

**Cosecha de agua desde techos, una alternativa
para uso no potable en las residencias
estudiantiles del campus de Zamorano**

Laura Mirian Flores Ponce

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras
Noviembre, 2013

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA EN AMBIENTE Y DESARROLLO

Cosecha de agua desde techos, una alternativa para uso no potable en las residencias estudiantiles del campus de Zamorano

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero en Ambiente y Desarrollo en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Laura Mirian Flores Ponce

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2013

Cosecha de agua desde techos, una alternativa para uso no potable en las residencias estudiantiles del campus de Zamorano

Presentado por:

Laura Mirian Flores Ponce

Aprobado:

Luis Alonzo Caballero, Ph.D.
Asesor principal

Laura Elena Suazo, Ph.D.
Directora
Departamento de
Ambiente y Desarrollo

Marco Granadino, M.Sc.
Asesor

Raúl Zelaya, Ph.D.
Decano Académico

Cosecha de agua desde techos, una alternativa para uso no potable en las residencias estudiantiles del campus de Zamorano

Laura Mirian Flores Ponce

Resumen: La precipitación es la fuente primaria de agua en los ecosistemas, una vez que llega al suelo puede infiltrarse o escurrir por el mismo y así determinar su disponibilidad. Se evaluó la factibilidad económica de implementar un sistema de captación de agua que escurre por los techos de las residencias estudiantiles “Dormitorios Arboreto”, campus de Zamorano; cuyo uso sería el lavado de sanitarios. Se incluyó los aspectos de mercado, técnico y un análisis costo-beneficio. La oferta hídrica se determinó a partir de los registros de la precipitación. La demanda hídrica se calculó por medio de un censo y una encuesta a la población estudiantil residente en dicho complejo sobre el uso del agua. El análisis costo-beneficio se basó en un diseño preliminar, el costo de los materiales y los equipos, y el mantenimiento. Se consideró beneficios directos por el ahorro de agua proveniente de la red de distribución del campus e indirectos por el manejo de la escorrentía. Se determinó que el potencial de ahorro de agua es de 3760 m³/año, lo cual abastecería a 78% de la demanda anual. Debido a la falta de oferta hídrica de enero a abril, el sistema requiere de un diseño híbrido. Se obtuvo una TIR de 5.25% lo que indicó que el proyecto no es económicamente factible comparado a la tasa activa de descuento 8.53%. El sistema podría ser factible si en el valor económico del agua se incluyera su posibilidad de purificarla y embotellarla para su venta en el mercado interno.

Palabras clave: Abastecimiento alternativo, agua azul, cosecha de agua lluvia, oferta hídrica.

Abstract: Precipitation is the primary source of water in the ecosystems. Once precipitation reaches soil floor it can infiltrate or produce runoff, affecting its availability for future use. This study evaluated the economic feasibility of implementing a rooftop rainwater harvesting system for the student residence “Dormitorios Arboreto” in Zamorano’s campus; with an intended use in toilet cleaning. The study included a technical, marketing and cost-benefit analysis. Water supply was calculated using the long-term precipitation records for the Campus. Water demand was calculated by a census and a poll to the student population about water use in that residence. The cost-benefit analysis included direct costs and based in a preliminary technical design, materials and equipment costs and maintenance. The results indicate that 3760 m³ of water per year can be saved which represent a 78% of total water demand for The “Dormitorios Arboreto”. Due to the lack of precipitation from January through April the system design should be hybrid. The project is not economically feasible due to the fact that money lending rate is greater than the IRR in 5.25% and the discount rate 8.53%. The system might become economically feasible if the economic value of water includes the possibility of purifying and bottling of water for internal sale.

Keywords: Alternative water supply, blue water, rain water harvesting, water supply.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de cuadros, figuras y anexo.....	v
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3 CONCLUSIONES.....	16
4 RECOMENDACIONES.....	17
5 LITERATURA CITADA	18
6 ANEXOS	19

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Descargas por estudiante por el uso de los inodoros y los urinarios.	8
2. Perspectiva de los estudiantes sobre el uso de agua para la descarga de los sanitarios y los urinarios dentro de las residencias.	10
3. Matriz de demanda y oferta de agua para el uso de los inodoros y los urinarios.	11
4. Beneficios proyectados que proporcionaría el sistema si se implementará.	14
5. Matriz del análisis costo/beneficio de implementar un sistema de captación de agua desde techos en el proyecto “Dormitorios Arboreto”, Campus de Zamorano, Honduras.	15
Figuras	Página
1. Proyección horizontal del techo de los edificios del proyecto arboreto.	5
2. Gráfica de porcentajes de uso de agua tratada en los diferentes rubros dentro del campus de Zamorano, Honduras, de 2010-2013.	7
3. Demanda media de agua L/persona/día por el uso de los inodoros y los urinarios, agrupados por dormitorio, Campus Central de Zamorano, Honduras.	9
4. Descripción esquemática de canaleta pluvial, sistema de cosecha de agua desde techos.	12
5. Almacenamiento de agua acumulado para cada mes.	13
Anexos	Página
1. Costos de materiales para la implementación del proyecto.	19
2. Costos por mantenimiento anual del sistema.	20
3. Imagen de los edificios del proyecto “Dormitorios Arboreto”. Campus de Zamorano, Honduras.	20

4. Calles ocultas por la inundación causado durante un evento de precipitación de corta duración en los edificios del proyecto “Dormitorios Arboreto”. Campus de Zamorano, Honduras..... 21

5. Esquema del diseño del sistema de cosecha de agua desde techos para el proyecto “Dormitorios Arboreto”, campus universitario de Zamorano, Honduras. 21

1. INTRODUCCIÓN

Los recursos hídricos se están explotando insosteniblemente. Para frenar esta acción se deben desarrollar estrategias de gestión del recurso a nivel local, regional y nacional. Estas estrategias deben basarse en administrar correctamente los recursos hídricos y conservarlos para las futuras generaciones a fin de asegurar el derecho humano al agua (UNESCO 2009). La precipitación es la fuente primaria de agua en los ecosistemas, que luego de alcanzar el suelo puede infiltrarse o escurrir por el mismo y de esta forma determinar su disponibilidad para uso futuro. Si el agua disponible no es aprovechada inmediatamente o almacenada para su posterior uso, fluye hacia fuera de la zona de interés. Es por ello que a través de los años se han desarrollado diferentes técnicas para aprovechar *in situ* este recurso (IWMI 2007).

Con el crecimiento urbano, las zonas de cobertura natural se pierden, debido al asfaltado y la construcción sobre el suelo, lo cual impermeabiliza la capacidad de infiltración del mismo, lo que genera mayor escorrentía. El agua de escorrentía puede ser almacenada y utilizada para diferentes usos como una fuente de abastecimiento alternativo de agua (Clear 2011). Las prácticas de captación de lluvia reduce el riesgo de erosionar ya que disminuye la escorrentía generada en el suelo (FAO 2000).

La Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, ubicada en el Valle del Yeguaré, San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras, a 30 Km al sureste de Tegucigalpa, a 14°1'0" latitud Norte y 87°2'0" longitud Oeste, con una altura media de 800 msnm, recibe una precipitación media anual de 1100 mm y una temperatura promedio anual de 24°C. Zamorano es una universidad dedicada a la formación de profesionales líderes en la innovación agro-empresarial y manejo de los recursos naturales. La Universidad fue fundada en zona con relativa escasez de agua debido a dos estaciones marcadas, seca y lluviosa.

La Reserva Biológica Uyuca es la fuente de producción de agua que abastece a la comunidad de Zamorano. La universidad cuenta con un sistema de captación de 13 manantiales y un tratamiento básico de cloración del agua, se procesa un promedio de 1,022 m³/día. Una vez captada y tratada el agua es distribuida a los diversos usuarios: plantas de procesamiento de alimentos, áreas de producción, residencias familiares y estudiantiles para el consumo humano, higiene personal, limpieza y piscina. Una de las demandas más importantes del recurso hídrico son las residencias estudiantiles, ya que existe una población de 1,200 estudiantes residentes a tiempo completo en once meses del año.

El crecimiento de la demanda del agua tanto a lo interno de Zamorano como a sus alrededores está incrementado la competencia por el acceso y el uso del recurso de las fuentes existentes. Es por ello, imprescindible para Zamorano, comenzar a darle un tratamiento al recurso hídrico que lo categorice como un recurso escaso, vulnerable y valioso. Un buen manejo del agua, comienza desde la captura de la precipitación “agua azul” y neblinas por el bosque, las áreas verdes y los techos, deben incluir también la protección de las cuencas, y el manejo y protección de las quebradas y ríos que cruzan el campus de la Universidad.

El manejo apropiado de las escorrentías urbanas producidas por los techos, las calles y las gramas del campus son una fuente de agua que bien manejada puede contribuir al abanico de oferta hídrica del campus universitario. La captación de agua pluvial que escurre por los techos es una técnica sencilla, muy utilizada en áreas rurales, que puede representar grandes aportes para abastecer la demanda hídrica del campus. La cantidad de agua a captar se limita por la precipitación del sitio y el área de captación. La técnica consiste en captar la escorrentía producida por los techos, los cuales por su impermeabilidad producen un volumen de escorrentía cercano al volumen de lluvia. Los techos generalmente se encuentran en un plano inclinado lo que facilita la recolección del agua, la cual llega a canaletas colocadas en la parte inferior del plano y posteriormente por una tubería es conducida a la estructura de almacenamiento (FAO 2013).

Este estudio, pretende evaluar la prefactibilidad económica de implementar un sistema de captación del agua desde los techos de los edificios del proyecto “Dormitorios Arboreto”, como una alternativa para mejor manejo y aprovechamiento de la escorrentía urbana del campus universitario.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio. El proyecto “Dormitorios Arboreto” es un conjunto de ocho edificios diseñados para ser residencias estudiantiles. El proyecto inició en el 2010 como respuesta ante la creciente población de estudiantes que ingresan a Zamorano. Cada edificio, conocido en el campus como dormitorio, cuenta con dos niveles, un total de 28 cuartos con capacidad para dos estudiantes cada uno. Además cada nivel posee un amplio cuarto de baños y sanitarios compartidos, los cuales tienen un total de cuatro duchas y cuatro inodoros por nivel, en el caso de la residencia para las mujeres, y cuatro duchas, un urinario y tres inodoros en el caso de la residencia de los hombres.

Los inodoros instalados en los cuartos de baño son marca American Standard® con características de diseño de una pieza, elongados y funcionan con fluxómetro de marca Sloan®, con dichas características se obtiene una cantidad de 13 litros de agua por descarga. Los inodoros son alimentados por la una red única de 4” de diámetro que entra a los edificios con tubería de 2” de diámetro que luego es reducida 1” de diámetro para finalizar en el circuito de los sanitarios. El agua destinada a dicho fin es la misma que es utilizada para el consumo humano, por lo que ha sido previamente tratada para que pueda ser ingerida.

El estudio se realizó a fin de determinar la demanda hídrica de los estudiantes de cada edificio en términos de uso de inodoros y sanitarios. Se evaluó el potencial de oferta que tiene el sistema de captación de agua lluvia para abastecer dicha demanda.

Demanda. La Dirección de Planta Física de Zamorano registra el consumo de agua mensual para cada edificio. Con estos datos se puede obtener un perfil de la demanda para cada rubro: viviendas de maestros y personal administrativo, plantas y edificios, residencias estudiantiles y uso agrícola. Cabe destacar que este último no toma en cuenta el agua para el riego, si no únicamente el agua para el consumo humano de las llaves instaladas en los campos agrícolas. El dato del consumo es registrado en m³ como gasto total y no identifica que porcentaje se utilizó en cada actividad. Para este estudio se requirió conocer la demanda del agua por la descarga de sanitarios para las residencias del área de interés.

La demanda por el uso de los inodoros y los urinarios, se realizó a través de una encuesta, la cual se aplicó a todos los estudiantes de los dormitorios del área de interés. El objetivo de dicha encuesta fue determinar cuántos litros de agua potable se gastan por el uso de los inodoros basado en el número de descargas por persona por día. Luego se calculó el volumen en m³/mes. El cálculo se basó en un volumen de descarga de 13 litros para los inodoros y 11 litros para los urinarios, para ello se utilizó la fórmula siguiente:

$$Dhs = \frac{E \times di \times Ld \times Ndi}{1000} \quad [1]$$

Donde:

Dhs= demanda hídrica de los sanitario por mes (m³)

E= número de estudiantes por dormitorio

Di= descargas promedio de los estudiantes por día

Ld= litros por descarga de los inodoros

Ndi= número de días del mes

(Hernández *et al* 2008).

Los resultados de las encuestas fueron tabulados y analizados mediante el uso del SPSS. Se comparó la varianza entre poblaciones (dormitorios), mediante la prueba ANOVA a fin de determinar el consumo promedio por estudiante por el uso de sanitarios.

Oferta hídrica. La oferta hídrica para este estudio se basó en los registros de la precipitación de la estación meteorológica de Zamorano, la cual tiene datos recolectados desde 1942. Los registros indican que la precipitación media anual del valle del Yeguaré es de 1,100 mm, la precipitación promedio anual mínima registrada fue de 630 mm y la máxima de 1,800 mm.

El volumen de agua lluvia que escurre de los techos se calculó basada en la precipitación promedio para cada mes, el área de techo para cada dormitorio, y se corrigió la escorrentía generada con el uso de un coeficiente de escorrentía de 0.8. Este valor fue determinado para techos de teja o arcilla (CEPIS 2001). El abastecimiento mensual se calculó mediante la fórmula:

$$A = \frac{Ppm}{1000} \times Ac \times Ce \quad [2]$$

Donde:

A_i= abastecimiento correspondiente al mes “i” (m³)

Ppm= precipitación promedio mensual (mm)

Ac= área de captación (m²)

Ce= coeficiente de escorrentía para techo de arcilla

Se elaboró un cuadro comparativo de demanda y oferta para cada mes, por medio del cual se pudo observar el comportamiento del potencial de abastecimiento de agua lluvia para el uso de sanitarios. Con el cuadro se determinó los meses de escasez donde el sistema tendrá que abastecerse de la fuente de agua tratada, también se identificó los meses de mayor abundancia a fin de poder conocer el potencial de ahorro de agua para uso no potable.

Estudio técnico. A fin de evaluar la factibilidad del sistema en términos de operación y mantenimiento, se diseñó el sistema de captación, conducción, almacenamiento y distribución del agua. El sistema deberá cumplir con los siguientes criterios: que no requiera de mantenimiento constante, que sea de fácil manejo por los estudiantes, que no requiera de mano de obra especializada, para así minimizar los costos de operación. Mediante un diseño de manejo mecánico se identificó los componentes principales del sistema de captación de agua.

El área de captación (techo) es un elemento importante para este tipo de sistema de captura de agua, ya que de este factor dependerá la disponibilidad de agua. Los techos de los edificios “proyecto dormitorios arboreto”, tienen forma de faldones y estructura de cubierta cuatro aguas (Figura 1). Con las dimensiones de los techos, se calculó el número y la longitud de las canaletas de recolección que conducirían el agua hasta una tubería bajante, y de esta hasta la estructura de almacenamiento.

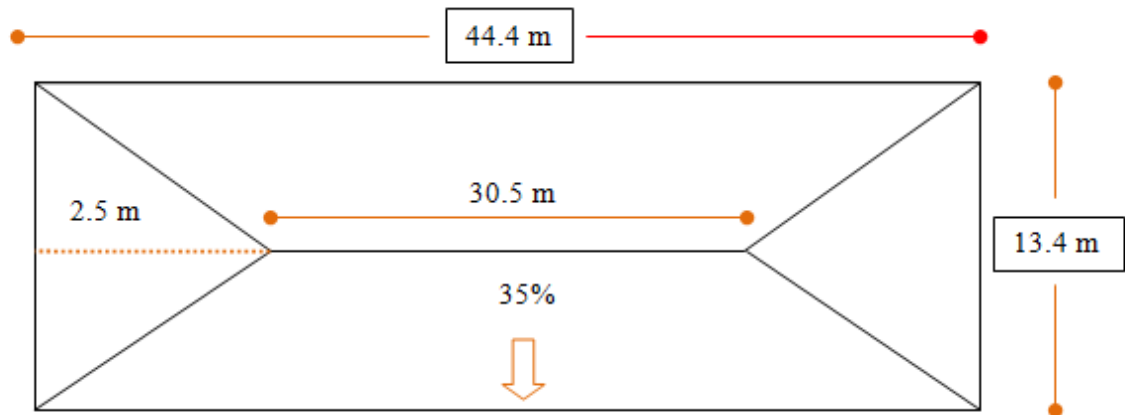


Figura 1. Proyección horizontal del techo de los edificios del proyecto arboreto.

Fuente: Dirección financiera-diseño y construcción, Zamorano, Honduras, adaptado por el autor.

El techo es además importante por los contaminantes que el agua pudiera transportar, ya que es el primer elemento de contacto de la lluvia con el sistema de captación. Los contaminantes que se pueden caracterizar según el entorno del área de las residencias son las hojas, las ramas pequeñas, el polvo y la excreta de aves, roedores, murciélagos e insectos. Para evitar que estos contaminantes potenciales lleguen al tanque de almacenamiento, el diseño incluye un filtro francés. Una vez que el agua pasa por el filtro, se envía a la estructura de almacenamiento, la cual se dimensionó tomando en cuenta la diferencia entre la oferta real del sistema y la demanda. Se determinó el almacenamiento acumulado.

La red de distribución del agua se dimensionó con base en la demanda y el caudal requerida por los inodoros y los urinarios. Se consideró que el diseño sea híbrido con el fin que el agua del sistema de distribución del campus sirva de complemento al sistema de agua lluvia, y así ahorrar el agua tratada para usos más importantes dentro de la institución.

Para calcular el caudal máximo de la red que se suministra los sanitarios, se determinó el caudal por inodoro en L/seg. Se calculó el tiempo medio por descarga en una muestra de 90 descargas, realizadas durante días normales de actividad (PUMAGUA 2008). Posteriormente se calculó el caudal máximo a partir del hecho de que todos los sanitarios se descarguen a la vez a fin de disminuir deficiencias en el sistema y determinar la presión de bombeo (Prieto 2004) y (Pongutá 2003). Para ello se utilizó la fórmula:

$$Q = V/t \quad [3]$$

Donde:

Q= Caudal para sanitario (L/seg)

V= Volumen de agua por descarga

T= Tiempo de descarga

Estudio económico. Se realizó un análisis costo-beneficio para determinar la prefactibilidad de aplicar el sistema. Para calcular la inversión inicial se realizó una cotización del precio de los materiales según el diseño de sistema de captación. Luego se calculó un costo anual de mantenimiento, el cual refleja la depreciación de la bomba eléctrica, el costo por mano de obra para el mantenimiento y el reemplazo anual de la grava del filtro francés.

El análisis de los beneficios incluyó el mitigar las inundaciones por escorrentías generadas en el área de interés, así como el valor de ahorro por no tratar el agua destinada al uso de los sanitarios. Para ello se analizó el costo por mantenimiento de metro lineal para las instalaciones del área de estudio. Se cuantificó además el valor monetario por kilogramo de suelo y nutrientes arrastrados por la escorrentía. Además, se consideró un valor estético apreciado por los estudiantes por el mantenimiento de las áreas comunes (jardines y alrededores de los dormitorios). El análisis consideró un incremento lineal de la tasa de inflación.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Demanda de agua El análisis de los datos de consumo del agua, proveídos por Planta Física de Zamorano, permitió identificar que la mayor demanda de agua en el campus es por el rubro de edificios y plantas, las cuales consumen un 85% del total de la oferta hídrica. Las residencias estudiantiles consumen 6% del total (Figura 2).

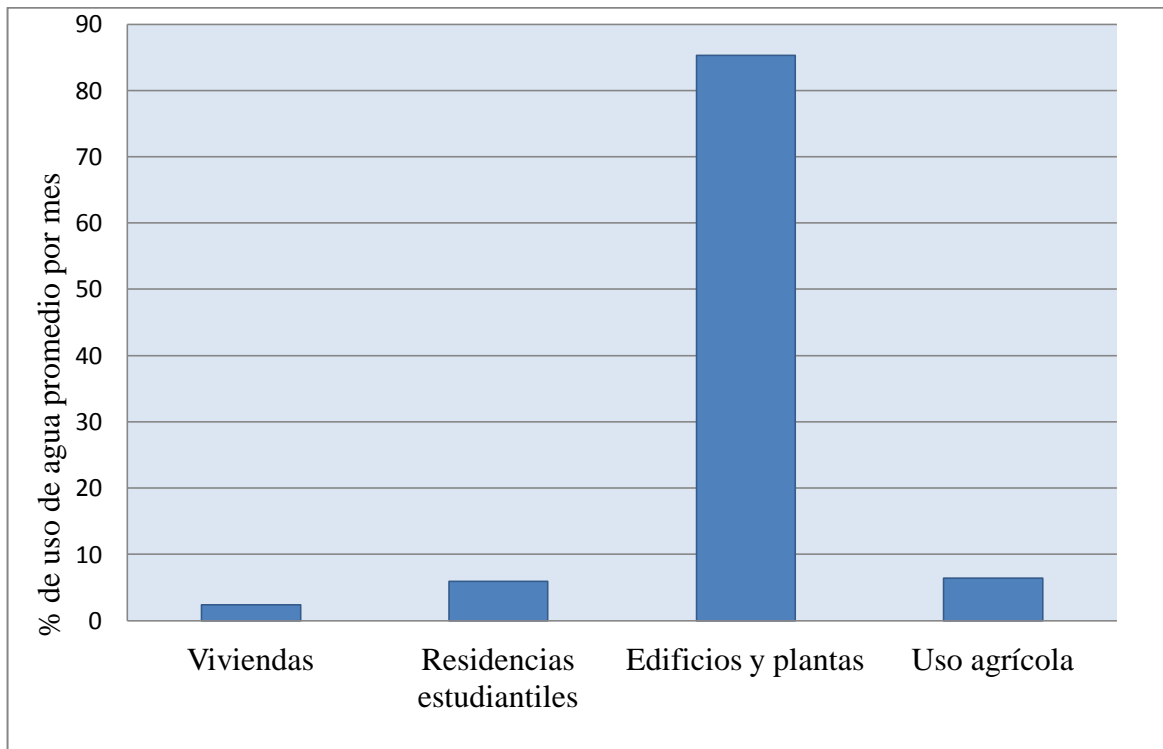


Figura 2. Gráfica de porcentajes de uso de agua tratada en los diferentes rubros dentro del campus de Zamorano, Honduras, de 2010-2013.

La encuesta se aplicó a una población promedio de 56 estudiantes por edificio, para un total de 332 encuestas. Los resultados indican que las mujeres utilizan los inodoros en promedio dos veces al día. Los hombres, al contrario, utilizan una vez los inodoros y dos veces los urinarios. Además, se determinó que tanto los hombres como las mujeres realizan una descarga fuera de las residencias, lo cual refleja que el consumo es mayor dentro de la residencia (Cuadro 1)

Cuadro 1. Descargas por estudiante por el uso de los inodoros y los urinarios.

Nombre del edificio	Género de estudiantes	Número de descarga promedio por día por uso de los inodoros		Número de descarga promedio por día por uso de los urinarios	
		Dentro de la residencia	Fuera de la residencia	Dentro de la residencia	Fuera de la residencia
Tikal	Femenino	1.65	1.04	∅	∅
Quina chinchona	Femenino	1.74	1.13	∅	∅
Copán	Masculino	1.43	1.17	1.63	1.31
Chichén Itzá	Masculino	1.51	1.41	1.64	1.32
Pinus oocarpa	Masculino	1.45	1.20	1.59	1.09
Ceiba petandra	Masculino	1.45	1.22	1.58	1.26
		Media por uso dentro de la residencia:			
		inodoros mujeres:		1.70	
		inodoros hombres:		1.45	
		urinarios hombres:		1.61	

∅ Edificios no requieren uso de urinario

Fuente: Datos de Dirección de planta física de Zamorano, adaptado por el autor.

Con el uso de las medias de consumo anteriores se calculó que la demanda mensual de agua por el uso de los inodoros en los dormitorios de mujeres fue de 44 m³ y para los dormitorios de hombres fue de 19 m³ por uso de los inodoros y 37 m³ por uso de urinarios. En promedio cada edificio tiene un consumo aproximado mensual de 50 m³.

Los datos obtenidos en la prueba ANOVA se graficaron en un diagrama de cajas el cual muestra la medias de la población, la desviación estándar, y los casos atípicos y extremos. (Figura 3).

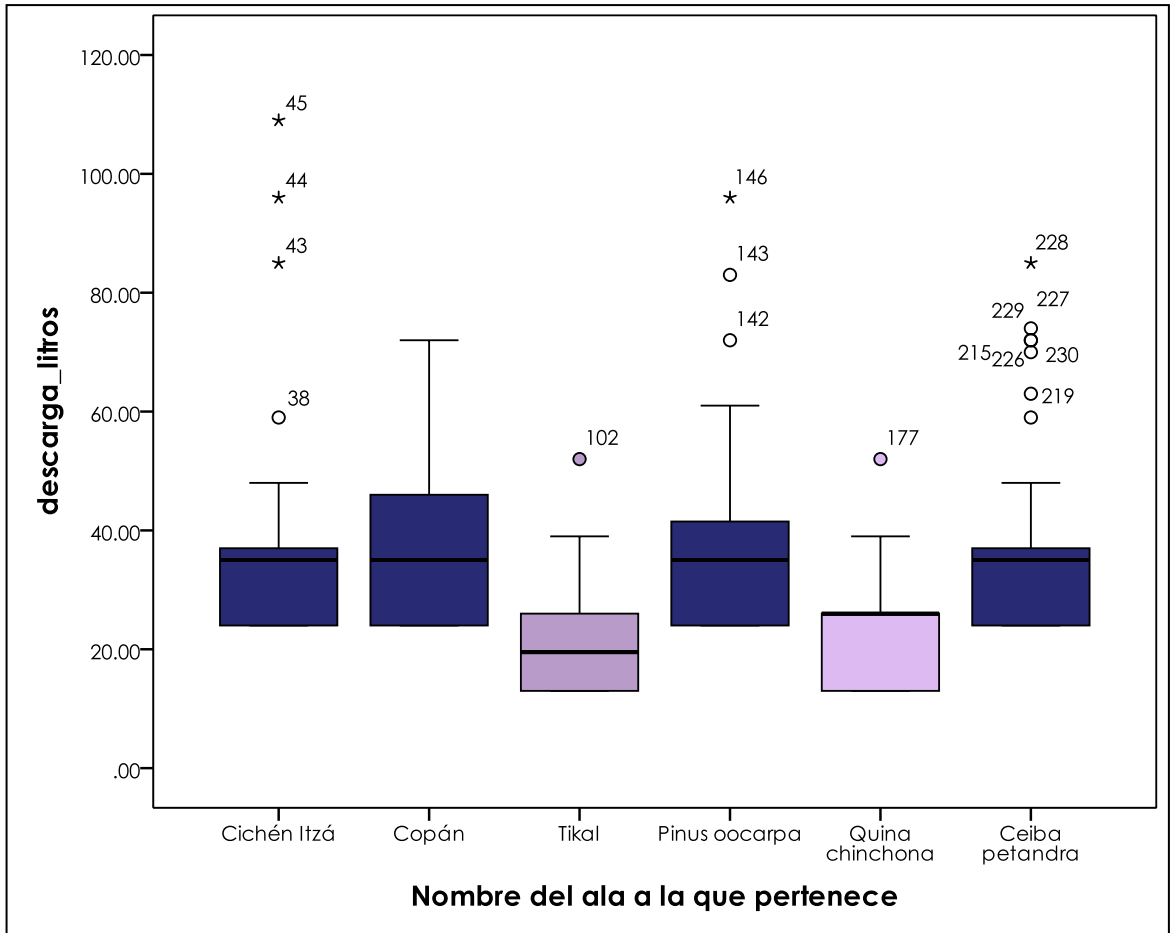


Figura 3. Demanda media de agua L/persona/día por el uso de los inodoros y los urinarios, agrupados por dormitorio, Campus Central de Zamorano, Honduras.

Los resultados indican que los dormitorios habitados por las mujeres (Tikal y Quina chinchona) tienen un consumo promedio de 0.044m^3 por estudiante por día. En el consumo promedio por uso de los urinarios y los inodoros en los dormitorios de hombres fue mayor un 38% que el de mujeres, con 0.037 m^3 y 0.019 m^3 respectivamente. En el diagrama se puede observar que el dormitorio Ceiba pentandra es el que contiene mayor número de casos atípicos. La residencia con mayor número de datos extremos fue Chichén Itzá, lo cual influyó en obtener un mayor consumo (Figura 3).

El análisis de las razones permite observar la perspectiva que tienen los estudiantes del uso del agua en los sanitarios. Además se puede proyectar la aceptación del proyecto por parte de la población de interés (Cuadro 2).

Cuadro 2. Perspectiva de los estudiantes sobre el uso de agua para la descarga de los sanitarios y los urinarios dentro de las residencias.

¿Considera necesario que el agua destinada a la descarga de inodoros y urinarios sea potable?			
si	Total	No	Total
	66		266
Razones			
Mejor manejo de aguas residuales	1	No es para consumo	68
Daños a sanitarios y tuberías	3	Termina con agua residual	25
Enfermedades	15	No potable, si limpia	25
Calidad	6	Conservar recursos, reutilizar agua	30
Higiene	11	No interfiere en contacto con las personas	11
Malos olores	5	Gasto	21
Instalar otra tubería si no fuera potable	1	Reutilizar agua de la 5ta laguna de oxidación	1
Mínimo proceso para que no crezcan bacterias	2	Otras alternativas como captar agua lluvia	1
Hay suficiente agua	1		182
	45		

Se obtuvo un porcentaje de participación de 68%. Este porcentaje representa la cantidad de estudiantes que respondieron ante la pregunta durante la encuesta de demanda de agua para el uso de los inodoros. El responder la pregunta durante la encuesta fue opcional.

Oferta hídrica. De acuerdo a las condiciones climáticas de la zona definida por dos estaciones, seca y lluviosa, la oferta generada por el sistema de captación suple la demanda en 78%. La deficiencia se debe a la diferencia en la precipitación producto de estaciones y eficiencias del sistema. La oferta hídrica puede ser balanceada, si se almacena el excedente de agua en la época lluviosa para suplir la demanda en los meses escasos del recurso.

El almacenamiento acumulado se calculó a partir del mes que presenta los primeros excedentes durante el año, para el caso mayo. El total excedente anual no llega a cubrir la demanda en los meses de enero a abril, por lo cual esta deberá ser abastecida por la red de distribución de Zamorano (Cuadro 3).

Cuadro 3. Matriz de demanda y oferta de agua para el uso de los inodoros y los urinarios.

Mes	Precipitación promedio mensual (mm)	Área de captación (m ²)	Coefficiente de escorrentía	Agua pluvial capturada por el sistema (m ³)	Consumo medio mensual calculado (m ³)	Oferta captada en tanque de agua lluvia (m ³)	Diferencia entre oferta y demanda (m ³)	Almacenamiento Acumulado (m ³)
Enero	11	595	0.8	5	50	5	-45	-7
Febrero	7	595	0.8	3	50	3	-47	-47
Marzo	12	595	0.8	6	50	5	-45	-45
Abril	43	595	0.8	20	50	18	-32	-32
Mayo	160	595	0.8	76	50	68	18	18
Junio	179	595	0.8	85	50	77	27	45
Julio	138	595	0.8	66	50	59	9	54
Agosto	146	595	0.8	70	50	63	13	66
Septiembre	193	595	0.8	92	50	83	33	99
Octubre	142	595	0.8	68	50	61	11	110
Noviembre	46	595	0.8	22	50	20	-30	79
Diciembre	20	595	0.8	9	50	9	-41	38
Total				522	600	470	-130	378

En la columna de diferencia entre oferta y demanda se pudo observar que la escasez de agua se presenta en seis meses del año, de noviembre a abril. Si el recurso es almacenado a partir de los meses con abundante agua la cantidad de meses donde la escasez de agua se presenta, puede reducirse a cuatro, de enero a abril.

Estudio técnico y diseño del sistema de captación y distribución. El diseño del sistema de captación y distribución incluye canaletas de captación, tubería bajante, filtro francés, tanque de almacenamiento, sistema de bombeo, red de distribución. A continuación se describen las características del diseño: el material que debe utilizarse para las canaletas y tuberías es Policloruro de Vinilo (PVC). Este material tiene poca rugosidad lo cual permite mayor rapidez en el transporte del agua. El material está disponible en el mercado, es resistente y de fácil mantenimiento. Se determino utilizar tubería con SDR-26, debido a que soporta mayores presiones.

Canales de captación: estos deben instalarse en la parte inferior del plano del techo y se deben colocar en cada uno de los faldones. Las canaletas requieren ciertos accesorios como la unión de la esquina interior, tapas de extremos tanto izquierda como derecha, unión del canal y el soporte metálico para las mismas.

Para que el agua drene fácilmente se consideró cierta pendiente para las canaletas con base en los metros lineales por cada lado del techo. Para el largo se estimó un bajante por cada 8.88 m lineales, con esto se obtienen cinco bajantes, con una pendiente de canaleta de inicio hasta el bajante de 0.79%. Para el ancho se estimó una pendiente de 0.5%, con una sola bajante por lado. Este criterio se determinó a fin de obtener un diseño más estético, con el ajuste de la pendiente para que el punto final de la canaleta no esté con una amplia separación de la viga del techo y que la tubería bajante sea de menor diámetro reduciendo las pérdidas por drenaje.

Las dimensiones de las canaletas se obtuvieron acorde a la disponibilidad de mercado y el caudal de diseño obtenido con la fórmula:

$$Q = 2.778 \times Ce \times Ac \times I \quad [4]$$

Donde:

Q= caudal de diseño para agua pluviales (L/seg)

Ac= área de captación (ha)

I= lluvia máxima probable de corta duración (mm), 60 min para un período de retorno de 2 años, para Zamorano 36.39 mm (FHIS, s.f).

Ce= coeficiente de escorrentía de techo

Con la fórmula anterior se determinó que el caudal de diseño para el sistema de captación pluvial es de 4.81 L/seg. Para Las canaletas se determinó usar las de forma de canalón cuadrado, con una superficie de 1,200 m² el largo de la canaleta es de 6 m, por cada tramo hasta llegar al bajante se consideró colocar soportes de canal cada metro lineal (Figura 4).

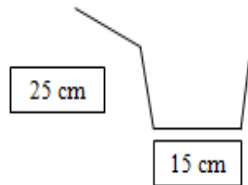


Figura 4. Descripción esquemática de canaleta pluvial, sistema de cosecha de agua desde techos.

La instalación de cada embudo para drenar el agua de la canaleta hacia el bajante se consideró por cada 8.13 m de recorrido de canal, el diseño se repite hasta llegar al extremo final del techo. Para la tubería bajante se calculó un diámetro de dos pulgadas. Para la altura del edificio se calculó un largo de tubería de 6 m. Se obtuvo un sistema con 12 tuberías bajantes, esto favorece el aprovechamiento del agua puesto que la cantidad recolectada drenara fácilmente que si solo tuviera uno o dos, se reducen así las pérdidas de agua por saturación en la evacuación

Al final de cada bajante se diseñó un filtro francés, para eliminar los contaminantes que el agua pudo transportar hasta este punto. Cada caja de filtro será de 0.5 x 0.5 m, el tubo del

filtro francés tendrá un diámetro de dos pulgadas y un largo de 15 cm con perforaciones de 0.5 cm.

El tanque de almacenamiento se enterrará bajo tierra, para evita que estos dañen la vista estética del diseño de los edificios. Para los edificios con vista frontal se proyecta se entierren en la parte trasera del mismo y para los edificios laterales en el lado opuesto al jardín de cada residencia. La ubicación de cada tanque se definió de manera que la tubería de alimentación de agua para los cuartos de baño no requiera mayor fuerza de bombeo, puesto que cada tanque está a favor del lado del cuarto de baño.

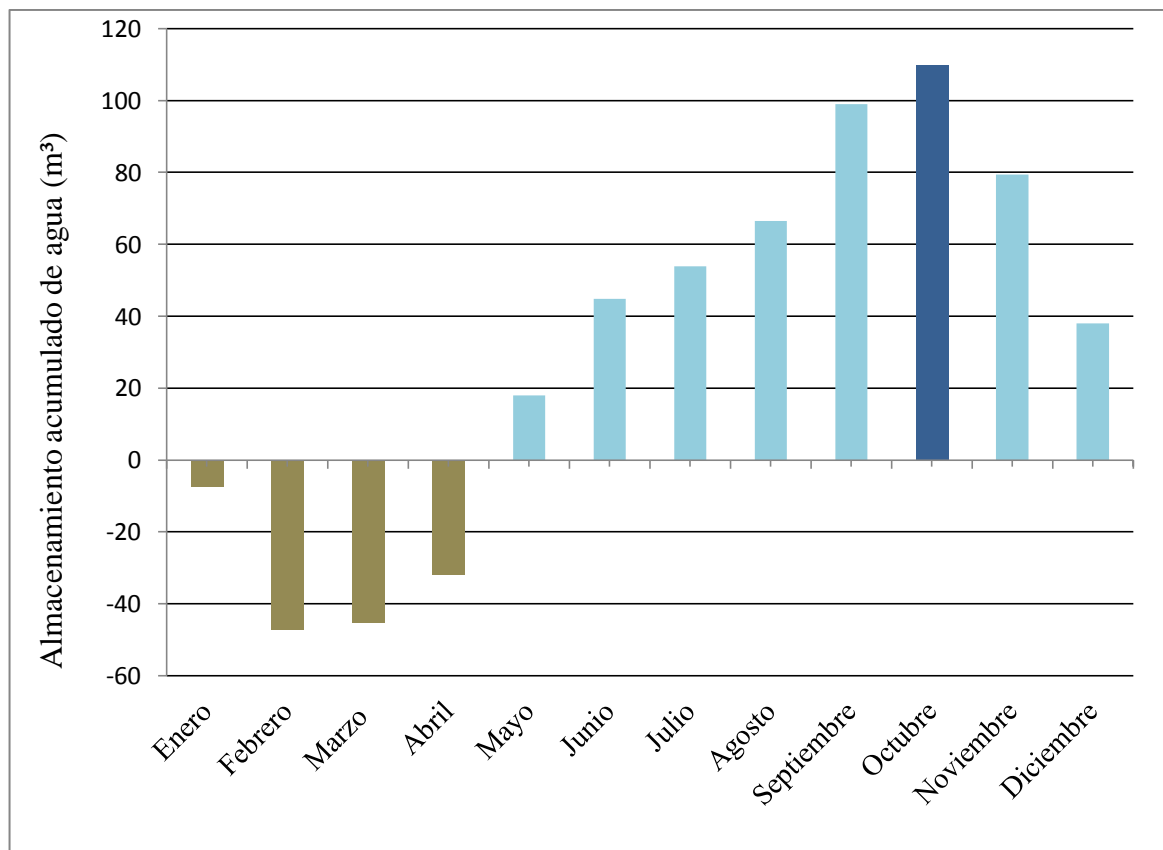


Figura 5. Almacenamiento de agua acumulado para cada mes.

El tanque de almacenamiento tendrá un volumen de aproximado de 110 m³, el cual se determinó con base en el mes con mayor excedente de agua, barra de color azul intenso (Figura 5). Se proponen diferentes dimensiones para el tanque a fin de adaptarlo a las características del terreno. El primero con profundidad de 3 m y área superficial igual a 6 x 6.5 m, y el segundo con profundidad de 2.5 m 9 x 5 m.

La red de distribución de agua a los sanitarios se diseñó para una tubería de 1" y se estimó una separación de 40 cm de la red de distribución ya existente, así se evita que posibles fugas contaminen el agua tratada. Para cubrir la demanda de los inodoros y los urinarios, se diseñó un sistema híbrido el cual al no haber fuente de agua del tanque de

almacenamiento de agua lluvia puede ser suministrado con el agua de la red de distribución de Zamorano. Esta combinación de suministros se diseñó para tener un sistema “bypass” para cada uno de los inodoros y los urinarios, con el fin de que la manipulación del sistema sea mecánica y no requiera costos de operación, ya que el sistema puede ser manipulado por los estudiantes.

Mediante el aforo de la descarga de inodoro se determinó que el tiempo de descarga es de 7 segundos promedio. Se obtuvo un caudal de 1.8 L/seg por descarga. El caudal máximo de distribución de la red para suministrar agua lluvia a los sanitarios es de 7.24 L/seg. Con base en el caudal se determinó que la potencia necesaria para la bomba a utilizar será de $\frac{3}{4}$ caballos de fuerza (Anexo 5).

Estudio económico. El valor de inversión inicial calculado es de \$ 3,774, el valor de la inversión y el dimensionamiento es por cada uno de los edificios (Anexo 1). La inversión se puede recuperar si los beneficios del sistema son suficientes como para retribuir la inversión (Cuadro 5).

El beneficio reflejado en la valoración estética por los estudiantes indicó ser el más alto, con \$ 332 anuales, se consideró este valor a partir de que cada alumno está dispuesto a pagar \$ 1 anual por mantener las áreas en común libres de inundaciones y en condiciones óptimas de limpieza (calles sin presencia de lodos, suelo bien drenado). El beneficio por mantenimiento de las calles se estimó con una relación del valor por metro lineal de mantenimiento mensual y se interpretó para el área de interés. La estimación de los beneficios que se pueden obtener al contar con los sistemas de captación pluvial instalados en los techos resume un beneficio monetario de \$ 452.

Cuadro 4. Beneficios proyectados que proporcionaría el sistema si se implementará.

Concepto	Valor unitario (\$)	Cantidad por año	Valor total anual (\$)
Mantenimiento de calles (m lineal)	0.3	360	108
Costo por no tratar el agua (m ³)	0.02	600	12
Valoración estética (por estudiante)	1	332	332
Total			452

Los costos por mantenimiento reflejaron un total de \$ 421 anual (Anexo 3). La tasa de inflación acumulada hasta la fecha analizada en el estudio fue de 4.20% y una tasa de descuento de 8.53%. Se consideró ese valor para la tasa activa en moneda extranjera.

Cuadro 5. Matriz del análisis costo/beneficio de implementar un sistema de captación de agua desde techos en el proyecto “Dormitorios Arboreto”, Campus de Zamorano, Honduras.

Análisis costo/beneficio											
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	
Costo	4195	421	439	457	476	496	517	539	562	585	
Beneficio	452	471	491	511	533	555	579	603	628	655	
Razón	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
VI. Flujos de efectivo											
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Inversión Inicial	-3774										
Utilidad Neta		31	50	70	90	112	134	158	182	207	234
Depreciación Anual		377	377	377	377	377	377	377	377	377	377
Flujos Netos	-3,774	408	427	447	468	489	512	535	559	585	611
VIII. Evaluación financiera											
Tasa Interna de Retorno	5.25 %										

La TIR resultante fue de 5.25% lo cual indica que desarrollar el proyecto a través de un préstamo bancario no es factible, ya que la tasa activa es 8.53%. Para que el proyecto sea factible se puede considerar la búsqueda de donantes para ejecutar el proyecto. Los beneficios obtenidos aumentarían teniendo mejor contribución y el proyecto podría expandirse a otras residencias.

4. CONCLUSIONES

- Implementar el sistema de agua pluvial puede lograr un ahorro de 78% anual, del agua destinada a uso no potable para la descarga de los inodoros y los sanitarios. Si se construye el sistema en todos los edificios del proyecto “Dormitorios Arboreto” se lograría un ahorro anual de 3,760 m³.
- Debido a la falta de precipitación de enero a abril, el sistema exige un diseño híbrido, es decir que se abastecería durante todo el año con el sistema de captación pluvial a excepción de los meses de escasez de agua almacenada, cuando necesitará ser abastecida por la red de distribución de Zamorano.
- En términos económicos el proyecto no es factible debido a que la tasa activa es mayor que la TIR en un 29%. La tasa activa 8.53% y la TIR 5.25%, esta tasa activa es aplicada únicamente si el dinero de la inversión es prestado por un banco.
- Si el agua de la red de distribución de Zamorano tuviera una tarifa económica para cada uno de los usuarios, los beneficios a partir del ahorro desde la red de distribución del campus serían mayores.
- Si se Incluye un valor alternativo de purificar y embotellar el agua ahorrada para su venta en el mercado interno de zamorano; el análisis costo-beneficio reflejaría mayor rentabilidad en el proyecto.

5. RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar el sistema al menos en uno de los edificios, para evaluar la aceptación del proyecto por parte de los estudiantes. El diseño fue elaborado con el objetivo de que pudiera ser manipulado por los estudiantes, para lo cual se debe de realizar una capacitación para que los estudiantes entiendan el objetivo del proyecto y los beneficios que conlleva.
- Los beneficios ambientales que el proyecto mitiga, pueden ser mejor valorados evaluándolos en un escenario real, para ello se deberán observar efectos de las inundaciones en el área de estudio, antes del proyecto y después del proyecto para realizar comparaciones en períodos diferentes y poder determinar los beneficios generados por la presencia del sistema y cuantificarlos en términos económicos.
- El proyecto representaría un buen manejo para los excedentes de agua generados en los meses lluviosos, esto debido al potencial de captura que representaría el sistema. Con el manejo adecuado de la escorrentía generada por los techos del área de estudio, se podrá reducir el riesgo de inundaciones.

6. LITERATURA CITADA

CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente). 2001. Guía de diseño para captación del agua de lluvia. Lima, Perú. 18 p.

CIDECALLI-CP (Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua Lluvia, MX). 100 p.

Clear, C. 2011. Rainwater harvesting for homeowners. Clemson University. Carolina del sur, Estados Unidos. 28 p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, IT). 2000. Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia: experiencias en América Latina. Santiago, Chile. 235 p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, IT). 2013. Captación y Almacenamiento de agua lluvia: Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe. Santiago, Chile. 276 p.

IWMI (Instituto Internacional del Manejo del Agua, ENG). 2007. Agua para la alimentación agua, agua para la vida: Una evaluación exhaustiva de la gestión del agua en la agricultura. ed. D Molden. Londres. 57 p.

Pongutá, J. 2003. Guía para el almacenamiento, manejo y conducción del agua. ed. LE, Acero., L, Rodriguez., H, Yesid. Bogotá, Co. p. 7-15.

Prieto B, CJ. 2004. El agua: sus formas, efectos, abastecimiento, usos, daños, control y conservación. 2 ed. Bogotá, Col. Ecoediciones. 67 p.

PUMAGUA (Programa de manejo, usos y re uso del agua en la UNAM, MX). 2009. Manual de pruebas a instalaciones sanitarias: guía práctica para la evaluación de muebles y aparatos sanitarios. 30 p.

UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y la Cultura, FRA). 2009. Resultado de la reunión de expertos internacionales sobre el derecho humano al agua. Trad. R Lopez. París. Imprenta SEP Nimes. 12 p.

7. ANEXOS

Anexo 1. Costos de materiales para la implementación del proyecto.

Material	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario (L.)	Costo total (L.)	Costo total (\$)
Canaletas pluviales	Canalestas pluviales PVC, cuadradas, de 25 x 15 cm, largo 6 m	c/u	39	620	24180	1170
Unión de esquina interna y externa	Unión para canaleta pluvial	c/u	4	230	920	45
unión de canaleta	unión de PVC, para hacer uniones entre canaletas	c/u	20	50	1000	48
Tensor de canaleta	Tensor metálico	c/u	116	30	3480	168
Soportes de canaleta	Soportes metálicos de acero inoxidable, de viga a canaleta	c/u	116	40	4640	224
Soportes de canaleta	Soportes para canaleta pluvial	c/u	116	35	4060	196
Tapa interna y externa de canaleta pluvial	par	par	6	60	360	17
Unión a bajante	Embudos vertical de PVC. Retangulares con unión a bajante circular para 2" diámetro	c/u	8	130	1040	50
Tubería bajante	Tubos PVC, SDR-26, 2" de diámetro, 3 m de largo	c/u	16	160	2560	124
Unión para tubo PVC	Unión para tubería de 2" de diámetro	c/u	12	40	480	23
Codos de bajante	Codos largos de PVC de 90° 3"	c/u	8	60	480	23
Tubería de conducción	PVC, 2" diámetro, 3 m de largo	c/u	16	160	2560	124
Cemento gris	bolsa	bolsa 42.5 kg	30	147.5	4425	214
Arena	Arena de río	m³	5	240	1200	58
Abrazadera redonda	Ganchos redondo galvanizado,	c/u	60	25	1500	73
Bomba eléctrica	3/4 HP	unidad	1	11,800	11800	571
Tubería de distribución	Tubos PVC, SDR-26, 1" de diámetro, 3 m de largo	c/u	20	58.4	1168	57
Válvula de paso libre	1 elemento	c/u	8	58	464	22
Grava	m³	m³	2	250	500	24
Geomembrana	m²	m²			0	0
Gravín	3/8"	m³	1	270	270	13
Costo por mano de obra	hora por operador	Hora	105	28	2952	143
Costo de maquinaria	retroescavadora	Hora	0.5	700	350	17
Tornillo para madera	1"	c/u	340	13.7	4658	225
Codo	PVC drenaje 2" x 90	c/u		12	0	0
Pegamento para PVC	pegamento para tubería PVC	galón	4	730	2920	141
Geotextil de tejido	m²	m²	2	23	46	2
Total					78013	3774

Anexo 2. Costos por mantenimiento anual del sistema.

Insumo	Costo (\$)
Reemplazo de grava y gravin del filtro	37
Mantenimiento del sistema 1 vez por mes	326
Depreciación de la bomba	57
Total	421

Anexo 3. Imagen de los edificios del proyecto “Dormitorios Arboreto”. Campus de Zamorano, Honduras.



Anexo 4. Calles ocultas por la inundación causada durante un evento de precipitación de corta duración en los edificios del proyecto “Dormitorios Arboreto”. Campus de Zamorano, Honduras.



Anexo 5o * ARABIC 5. Esquema del diseño del sistema de cosecha de agua desde techos para el proyecto “Dormitorios Arboreto”, campus universitario de Zamorano, Honduras.

