer un control para conocer si los planes son llevados a cabo y determinar la dirección que se lleva en relación con los objetivos establecidos.

## VI. RESULTADOS

Con la realización de este proyecto se estableció un Sistema de Captación de Agua de Lluvia utilizando un prototipo de Eco-Muro para almacenar el líquido captado. Para lo cual se utilizó materiales de construcción y reciclaje para la creación de cada proceso del sistema hidráulico. Se encuestó a el 0.01% de la población que viven en el sector urbano del municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa (70 personas). La encuesta posee las siguientes preguntas:

1. ¿Aprovecha el agua de lluvia para alguna actividad doméstica? SÍ / NO
2. ¿Conoce algún sistema de captación de agua de lluvia? SÍ / NO
3. ¿Le gustaría instalar un sistema de aprovechamiento de agua de lluvia en su casa? SÍ / NO
4. ¿Cuántos vasos de agua pura bebe al día?
5. ¿En qué lugar le parece correcto instalar un sistema de aprovechamiento de agua de lluvia? CASA / ESCUELA / EN SU LUGAR DE TRABAJO

### A. RESULTADOS DE LAS ENCUESTAS

Figura 11. Encuesta popular pregunta número 1.

#### 1. ¿Aprovecha el agua de lluvia para alguna actividad doméstica?

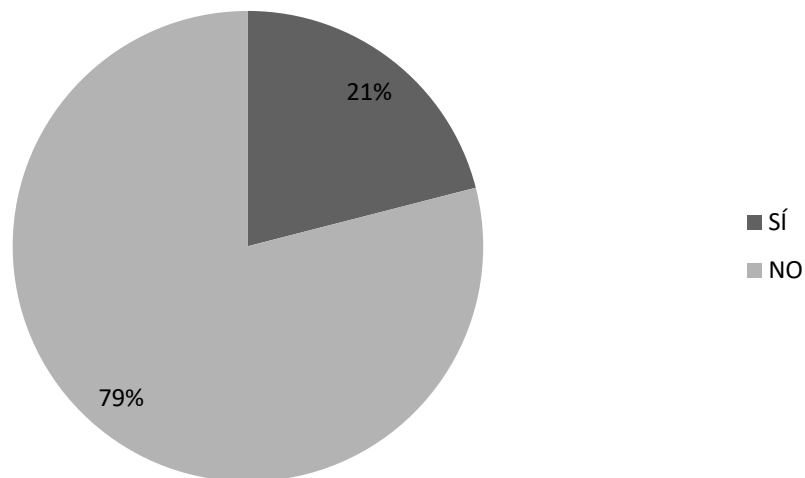


Figura 12. Encuesta popular pregunta número 2.

## 2. ¿Conoce algún sistema de captación de agua de lluvia?

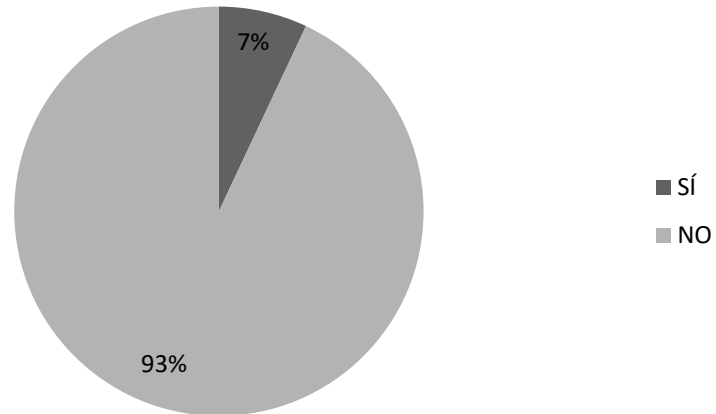


Figura 13. Encuesta popular pregunta número 3.

## 3. ¿Le gustaría instalar un sistema de aprovechamiento de agua de lluvia en su casa?

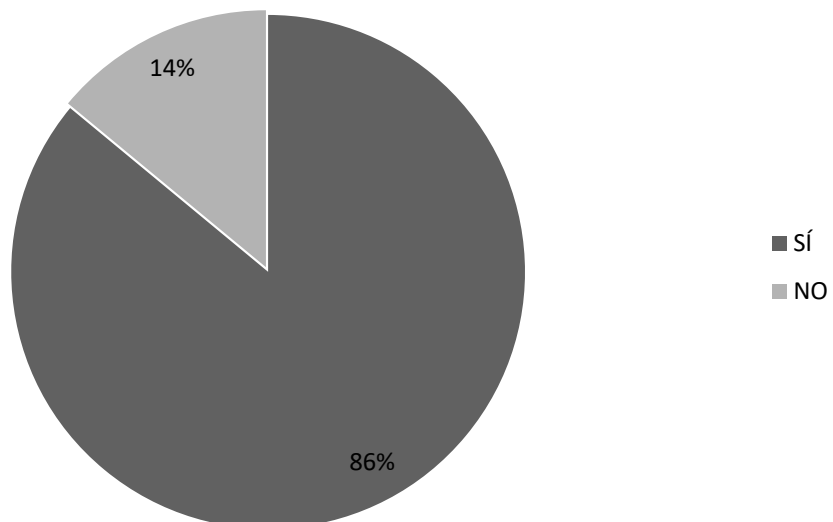


Figura 14. Encuesta popular pregunta número 4.

#### 4. ¿Cuántos vasos de agua pura bebe al día?

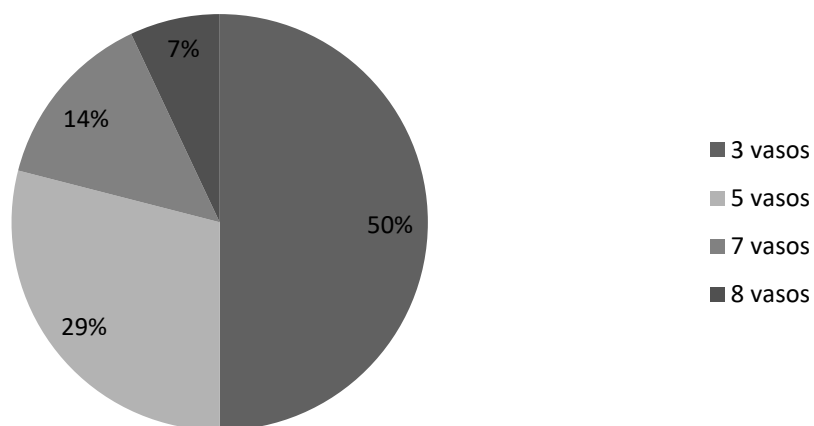
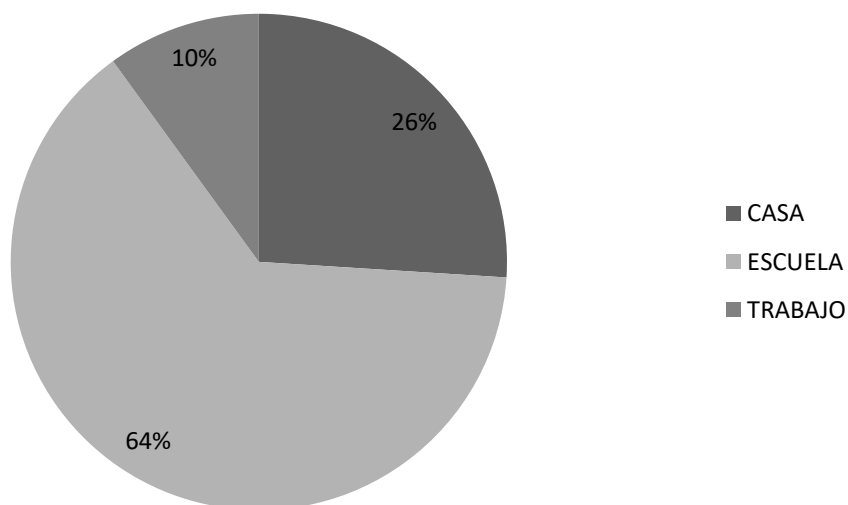


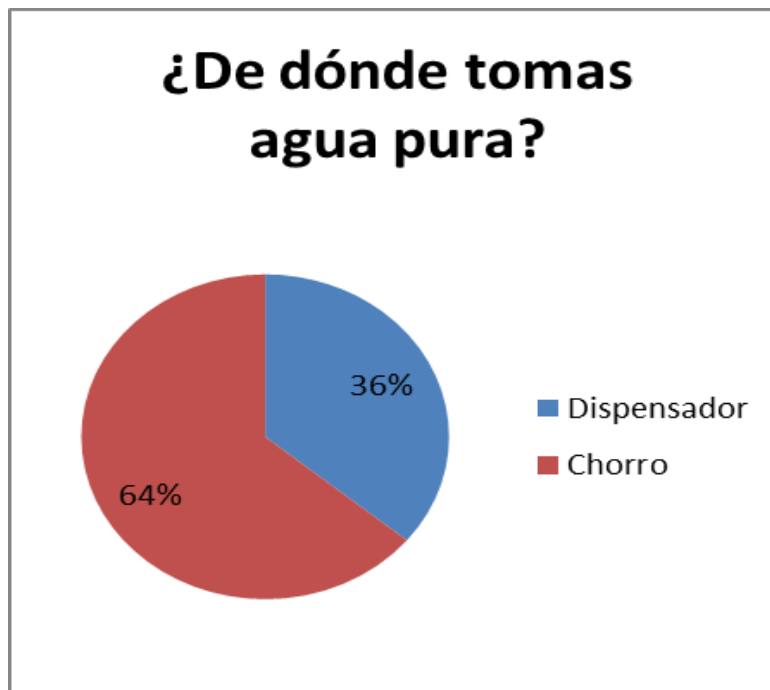
Figura 15. Encuesta popular pregunta número 5.

#### 5. ¿En qué lugar le parece correcto instalar un sistema de aprovechamiento de agua de lluvia?



En la pregunta número 5, se establece la primera iniciativa para el diseño y construcción del Sistema de Captación y Aprovechamiento de Agua de Lluvia en una escuela pública. Las docentes de la EODP Escuela Oficial Urbana Mixta para Párvulos, 15 de Septiembre aprobaron mi proyecto porque observaron los beneficios que les daría la utilización del Sistema de Captación de Agua de Lluvia puesto que hoy en día el servicio de agua potable es interrumpido durante las mañanas de todos los días de clases normales para los alumnos de la escuela pública. Para evitar ingerir agua contaminada la pro-actividad de las docentes de la institución educativa las motivo a programar periódicamente una recolección de dinero para solventar el gasto de garrafones de agua pura que abastezca a toda la población estudiantil que asiste a la escuela, donde la mayoría de los padres de familia de cada alumno vive una situación de pobreza en sus casa y otros de extrema pobreza.

Figura 16. Pregunta número 5 de la encuesta inicial.



## B. LOCALIZACIÓN DEL SITIO DE CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

Para la ubicación del sitio donde se instalaría el prototipo se seleccionó la escuela pública por tres razones:

1. El enfoque educativo que produce la recolección y utilización de materiales de reciclaje.
2. La cantidad de galones de agua necesarios para abastecer en cantidad a la población estudiantil es equivalente en aproximación a la capacidad nominal de almacenaje del Eco-Muro.

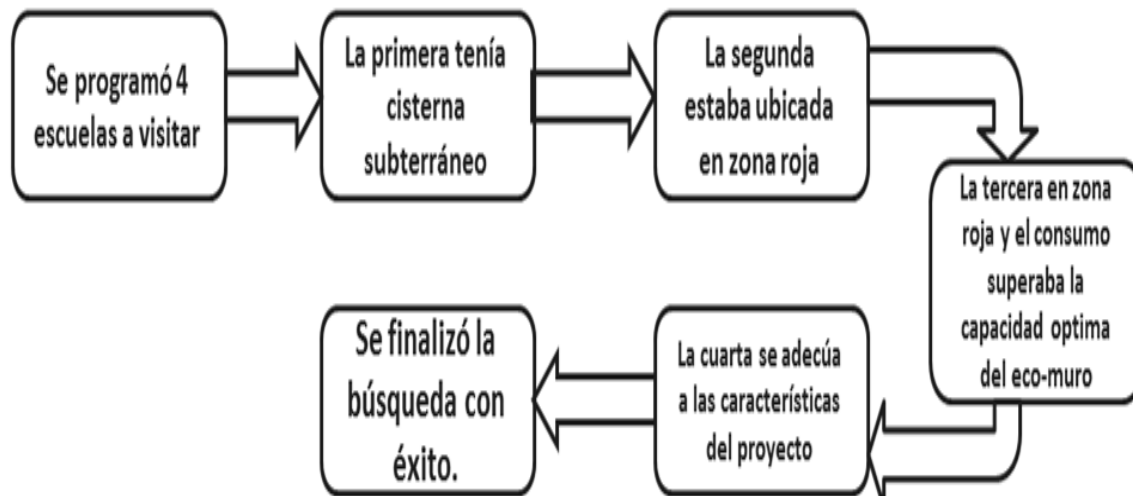
3. Datos de la encuesta inicial: De ese aspecto se tomó como referencia de selección el nivel pre-primario por motivos de conveniencia en abastecimiento responsable y el lugar con necesidad real de agua. Se visitó a 4 escuelas, incluyendo a la escuela donde se instaló el prototipo.

En la primera escuela se observó que no tenían necesidad de abastecimiento de agua, ya que contaban con cisterna subterránea y bomba para la distribución, las instalaciones se usaban los fines de semana por una universidad para impartir sus cursos.

En la segunda y tercera, se tuvo dificultades con la inseguridad interna de cada institución educativa. Para poder abastecer a toda la población estudiantil era necesario instalar 3 prototipos del Sistema de captación de Agua de Lluvia, eso se traduce a una inversión que se debía costear y con la probabilidad alta que ingresaran delincuentes a desmantelar o destruir algún proceso del sistema. Se decidió no proceder.

La EODP Escuela Oficial Urbana Mixta para Párvulos, 15 de Septiembre posee espacios continuos de lámina galvanizada en forma rectangular de al menos 15 x 7 metros de área. Aunque no hay instaladas canaletas de conducción de agua en buen estado. Esto representa un área de captación lo suficientemente aprovechable para abastecer y suplir con facilidad la necesidad de agua que se presenta en la escuela pública.

Figura 17. Mapa mental de la selección del lugar objetivo.



### C. DEMANDA DE AGUA

La población estudiantil interna de la escuela pública es de 550 alumnos, 13 docentes y 2 conserjes. Consumo de agua potable por persona al día es de 125 lppd (Litros por persona al día). Según EMPAGUA.

Se calculará para dos tipos de necesidades a cubrir, solo los servicios de consumo de agua de la escuela y solo el agua para beber para los beneficiados dentro de la escuela. Con el objetivo de identificar realidades dentro del marco del proyecto.

La primera corresponde a incluir los servicios de sanitario, lavamanos, pila dentro de la escuela. La OMS recomienda que cada niño de 3 a 6 años de edad consuma 55 lppd. Sabiendo que los niños están 5 hrs en la escuela, eso equivale a 19.64 lppd. Agregando la probabilidad, que cada niño use todos los servicios sea 0.45 (Peter Neufert, 1995)

$$D_j = \frac{Nu * Dot * Nd_j}{1000}$$

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

$$D_j = ((565 * 0.45) * 19.64 \text{ lppd} * 20 \text{ días}) / 1000$$

$$D_j = 99.87 \text{ m}^3/\text{mes} = 4,993.5 \text{ Lt/d}$$

$$D_{\text{annual}} = 901 \text{ m}^3/\text{año} = 901,000 \text{ Lt/año}$$

Cuadro 18. Demanda anual de agua para servicios.

MES	SUBTOTAL
ENERO	50
FEBRERO	100
MARZO	100
ABRIL	100
MAYO	100
JUNIO	100
JULIO	100
AGOSTO	100
SEPTIEMBRE	100
OCTUBRE	50
NOVIEMBRE	3
DICIEMBRE	0
<b>TOTAL</b>	<b>901</b>

La segunda, incluye toda el agua necesaria para satisfacer la necesidad de beber de los beneficiados dentro de la escuela pública. La OMS recomienda que cada niño de 3 a 6 años de edad, mantenga una ingesta de agua de 1.5 Lt/d. Los alumnos asisten a clases 5hrs diarias y no toman más de 3 vasos durante ese tiempo. Se espera que cada uno consuma 0.50 Lts/d de agua para beber.

$$D_j = ((565 * 0.75) * 0.50 \text{ lppd} * 20 \text{ días})/1000$$

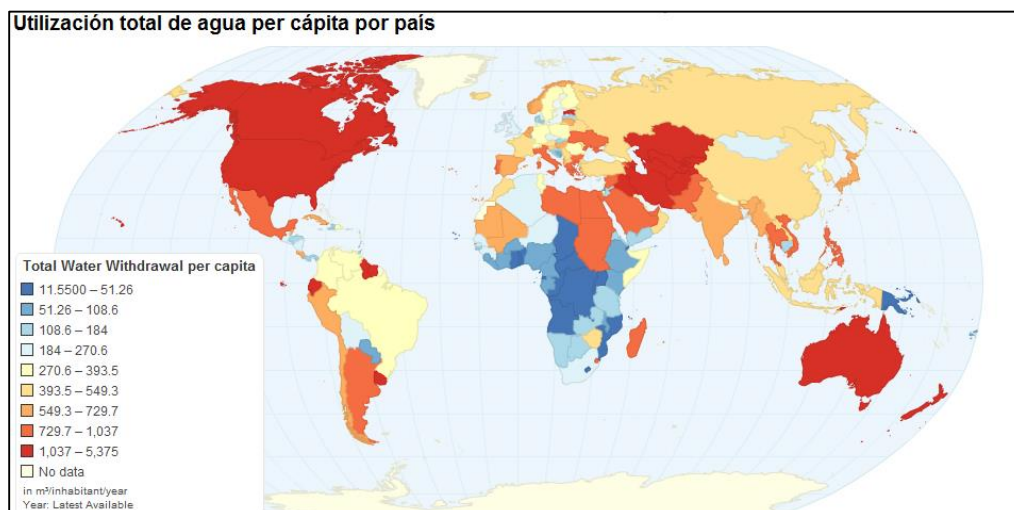
$$D_j = 4.20 \text{ m}^3/\text{mes} = 210 \text{ Lt/d}$$

$$D_{\text{anual}} = 33.9 \text{ m}^3/\text{año} = 33,900 \text{ Lt/año}$$

Cuadro 19. Demanda anual de agua para beber.

MES	SUBTOTAL
ENERO	2
FEBRERO	4
MARZO	4
ABRIL	4
MAYO	4
JUNIO	4
JULIO	4
AGOSTO	4
SEPTIEMBRE	4
OCTUBRE	2
NOVIEMBRE	0
DICIEMBRE	0
<b>TOTAL</b>	<b>34</b>

Figura 18. Utilización total de agua per cápita por país.



## D. PRECIPITACIÓN PLUVIAL NETA

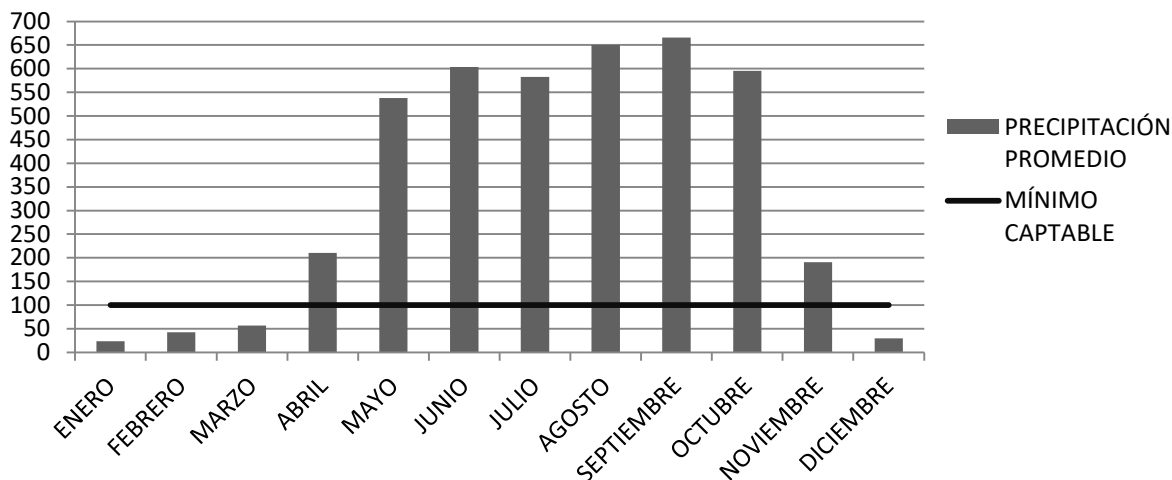
La precipitación anual promedio de agua de lluvia está dada en milímetros. En año 2001, el Laboratorio de SIG del MAGA publicó que para el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa le correspondía un precipitación anual de 2, 656.50 mm de agua de lluvia.

Datos obtenidos de la estación meteorológica Camantulul del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático. Manejando un histórico de 10 años, de las precipitaciones con fecha del 01/01/2005 0:00 al 01/01/2015 23:00 (<https://www.ICC.org.gt>, 2014). Se determinó que la acumulación de lluvia fue de 3,556 mm durante el año 2014 para el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa.

Cuadro 20. Precipitación media durante 10 años

AÑO/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL
2005	34,00	1,80	60,00	162,20	581,00	1290,80	912,60	533,20	940,00	833,80	32,20	0,00	5381,60
2006	23,70	0,00	0,00	196,00	433,00	289,30	697,70	629,90	612,40	881,60	494,80	34,20	4292,60
2007	0,00	18,00	44,20	265,20	484,80	587,40	713,20	772,00	545,10	462,50	77,70	0,00	3970,10
2008	0,00	73,40	66,40	176,00	208,60	654,60	470,90	705,70	957,00	413,00	34,40	0,00	3760,00
2009	46,30	5,80	36,60	54,20	671,60	689,20	408,00	378,60	540,00	565,20	384,40	21,40	3801,30
2010	26,20	2,60	7,00	301,00	859,60	782,40	625,00	732,20	910,40	337,00	157,40	76,60	4817,40
2011	69,00	79,80	82,60	251,00	530,80	449,00	740,60	820,80	581,00	651,60	97,40	36,20	4389,80
2012	27,60	21,60	137,40	308,20	500,80	282,80	459,00	721,80	507,80	688,60	159,00	63,60	3878,20
2013	7,00	106,20	21,20	112,00	470,00	565,00	457,60	668,80	511,80	665,20	408,20	52,40	4045,40
2014	3,60	112,80	112,40	279,60	642,20	445,00	339,40	537,80	553,80	456,20	64,20	9,20	<b>3,556</b>
PROMEDIO	23,74	42,20	56,78	210,54	538,24	603,55	582,40	650,08	665,93	595,47	190,97	29,36	4189,20

Gráfica. Precipitación Pluvial Neta (PN): suma mensual de los meses más lluviosos.



Coefficiente de Escurrimiento (Ce) = 0.9

Probabilidad de lluvia 85%

$$h_{\text{captación}} = (0.9 * 0.85) = 0.765$$

- PN4 = 211 \* 0.765 = 161
- PN5 = 538 \* 0.765 = 412
- PN6 = 604 \* 0.765 = 462
- PN7 = 582 \* 0.765 = 446
- PN8 = 650 \* 0.765 = 497
- PN9 = 665 \* 0.765 = 509
- PN10 = 595 \* 0.765 = 456
- PN11 = 191 \* 0.765 = 146

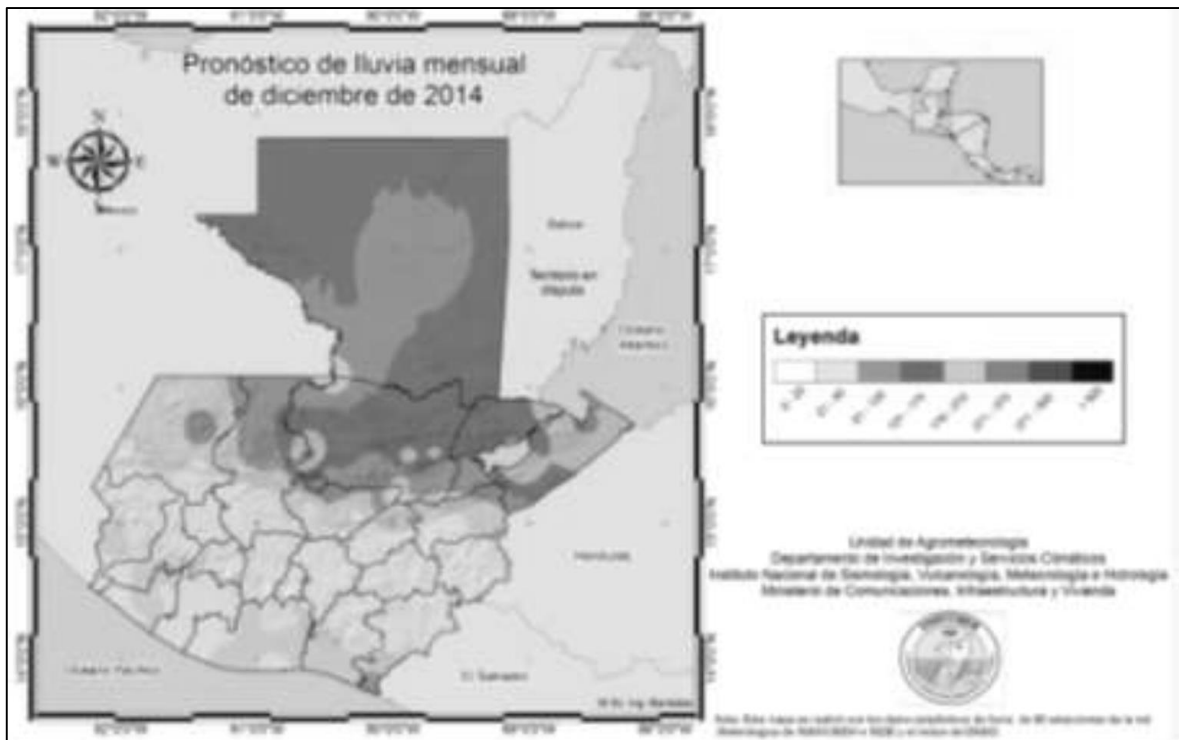
Precipitación  
Total Captable  
Anual es :

**3,088** mm

Figura 19. Precipitación pluvial del departamento de Escuintla.

Secretaría General de Planificación y Programación de la Presidencia - Dirección de Políticas Regionales y Departamentales Sistema Nacional de Planificación Estratégica Territorial - SINPET Sistema de Usuarios de Información Territorial - SINIT						
Tabla Número	42a-05					
Variable	Precipitación pluvial: precipitación promedio, precipitación máxima, precipitación mínima					
Cobertura Geográfica	Municipios del Departamento de Escuintla					
Fecha de Publicación	2001					
Unidad de Medida	Milímetros de precipitación					
Fuente	Laboratorio de SIG del MAGA y Proyecto ESPREDE-CATIE. Base de datos digital de la República de Guatemala a escala 1:250,000. Febrero de 2001					
		Escuintla	Santa Lucía Cotzumalguapa	La Democracia	Siquinalá	Masagua
Código Departamento y Municipio	Código de campo	501	502	503	504	505
Precipitación promedio	P PRO	2,361.44	2,656.50	1,928.00	2,354.00	1,928.00
Precipitación máxima	P MAX	3,228.00	4,600.00	3,800.00	4,163.33	3,800.00
Precipitación mínima	P MIN	1,768.67	1,183.50	1,083.50	1,123.33	1,083.50

Figura 20. BOLETIN Climático 12-2014.  
Perspectiva de finalización de época de lluvias en Guatemala.



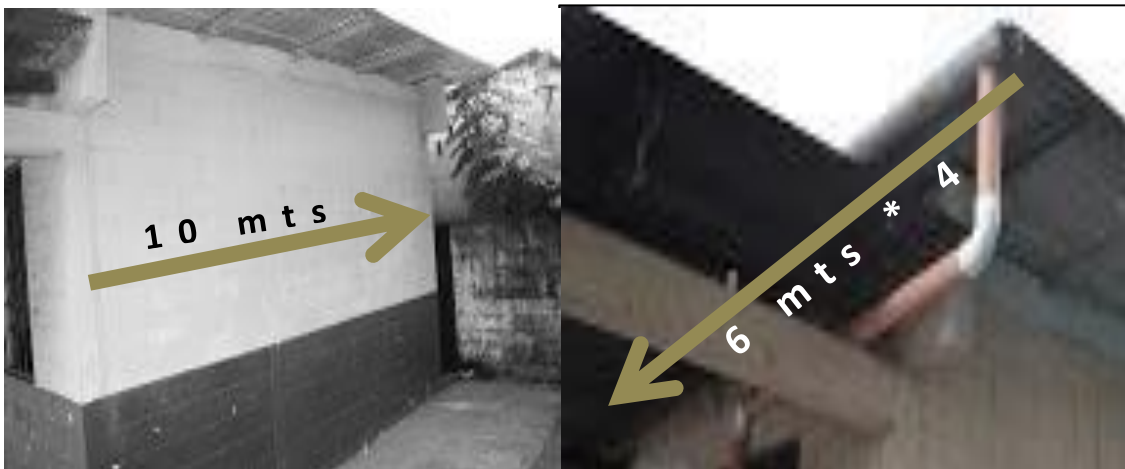
### E. ÁREA EFECTIVA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA

Área de captación = fondo de lámina \* largo de canaleta

$$A = 10 \text{ m} * (4 * 6 \text{ m})$$

$$A = 180 \text{ m}^2$$

Figura 21. Parte del laminado de galvanizado en el área  
Donde se instaló el prototipo.



$$Aec = \frac{D \text{ anual}}{\sum_{j=1}^{12} \bar{P}N_j}$$

$$\begin{aligned} \text{Área Efectiva de Captación} &= D / \text{PPN} \\ Aec &= 901 \text{ m}^3 / 3.08 \text{ m} \\ Aec &= 292.53 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ de área disponible para captar} &= 180 \text{ m}^2 / 292.53 \text{ m}^2 \\ \% \text{ Acap} &= 61.5\% \end{aligned}$$

## F. DISEÑO DE LA CONDUCCIÓN DEL AGUA DE LLUVIA CAPTADA

$$\text{G. } I = 3,556 \text{ mm} / 8760 \text{ hrs}$$

$$\text{H. } I = 0.41 \text{ mm/h} = 0.00041 \text{ m/h}$$

$$\text{I. } Q = A * I$$

$$\text{J. } Q = 180 \text{ m}^2 * 0.00041 \text{ m/h} = 0.0731 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{K. } Q = 73.07 \text{ Lt/h}$$

1. Diámetro de la tubería de caída: Tabla de referencia, muestra la relación entre el tamaño del área de captación en m<sup>2</sup> y el diámetro de la caída con capacidad de desalojo para intensidad de lluvia de 0.41 mm/h.

Cuadro 21. Determinar el Diámetro de la tubería de caída

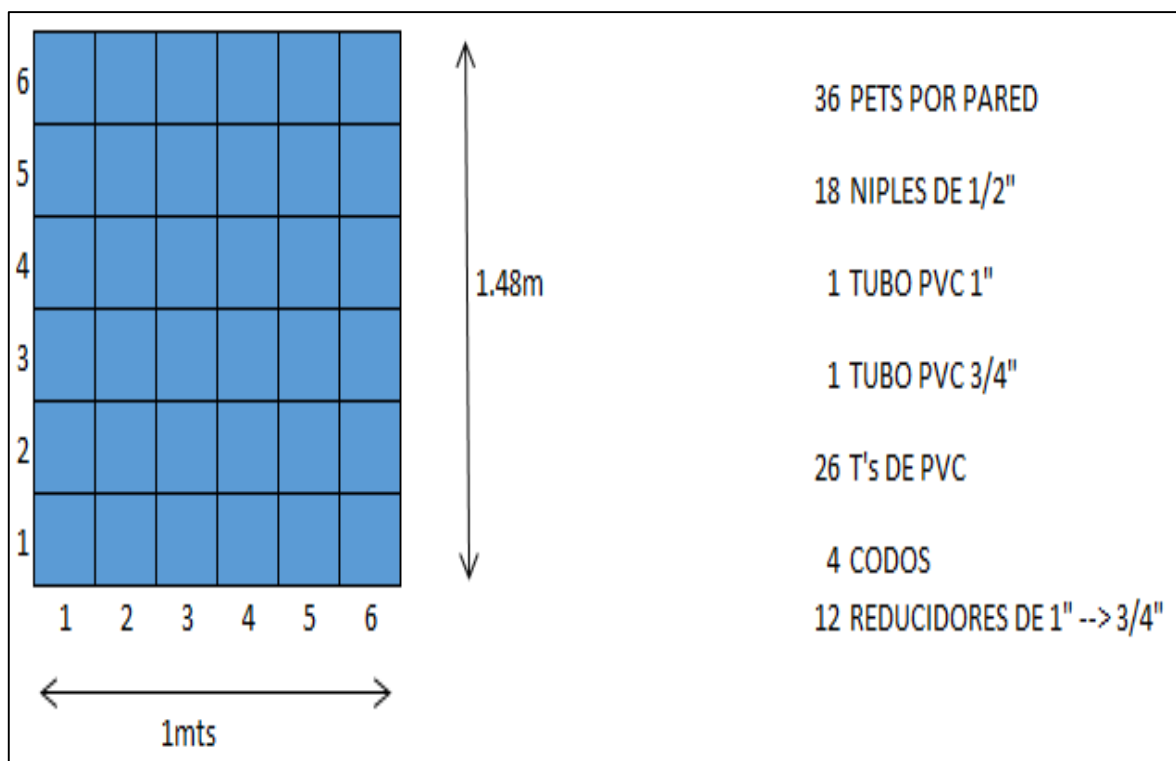
Superficie en m <sup>2</sup> (Techo)	Diámetro de tubería (mm)	Diámetro de tubería (Pulgadas)
65	50	2"
113	63	2 ½ "
177	75	3"
318	90	3 ½ "
580	110	4"
805	125	4 ½ "
1544	160	6"
2700	200	8"

2. Diámetro de las canaletas: Diámetro de los colectores de acuerdo con la magnitud de la pendiente de la sección longitudinal de la canaleta, considerando una intensidad de lluvia de 0.41 mm/h

Cuadro 22. Determinar el diámetro de las canaletas.

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

Figura 22. Diseño del Eco-Muro y el listado de los materiales de ensamblaje del mismo.



Cuadro 23. Cotización de los materiales y elementos indispensables para instalar el sistema de captación de agua de lluvia

<b>Cant.</b>	<b>Descripción</b>	<b>COSTO</b>	<b>Eco-Muro</b>	<b>CISTERNA</b>
1	Canaleta 6 m de largo	80	Q 80,00	Q 80,00
1	Canaleta con caída 6 m	80	Q 80,00	Q 80,00
3	Tubo 3" PVC para caída	135	Q 405,00	Q 405,00
2	Codo de 3" PVC blanco	16	Q 32,00	Q 32,00
1	Cisterna 5000 Lts	8950		Q 8.950,00
1	Bomba 1/2 HP	350		Q 350,00
1	Eco-Filtro 16Lts	350	Q 350,00	Q 350,00
2	Llave de paso mariposa PVC	31	Q 62,00	
8	Sostenedor de canaleta	15	Q 120,00	Q 120,00
1	Tubo de 2" PVC blanco	87	Q 87,00	
1	Broca plana 3/4"	17	Q 17,00	
3	Tubo 3/4" de PVC 6 m	35	Q 105,00	Q 105,00
1	Adaptador Hembra 3/4" PVC	4	Q 4,00	
2	Teflón rollo	3	Q 6,00	
8	Codo de 2" PVC blanco	14	Q 112,00	
18	T de 2" PVC blanco	19	Q 342,00	
3	Pomo 350mL con brocha	38	Q 114,00	
1	Chorro 3/4" bronce	27	Q 27,00	
1	Reductor de 3" a 2" PVC blanco	7	Q 7,00	
100	Cincho plástico 2 1/2"	0,34	Q 34,00	
1	Red metálica fina yarda	17	Q 17,00	
<b>TOTAL</b>			<b>Q 2.001,00</b>	<b>Q10.472,00</b>

## VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El sistema de captación de agua de lluvia utilizando Eco-Muros como modo de almacenamiento no abastece con lo esperado. Pero si mantenemos la idea de utilizarla solamente para beber, ósea para ingesta de cada uno de los beneficiados dentro de la escuela el proyecto sería favorable. Sabiendo que la capacidad del Eco-Muro abastece la demanda diaria de la escuela en el tema de agua bebible. Impactando grandemente en la economía de la escuela.

$$\begin{aligned}\% \text{Capacidad} &= C/D \\ \% \text{Cap} &= 288\text{lt}/210\text{lt} \\ \% \text{Cap} &= 1.37 \quad \% \text{Cap} = 137\%\end{aligned}$$

La escuela compra 3 garrafones a Q16.00 de Agua Pura por aula (siendo 13), cada mes. Eso equivale a un gasto de Q 628.00. En los primeros 3 meses se pagaría el sistema y se iniciaría a ahorrar para reinvertirlo en mejorar la escuela.

Mediante el presente proyecto se pretende impulsar una opción para proveer agua potable a la población. El hacerlo a través del aprendizaje significativo implica incidir en la concienciación sobre la importancia del consumo de agua de calidad a la vez que se desarrollan capacidades sobre la temática.

El proyecto permitirá crear un grupo de apoyo, para que los beneficiarios (directos -a través de capacitación- o indirectos -a través de promoción-) puedan realizar consultas sobre la temática. Mediante las tareas de divulgación se pretende que la población tenga conocimiento sobre el proyecto, y que pueda estar motivada en trabajar en almacenamiento de agua en el futuro.

Se tendrá incidencia sobre temas transversales como salud, seguridad alimentaria y desarrollo. Por ejemplo, se espera reducir la probabilidad de la ocurrencia y el grado de enfermedades gastrointestinales y a su vez la carga que eso conllevaría a nivel público para la cura de enfermedades (con implicaciones en seguridad alimentaria). Los impactos causados por el proyecto, vendrán a complementar el trabajo que desde distintos ámbitos (p.ej. gobierno) se están haciendo.

Impactar en jóvenes (a través de la escuela) implicaría cambios de comportamiento intr.-generacionales. A su vez los jóvenes son un grupo con gran capacidad de cambio e incidencia. También se espera que se produzca una reducción de las ausencias de estudiantes y maestros a clase por enfermedades gastrointestinales al consumir agua de mejor calidad. Esto último podría revertir en mejores resultados escolares.

Se han detectado 13 formas o sistemas que los habitantes de esta región que han utilizado como fuentes de agua de consumo. Sin embargo, el estanque o presa de tierra, que es el más rudimentario y menos higiénico de todos, sigue siendo la fuente más usada y la más segura.

Los pozos equipados con bomba se utilizan para la agricultura irrigada y, donde existen, el problema de agua de consumo queda plenamente satisfecho. Sin embargo, sí el acuífero se seca, la agricultura desaparece y surge de inmediato la carencia del agua para consumo humano.

El transporte de agua cumple una función humanitaria en nuestro medio rural árido pero nunca dejará de ser una medida de emergencia y no una solución definitiva.

## VIII. CONCLUSIONES

El costo total de la puesta en marcha del proyecto es de Q2001.00, esto garantiza 2 años de trabajo normal del sistema. El costo de inversión aun sea con materiales de reciclaje es elevado tomando en cuenta nivel económico-social del usuario objetivo. Aunque el Eco-Muro como sistema de almacenamiento es 19% más económico comparado con la adquisición del cisterna común de cualquier marca de preferencia. Incluye una estructura metálica tipo compartimento para evitar daños por temporales atmosféricos, negligencia o mal uso de los docentes dentro de la escuela.

La limitante que se detectó al momento del diseño fue la capacidad de almacenamiento del Eco-Muro que solo se adecua al 12% de las necesidades, llenándose 2 veces durante las 5 horas que están los alumnos en la escuela. Para abastecer en cantidad la demanda de la escuela (que incluye pila, baños y para beber) es necesario instalar 5 sistemas de captación pluvial e invertir Q10, 005.00 en el proyecto.

Si se tomara como referencia que el agua de lluvia captada es solo para beber. Si se cubre la demanda completa y 37% más. A esto se debe agregar que ahorrarían Q628.00 como escuela, obteniendo agua limpia y gratis por el sistema de captación agua de lluvia.

Al evaluar la rentabilidad de instalar el sistema hidráulico para sustituir el dispositivo de abastecimiento de agua para uso y consumo dentro de la escuela pública se llegó a la conclusión que, el costo de inversión aun sea con materiales de reciclaje es elevado tomando en cuenta nivel económico-social del usuario objetivo, pero el Eco-Muro como sistema de almacenamiento es 49% más económico comparado con la adquisición del cisterna común de cualquier marca de preferencia.

La desventaja más prominente que se detecto fue, la capacidad de almacenaje del Eco-Muro conforme a la población objetivo a abastecer. Como se describió al inicio del informe se debe elegir una población lo suficientemente pequeña para evitar crear un proceso de almacenamiento de agua que salga de las especificaciones de seguridad y perjudique el proceso normal del sistema o la vida útil del mismo.

No se debe olvidar instalar la válvula de salida, vía de escape de las primeras lluvias o By-Pass, con un desglose de la tubería de conducción para desviar las primeras lluvias que se utilizan básicamente para limpiar el área de captación (techo de lámina) y es perjudicial para el sistema de almacenamiento, si llegará a estancarse dentro del Eco-Muro. El agua dentro del Eco-Muro debe ser agua clarificada debido a que dentro de un envase PET puede permanecer al menos 3 días sin recibir luz solar antes de que sea atacada por bacterias y crecimiento de algas.

Se diseñó y se puso en operación el sistema del ariete. Pero debido al agua de lluvia desperdiciada por el mismo mecanismo, se descartó como una opción que mejoró el método de ahorro de recursos naturales.

El sistema eficiente inició al momento de agregarle el ariete hidráulico para distribuir el agua desde el dispositivo de almacenamiento hasta los lugares usuales donde se necesitaba agua de la interconexión hídrica dentro de la escuela pública. Como por ejemplo la pila o los baños. Esta idea nació al observar que aun teniendo el sistema de captación de agua de lluvia, la señora que realiza la limpieza dentro de la escuela usaba botes para distribuir el agua contenida dentro del Eco-Muro y la finalidad del nuevo sistema de almacenamiento quedaba en tela de duda. Entonces se mejoró el sistema.

El Sistema de Captación y Aprovechamiento de Agua de Lluvia en techos son una opción para mejorar el suministro de agua en localidades de difícil acceso o marginadas; y se han practicado desde la antigüedad y han resurgido en las últimas décadas como una nueva opción tecnológica para disponer de agua todo el año.

El proceso de humanizar el agua de lluvia necesita un fuerte compromiso colectivo que replantee el uso sostenible de los recursos hídricos. El objetivo de reducir la pobreza de mujeres y hombres debe estar acompañado de conocimientos sobre la vulnerabilidad de los ecosistemas tropicales que suministran el alimento sólido y sobre las potencialidades del agua de lluvia, que suministra el alimento líquido, ambos son esenciales para la preservación de la vida.

Las labores tradicionales de las mujeres, jóvenes, ancianos y niños en el medio rural, marcan desigualdades de género ya que ellos dedican horas y horas por día en el acarreo de agua, de leña y en las actividades agropecuarias, lo cual los limita para dedicar ese preciado tiempo a otras actividades productivas.

Los sistemas de captación, almacenamiento y aprovechamiento del agua de lluvia son tradicionales y han tenido un importante papel en el abastecimiento de este vital líquido sobre todo en las comunidades rurales; sin embargo, se deben establecer y completar con sistemas de potabilización y purificación que aseguren calidad, cantidad y continuidad en el abastecimiento del agua.

## IX. RECOMENDACIONES

- A. Cuando las precipitaciones medias mensuales sean menores de 60 milímetros y de baja intensidad (mm/hr), se recomienda no considerarlas, sobre todo si se presentan durante las épocas secas, ya que la cantidad y calidad del agua de lluvia no será de consideración para su almacenamiento. Estas son consideradas lluvias acidas que solo sirven para la limpieza de área de captación y canaletas. Usar el vertedero o By-Pass para desviar la corriente.
- B. No es recomendable instalar el sistema en sitios donde la demanda sobrepase los 100 m<sup>3</sup>/año, de esta manera se debería pensar en un cisterna de 10,000 Lt en adelante para almacenar el agua de lluvia (sustituyendo el Eco-Muro) y las partes complementarias son exactamente igual.
- C. La superficie debe contar con una extensión tal, que permita captar un volumen de agua igual al estimado en la demanda, y una pendiente que facilite el escurrimiento pluvial al sistema de conducción; es importante mencionar que solo se debe considerar la proyección horizontal del área de captación y expresarla en m<sup>2</sup>.
- D. No se recomienda utilizar otro método que purificación de agua de lluvia, que no sea el Eco-Filtro. Debido a la los químicos que pueden ser perjudiciales para la salud o disminuir el tiempo de almacenaje de agua de lluvia, sin ningún problema, en el Eco-Muro.
- E. 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. La superficie debe contar con una extensión tal, que permita captar un volumen de agua igual al estimado en la demanda, y una pendiente que facilite el escurrimiento pluvial al sistema de conducción; es importante mencionar que solo se debe considerar la proyección horizontal del área de captación y expresarla en m<sup>2</sup>

## X. BIBLIOGRAFÍA

- A. Anaya, G. M. 2006. *Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia (Tríptico)*. Colegio de Postgrados, Montecillo, Edo. De México.
- B. Anaya, G. M. 2006. *Objetivos y logros del CIDECALLI-CP*. Experiencia Local FT.239. IV Foro Mundial del Agua.
- C. Banco Mundial. 2007. *Gender equality as Smart economics*. A World Bank Group Gender Action Plan (Fiscal years 2007 – 10). Washington.
- D. Chavarrías, M. 2006. *Los retos del acceso al agua potable*. IV Foro Mundial del Agua. 16 de marzo. <http://www.consumaseguridad.com>
- E. Garrido H. S. 2006 *Sistemas para la captación y tratamiento de aguas pluviales para uso y consumo humano en comunidades rurales*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. <http://www.raincentre.org/>
- F. INE (Instituto Nacional de Estadística, GT). 2007. *Censos nacionales XI de población y VI de habitación: características de la población y de los locales de habitación censados*. Guatemala. 271 p.
- G. INSIVUMEH (Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, GT). 2013. *Registros climáticos del período 1994 - 2011 de la estación meteorológica de Escuintla*. Guatemala.
- H. Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA), Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas (FCAA), Universidad Rafael Landívar (URL). 2006. *Síntesis del Perfil Ambiental de Guatemala*. Instituto de Incidencia Ambiental. Guatemala.
- I. Moncho, R.; Belda, F; Caselles, V. 2010. *Climatic study of the exponent «n» in IDF curves: application for the Iberian Peninsula*. Tethys, nº 6: 3-14. DOI: 10.3369/tethys.2009.6.01.
- J. Organización de las Naciones Unidas (ONU). 2006. *Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el Mundo, Agua para todos, Agua para la vida*. Marzo 16. IV Foro mundial del Agua.
- K. Organización Meteorológica Mundial (OMM). «Atlas Internacional de Nubes». 1993. *Volumen I: «Manual de observación de nubes y otros meteoros»*, Publicaciones de la OMM, nº 407, Ginebra.

- L. P. Gourou y L. Papy. 2013. *Compendio de Geografía General*. Editorial RIALP. Págs. 56 – 57. ISBN 84-321-0249-0.
- M. Pacheco, M. 2006. Rainwater Harvesting options. *Why are they absent from the humanitarian aid and trade market?*. Aid and Trade 2006/2007 Review. London.
- N. Pizarro, R.; Pizarro, J.P.; Sangüesa, C.; Martínez, E. 2010. *Módulo 2: Curvas Intensidad Duración Frecuencia*. Sociedad Estándares de Ingeniería para Aguas y Suelos LTDA.
- O. Publicado por CENTRO DE LA LLUVIA y la Fundación Gonzalo Río Arronte. 2008, *Guía del agua y la construcción sustentable*, México.
- P. PURIFICACIÓN DEL AGUA. *Métodos para purificar el agua de lluvia*. Visto en 16/03/14. [http://www.living-water.org/procesos\\_de\\_purificacion\\_del\\_agua.htm](http://www.living-water.org/procesos_de_purificacion_del_agua.htm)
- Q. Rainwater Harvesting-ORG. *SEDIMENTACIÓN*. Observado en 23/03/2014 <http://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj-246/capitulo5-sedimentacion.pdf>
- R. Romero, R. J. A. 1999. *Calidad del Agua*. Escuela Colombiana de Ingeniería. 2da. Edición. Alfaomega. Colombia.
- S. Secretaría General de Medio Ambiente de Guatemala. Junio de 2006. *PRECIPITACIÓN: Lluvia Ácida*. <http://www.ciclohidrologico.com/precipitacin>
- T. Solo, Tova. 2003. *Independant Water Entrepreneurs in Latin America*. The other private sector in wáter services. Banco Mundial, Washington.

## XI. ANEXO

Figura 23. Fotografía 1 del interior de la escuela beneficiada con el prototipo.



Figura 24. Fotografía 2 del interior de la escuela beneficiada con el prototipo.

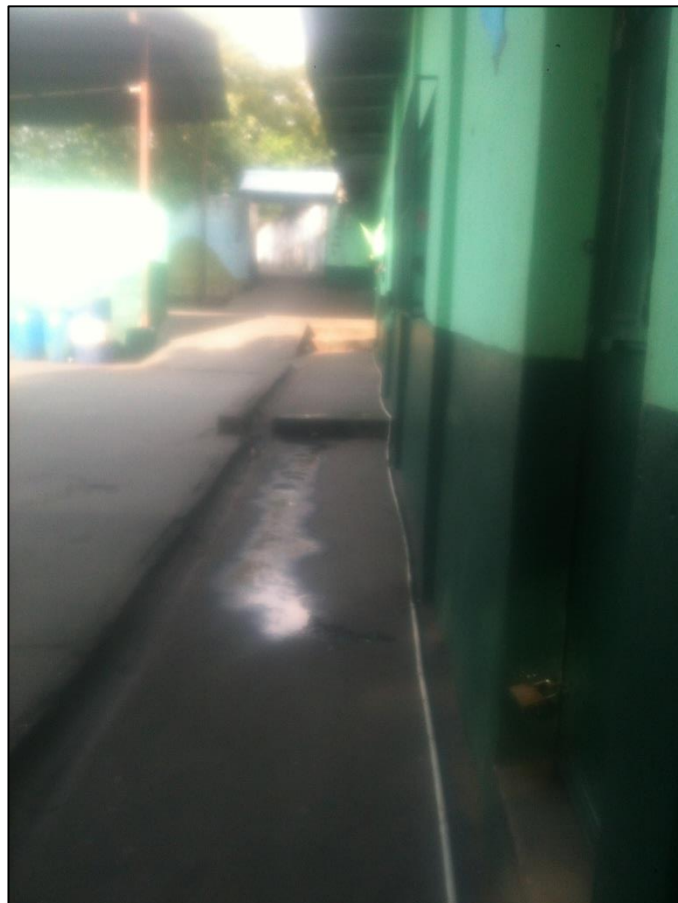


Figura 25. Fotografía 3 del interior de la escuela beneficiada con el prototipo.



Figura 26. Fotografía 4 del interior de la escuela beneficiada con el prototipo.

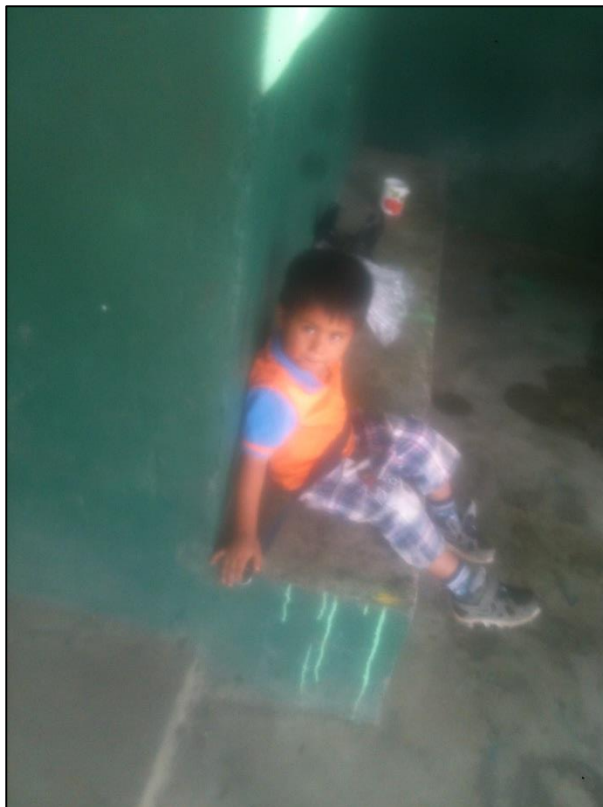


Figura 27. Fotografía 5 del interior de la escuela beneficiada con el prototipo.



Figura 28. Fotografía 6 del interior de la escuela beneficiada con el prototipo.



Figura 29. Fotografía 7 del interior de la escuela beneficiada con el prototipo.

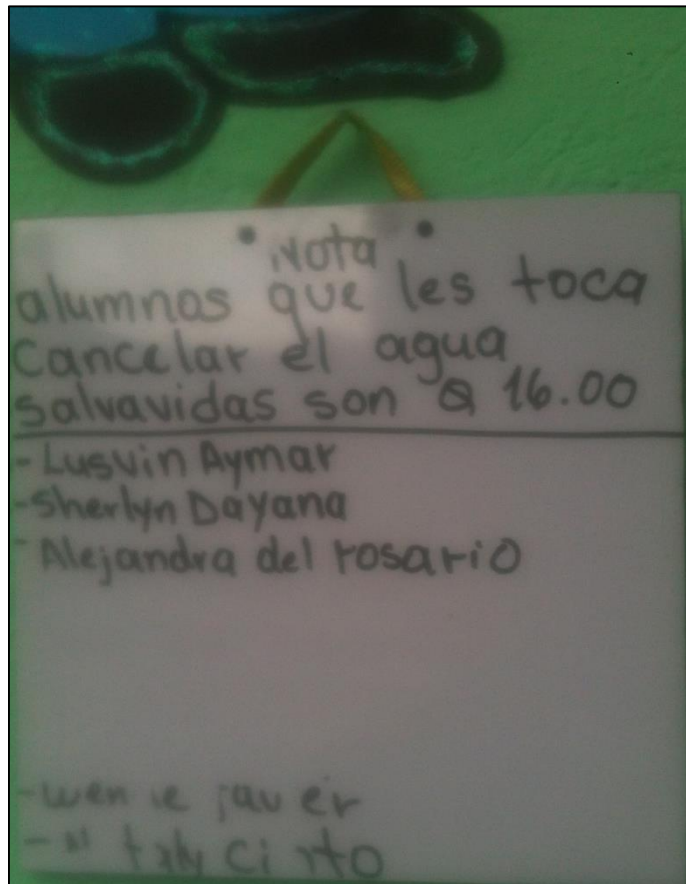


Figura 30. Fotografía 8 del interior de la escuela beneficiada con el prototipo.

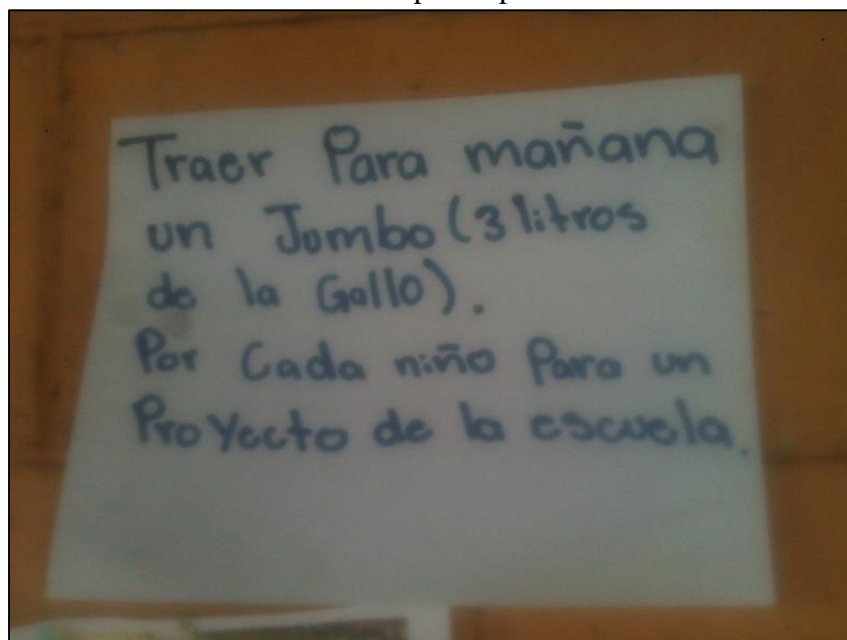


Figura 31. Fotografía 9 del interior de la escuela beneficiada con el prototipo.



Figura 32. Fotografía 10 del interior de la escuela beneficiada con el prototipo.



Figura 33. Fotografía 11 del interior de la escuela beneficiada con el prototipo.



Figura 34. Ariete utilizado en el sistema de captación de agua de lluvia.

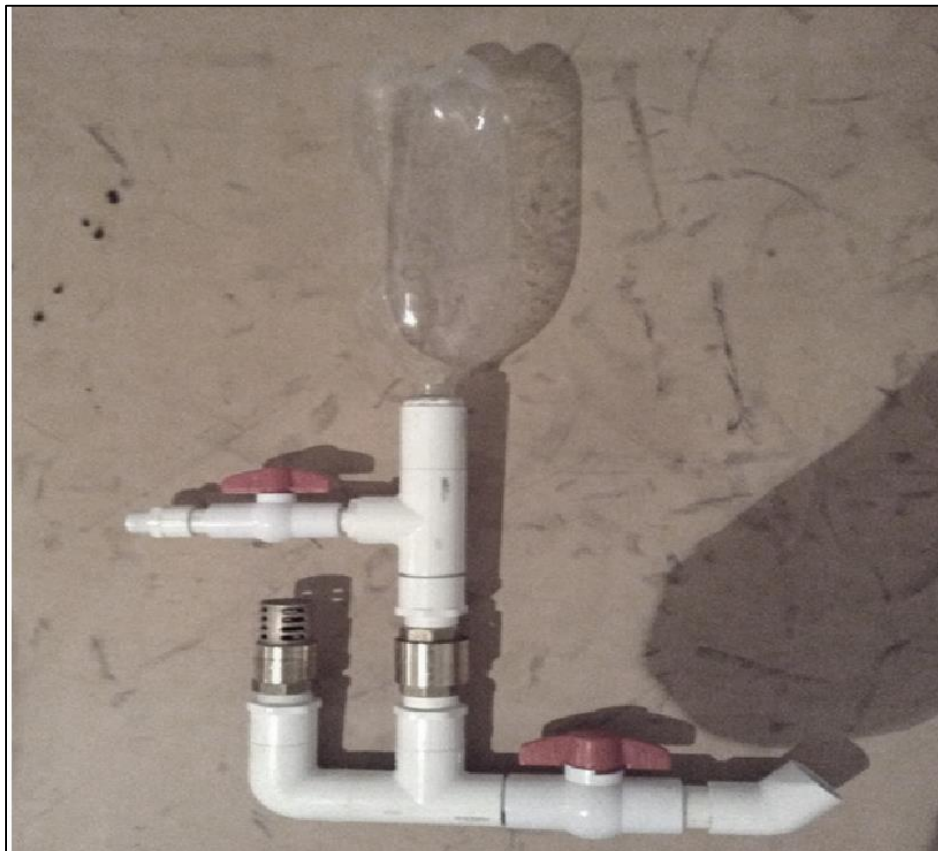


Figura 35. Proceso de ensamblaje del Eco-Muro.



Figura 36. El Sistema de captación de agua de lluvia utilizando Eco-Muros para su almacenamiento.



## XII. GLOSARIO

- A. **Agua de lluvia.** *Precipitación de gotas de agua líquida de diámetro mayor a dispersas. Se denomina así al agua de lluvia y a sus variantes, como la nieve y el granizo.*
- B. **Agua Potable.** *Agua para uso y consumo humano que no tiene contaminantes objetables (Según la COGUANOR NGO 29-001), ya sean químicos o agentes infecciosos que no causan efectos nocivos para la salud del ser humano.*
- C. **Agua purificada.** *Agua sometida a un tratamiento físico o químico que se encuentra libre de agentes infecciosos, cuya ingestión no causa efectos nocivos a la salud y para su comercialización se presenta en garrafrones u otros envases con cierre hermético, que además cumple con las especificaciones que se establecen en la COGUANOR NGO 29-001.*
- D. **Aguas pluviales.** *Se denomina así al agua de lluvia y a sus variantes, como son la nieve y el granizo.*
- E. **Aljibe.** *Es una cisterna para el almacenamiento del agua de lluvia.*
- F. **Calidad del agua.** *Valor en una escala de 0% a 100% que indica el grado de contaminación de un cuerpo de agua y que se obtiene a partir de un promedio ponderado de los índices de calidad individuales de 18 parámetros dentro de los que se encuentran pH, la DBO y los sólidos suspendidos.*
- G. **Canaletas.** *Conductos de diferente forma (rectangulares, trapezoidal, circulares) que se utilizan para coleccionar y conducir el agua de lluvia proveniente de un área de captación.*
- H. **Cisterna.** *Depósito subterráneo o superficial donde se conserva el agua de lluvia, de un río o manantial para el abastecimiento en los diversos usos por los seres vivos.*
- I. **Filtración.** *Remoción de partículas suspendidas en el agua, haciéndola fluir a través de un medio de porosidad adecuada.*
- J. **Lluvia acida.** *Se forma cuando la humedad en el aire se combina con los óxidos de nitrógeno y el dióxido de azufre emitidos por fábricas, centrales eléctricas y vehículos que queman carbón o productos derivados del petróleo.*
- K. **Normatividad.** *Códigos de conducta para normar la sociedad.*

- L. **Potabilización.** *Proceso de tratamientos donde la sustancia constituida exclusivamente por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno en la naturaleza tenga un grado de pureza ya que está siempre impurificada con una serie de componentes inorgánicos y orgánicos.*
- M. **Precipitación pluvial o lluvia.** *Es el agua meteórica que caen en forma líquida o sólida sobre la superficie del terreno, la cual proviene del enfriamiento del aire atmosférico saturado de vapor de agua y la consecuente formación de gotas de un tamaño tal que por gravedad descienden.*
- N. **Sedimentación.** *Proceso físico que consiste en la separación de las partículas suspendidas en el agua, por efecto gravitacional.*
- O. **Sistema de abastecimiento de agua.** *Conjunto de elementos integrados por las obras hidráulicas de captación, conducción, potabilización, desinfección, almacenamiento o regulación y distribución.*
- P. **Sistemas de captación de agua de lluvia.** *Es la recolección de agua de lluvia en un área de captación y conducida a un sistema de almacenamiento para su posterior aprovechamiento para diversos usos humanos, agrícolas e industriales.*
- Q. **Uso eficiente del agua.** *Es un medio sostenible del uso del agua y una reducción de los costos totales de por su adquisición que contribuye a mejorar la garantía de suministro, la calidad del servicio y el medio ambiente.*