



**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
**Sede en Esmeraldas**



## **Facultad de Gestión Ambiental**

Escuela de Gestión Ambiental

### **TESIS DE GRADO**

Propuesta de diseño de un sistema de captación de agua de lluvia y tratamiento de aguas grises en la escuela de educación básica fiscal mixta Camilo Borja, cantón y provincia de Esmeraldas

### **Previo al grado académico de Título Profesional**

Ingeniería en Gestión Ambiental

#### **Autor**

Ketty Alicia Cambindo Altafuya

#### **Asesor**

Blgo. Pedro Jiménez Prado

Esmeraldas, Agosto 2014

Trabajo de tesis aprobado luego de haber dado cumplimiento a los requisitos exigidos por el reglamento de Grado de la PUCESE previo a la obtención del título de INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL.

Presidente Tribunal de Graduación

Patricia Molleda Martínez

Lectora 1

Carlos Montaña Torres

Lector 2

Director de la Escuela de Gestión Ambiental

Pedro Jiménez Prado

Director de Tesis

Esmeraldas, ..... de ..... de 2014

## **AUTORÍA**

Yo Ketty Alicia Cambindo Altafuya, declaro que la presente investigación enmarcada en el trabajo de tesis es absolutamente original, auténtica y personal.

En virtud que el contenido de ésta investigación es de exclusiva responsabilidad legal y académica de la autora y de la PUCESE.

---

Ketty Alicia Cambindo Altafuya

C.I. 080211417-3

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios porque sin Él nada es posible en ésta vida y porque me da el sustento y me llena de bendiciones cada día.

A mis padres por todo su amor, esfuerzo y lucha en ayudarme a alcanzar mis sueños.

A los “Guardianes de Semillas del recinto Caimito”, George Flectcher, Ben Murray y Fabiola Mosquera por transmitirme sus sabios y valiosos conocimientos de las diferentes experiencias que han desarrollado en temas de conservación, así como a Maira Ortiz, Max Sevilla y Hoover Ortiz Permacultores de Las Acacias.

Al Arq. Eduardo Coime y Arq. Noris Nazareno por su colaboración en el desarrollo del trabajo de investigación.

A mi asesor de tesis el Blgo. Pedro Jiménez y lectores Dra. Patricia Molleda y Qf. Carlos Montaña por su guía y apoyo al brindarme información pertinente para robustecer y dar solidez al contenido de mi tesis, y a mis queridos docentes por todo el apoyo brindado durante el desarrollo de la carrera.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma han aportado con ideas y sugerencias para la realización de éste proyecto.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

AUTORÍA.....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	v
LISTA DE FIGURAS .....	vii
LISTA DE TABLAS .....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Marco de referencia.....	5
1.2.1 Definiciones conceptuales.....	8
1.2.2 Marco Legal .....	12
1.3 OBJETIVOS .....	16
1.3.1 Objetivo General .....	16
1.3.2 Objetivos Específicos.....	16
2. METODOLOGÍA .....	17
2.1 Descripción y caracterización del lugar de estudio .....	17
2.2 Captación de agua de lluvia .....	19
2.2.1 Volumen de almacenamiento de agua.....	20
2.2.1.1 Oferta Acumulada (Aai) de Agua de Lluvia .....	21
2.2.1.2 Demanda Acumulada de agua.....	22
2.3 Mecanismos de depuración del agua.....	23
2.3.1 Filtro Lento de BioArena para depuración de agua de lluvia.....	23
2.3.2 Tratamiento de aguas grises .....	24
2.4 Programa de Educación Ambiental.....	24
3. RESULTADOS.....	25
3.1 Volumen de Almacenamiento de Agua .....	25
3.1.1 Volumen de agua de lluvia para usos sanitarios .....	30
3.1.2 Volumen de agua para potabilizar.....	32
3.2 Sistemas de Captación y Almacenamiento de Agua de Lluvia.....	36
3.2.1 Edificio de Docencia 3 y Sanitarios .....	36
3.2.2 Edificio de Docencia 1 .....	37
3.3 Sistemas de Tratamiento de Agua.....	39
3.3.1 Filtro Lento de BioArena para depuración de agua de lluvia.....	39
3.3.1.1 Operación, mantenimiento y seguimiento del filtro lento de bioarena .....	42

3.3.2	Tratamiento de aguas grises en la escuela Camilo Borja .....	45
3.3.2.1	Trampa de grasas.....	47
3.3.2.2	Humedal Subsuperficial de Flujo Horizontal.....	48
3.3.2.3	Operación y mantenimiento del Humedal Subsuperficial de Flujo Horizontal .....	52
3.4	Educación Ambiental .....	54
3.4.1	Noveno año de Educación General Básica .....	54
3.4.2	Décimo año de Educación General Básica .....	56
3.5	Discusión.....	58
3.6	Conclusiones y Recomendaciones .....	60
4.	REFERENCIAS .....	62
4.1	Bibliografía .....	62
4.2	Anexos .....	69
	Anexo 1: Noticia “Sacrificio Educativo” del Diario La Hora del 30-Mar-2014.....	69
	Anexo 2: Principales causas de morbilidad, INEC 2010 .....	69
	Anexo 3: Resultados de Análisis físico – químico y bacteriológico del sistema del filtro .	70
	Anexo 4: Promedios mensuales de precipitación periodo 2002 a 2011, INOCAR.....	71
	Anexo 5: Guía de Diseño para captación del agua de lluvia del CEPIS .....	72
	Anexo 6: Proforma de Materiales de Comercial Kywi S.A. ....	90
	Anexo 7: Especificaciones Técnicas para el Diseño de Trampa de Grasa del CEPIS .....	91
	Anexo 8: Matriz para calibrar el tamaño de humedales de aguas grises de acuerdo a Crites and Tchobanoglous (1998).....	102
	Anexo 9: Lista de algunas plantas que pueden ser utilizadas en los humedales artificiales en climas cálidos .....	103

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Medios de obtención de agua, cantón Esmeraldas .....	2
Figura 2: Conexión del agua por tubería, cantón Esmeraldas .....	3
Figura 3: Tipo de agua consumida, cantón Esmeraldas .....	4
Figura 4: Principales enfermedades transmitidas por alimentos/agua .....	5
Figura 5: Canal recolector protegido con malla .....	10
Figura 6: Edificaciones de la escuela A.- Sector Este y B.- Sector Oeste.....	18
Figura 7: Croquis de la escuela Camilo Borja.....	19
Figura 8: Oferta de agua de lluvia (m <sup>3</sup> /mes) para la Cisterna .....	31
Figura 9: Volumen de almacenamiento (m <sup>3</sup> ) en cisternas plásticas elevadas .....	36
Figura 10: Componentes del sistema de captación de agua para la cisterna enterrada .....	37
Figura 11: Losa con cubierta de captación de agua de lluvia.....	37
Figura 12: Sistema de almacenamiento de agua en tanques elevados .....	38
Figura 13: Distribución de cisternas plásticas sobre la losa del edificio Docencia 1 .....	39
Figura 14: Sistema filtrador de agua de lluvia .....	40
Figura 15: Esquema del sistema de tratamiento de aguas grises.....	45
Figura 16: Humedal subsuperficial de flujo horizontal con trampa de grasas .....	46
Figura 17: Componentes del sistema de tratamiento de aguas grises .....	47
Figura 18: Trampa de grasa con depósito de acumulación de grasa .....	48
Figura 19: Estructura del Humedal subsuperficial de flujo horizontal .....	49
Figura 20: Sección transversal de celda del Humedal subsuperficial de flujo horizontal.....	50
Figura 21: Plantas tolerantes a la humedad.....	51
Figura 22: Cultivo de papiro en ECU 911 de Esmeraldas .....	51

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Captación preferencial según finalidad de utilización del agua.....	9
Tabla 2: Tratamientos probables de potabilización dependiendo del tipo de agua cruda.....	10
Tabla 3: Procesos desarrollados en un filtro lento de arena.....	11
Tabla 4: Número de personas en la escuela Camilo Borja.....	18
Tabla 5: Superficie total de edificios escuela Camilo Borja.....	25
Tabla 6: Precipitación promedio mensual (mm) periodo 2002 a 2011.....	26
Tabla 7: Oferta máxima de agua de lluvia para la escuela Camilo Borja.....	26
Tabla 8: Dotación Básica (lpd*).....	27
Tabla 9: Porcentajes de incremento de la dotación básica de acuerdo a servicios comunales....	27
Tabla 10: Consumo mínimo de agua (lpd*) de acuerdo al uso.....	28
Tabla 11: Consumo mínimo (lpd*) principales usos de agua en la escuela Camilo Borja.....	28
Tabla 12: Demanda mínima de agua (lpd**) escuela Camilo Borja.....	29
Tabla 13: Área (m <sup>2</sup> ) del techo de edificios a utilizar para la cisterna.....	30
Tabla 14: Oferta de agua de lluvia para la cisterna.....	30
Tabla 15: Demanda mensual (m <sup>3</sup> ) de agua de la cisterna enterrada.....	31
Tabla 16: Aporte semanal de los estudiantes para comprar agua (20 litros) en bidones.....	32
Tabla 17: Oferta mensual (m <sup>3</sup> ) de agua de lluvia destinada a ser purificada en el filtro.....	33
Tabla 18: Demanda mensual (m <sup>3</sup> ) de agua segura.....	33
Tabla 19: Demanda mensual (m <sup>3</sup> ) de agua para beber y/o cocinar.....	34
Tabla 20: Volumen (m <sup>3</sup> ) de agua para beber y cocinar.....	35
Tabla 21: Materiales para construcción del sistema de filtración (depuración) de agua.....	41
Tabla 22: Materiales para construcción de humedal de flujo subsuperficial.....	52
Tabla 23: Actividades de operación y mantenimiento del Humedal Subsuperficial de Flujo Horizontal.....	53

## **TÍTULO**

Propuesta de diseño de un sistema de captación de agua de lluvia y tratamiento de aguas grises en la Unidad Educativa Camilo Borja, cantón y provincia de Esmeraldas.

## **RESUMEN**

La ciudad de Esmeraldas tiene un déficit de agua potable que es crítico, debido a que no existe la infraestructura de generación de agua potable, lo que conduce a que el abastecimiento sea racionado – tres días a la semana y pocas horas al día – además, debido a que varios componentes del sistema de agua potable ya cumplieron su vida útil y a la baja cobertura del servicio porque no existe un sistema de redes principales, secundarias y guías domiciliarias, la eficiencia y calidad del servicio se disminuye, incidiendo en el 15,63% de patologías comunes en el cantón.

La escuela Camilo Borja, al igual que otras 33 unidades educativas de la zona sur de la ciudad, tiene una infraestructura estandarizada (diseño estructural básico), por lo que se presenta una propuesta alternativa, que unida al actual sistema de abastecimiento de agua potable, permita satisfacer gran parte de los requerimientos de agua en éste establecimiento, pudiendo ser adaptado como sistema piloto, descentralizado de abastecimiento de agua, también en otros centros educativos, de salud y comunitarios, sean estos urbanos o rurales que posean una edificación similar.

El diseño se encuentra integrado por sistemas de captación de agua de lluvia, filtro para purificación de agua y finalmente el tratamiento de aguas grises. Se busca, un manejo eficiente del recurso, ahorro en el consumo de agua potable y mejoramiento de la calidad de vida de las personas que desarrollan sus actividades en ésta institución.

## **TITLE**

Proposal of Design for a System of Rain and Gray Water at the Camilo Borja School, in Esmeraldas Province.

## **ABSTRACT**

Esmeraldas City has a potable water deficit that is critical, because there is no infrastructure to generate potable water, which means that this supply is rationed – three days per week and a few hours a day. In addition, several components of the water system have outlived their useful life and low service coverage because there is no system of main networks, secondary and home guides, efficiency and quality of service decreases, affecting 15.63 % of common diseases in the canton.

Camilo Borja School, and another 33 schools from the south of the city have a standardized infrastructure (basic structural design). So, we presented an alternative proposal that together with the actual implementation system of potable water, can satisfy a lot of the water requirements in these places. This design is an effective plan that can be adapted as a pilot system and used in other educational centers as well as health centers in urban or rural communities if they have similar buildings.

The design is integrated by rain water training systems, filters for water purification and finally, the treatment for grey waters. We are looking for an efficient resource management which will result in saving water consumption and improving the quality of life for the people who work in the Institutions.

## **1. INTRODUCCIÓN**

La Naturaleza es capaz de satisfacer todos nuestros requerimientos de agua a través de por ejemplo: precipitaciones, ríos, acuíferos, etc. Todo depende del área de captación y de nuestra capacidad de no contaminación, almacenamiento, sistema de redes modernas de distribución y administración de este recurso.

Con la finalidad de que las personas que se reúnen en el centro educativo Camilo Borja puedan acceder al abastecimiento frecuente de agua, se plantea una propuesta de implementación de un sistema integrado de captación de agua de lluvia y mecanismos de depuración, como alternativa estratégica en el acceso al agua y medida de adaptación al cambio climático, con el afán de complementar el sistema actual de abastecimiento y ayudar a solventar la demanda de agua en el centro educativo, de manera que se logre aprovechar mucho mejor el recurso, se genere una reducción en los costos de consumo de agua potable y exista un mejoramiento de la calidad de vida de las personas que desarrollan sus actividades en ésta institución.

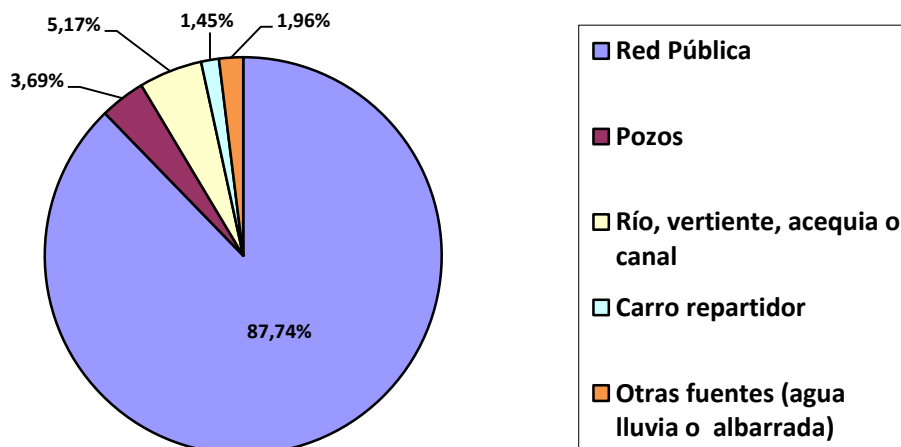
Se escogió a la escuela Camilo Borja que es un centro educativo público, que cuenta con cerca de 500 personas entre estudiantes, docentes y personal administrativo, porque al igual que otros 33 establecimientos del sur de la ciudad de Esmeraldas, fue incluida en el año 2013 en el “Programa de Compensación Social para los barrios aledaños a la Refinería de Esmeraldas”, desarrollado por a la Gerencia de Seguridad, Salud y Ambiente de la Empresa Pública de Hidrocarburos del Ecuador – EP PETROECUADOR, para rehabilitación, reparación y ampliación de su infraestructura (ver Anexo 1). Con lo cual el sistema propuesto podría servir de proyecto piloto y posteriormente ser adaptado como sistema descentralizado de abastecimiento de agua, en las demás escuelas, debido a que poseen una infraestructura básica (diseño estructural estandarizado), así como también podría aplicarse en otros establecimientos educativos, de salud y comunitarios con edificaciones similares, sean estos urbanos o rurales, en especial si poseen un elevado nivel de precipitación y bajos índices de contaminación atmosférica.

## 1.1 Planteamiento del problema

El principal recurso hídrico del cantón, el río Esmeraldas, es constantemente afectado por descargas de desechos residuales de todos los asentamientos humanos que existen a lo largo de las riberas de los ríos que lo conforman: Guayllabamba, Blanco, Cole, Canandé, Sade, Viche y Teaone. La contaminación se da no solo por el vertido de aguas servidas sin tratamiento, sino también por la descarga de diferentes tipos de sólidos como basura doméstica y desechos industriales (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Esmeraldas, 2009).

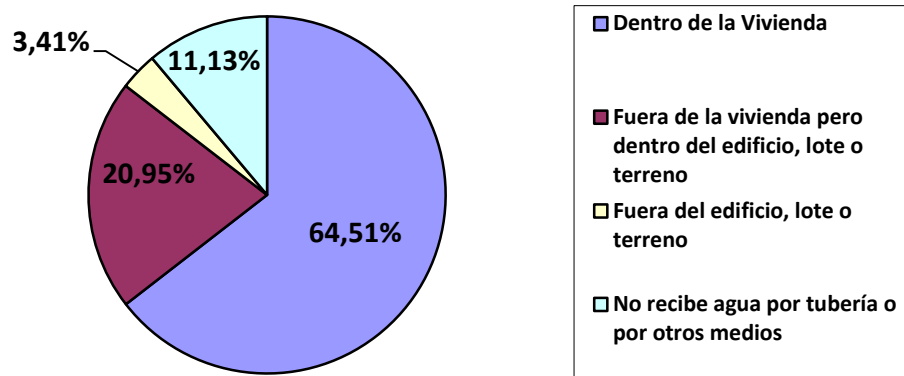
Además, la cuenca hidrográfica se encuentra amenazada por una creciente tala indiscriminada de bosques, evidenciándose en una disminución del caudal y pérdida de la altura del fondo del río; percibiéndose en una escasez de agua que se agudiza en los meses de agosto a octubre (PNUMA, Municipalidad de Esmeraldas y FUNDAMYF, 2006).

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadísticas y Censo – INEC (2010), la mayor parte del agua en el cantón Esmeraldas proviene de la red pública (87,74%), Figura 1.



**Figura 1: Medios de obtención de agua, cantón Esmeraldas**  
Fuente: INEC (2010), Censo de Población y Vivienda

Y el agua potable en Esmeraldas se suministra hasta el interior de la vivienda en un 64,51%, Figura 2.

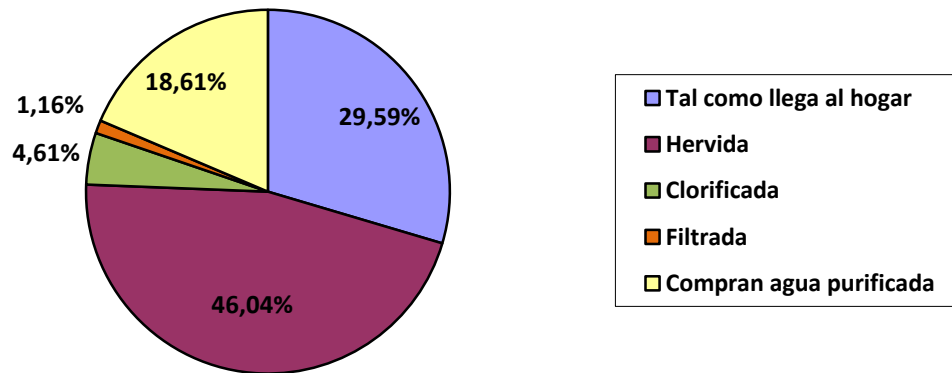


**Figura 2: Conexión del agua por tubería, cantón Esmeraldas**  
Fuente: INEC (2010), Censo de Población y Vivienda

Sin embargo, el hecho de que exista la conexión no significa que el servicio de agua potable cubra las necesidades de forma permanente.

El servicio es suministrado por la Empresa de Agua Potable y Alcantarillado San Mateo (EAPA San Mateo), pero la ciudad de Esmeraldas tiene un déficit de agua potable muy crítico, lo que conduce a que el abastecimiento sea racionado – tres días a la semana y pocas horas al día – debido tanto a la vetustez y falta de capacidad de las tuberías y equipos electromecánicos, la falta de capacidad de los componentes (estaciones de bombeo, planta de potabilización, redes de distribución y tanques de reserva) y falta de agua para abastecer la demanda de la ciudadanía, situación que pone en riesgo los aspectos de salud pública general (ACSAM, 2013).

En cuanto a la ingesta de agua, la población de Esmeraldas en un 46,04% hierve el agua, mientras que un 29,59% la consume tal como llega al hogar (INEC, 2010), ver Figura 3.

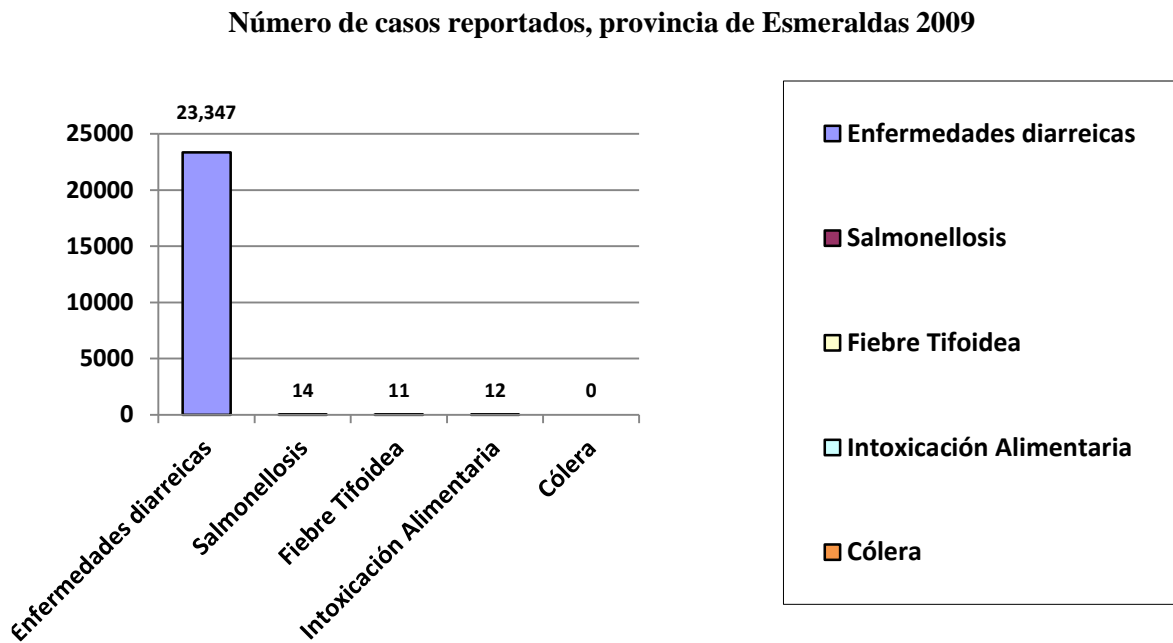


**Figura 3: Tipo de agua consumida, cantón Esmeraldas**  
Fuente: INEC (2010), Censo de Población y Vivienda

Específicamente, la Consultora ACSAM en su “Estudio de Evaluación del Sistema Existente, Factibilidad y Diseños Definitivos del Sistema de Agua Potable Regional Esmeraldas y Zonas de Influencia” determina las siguientes deficiencias del servicio:

- La capacidad de producción de la planta de agua potable es únicamente de 720 l/s, mientras que la demanda actual es de 2100 l/s.
- Las conducciones de agua potable tienen capacidad de transporte únicamente del 50% del caudal requerido en la actualidad.
- Las reservas mantienen un déficit del 50% de volumen de agua.
- La demanda a nivel de red de distribución supera los 2600 l/s.
- Las tuberías de conducción no tienen capacidad para transportar la cantidad de agua que se demanda en la actualidad, menos aún la demanda futura.
- La conducción principal a Esmeraldas y Balnearios del Sur se encuentra deteriorada y frecuentemente presenta roturas y fallas en su estructura.
- Las conducciones y todo el sistema de agua potable se encuentran afectadas de uno u otro modo por la inestabilidad de los suelos.

Todo lo señalado por la Consultora ACSAM demuestra la actual ineficiencia y poca calidad del servicio, incidiendo en deficientes hábitos higiénicos de la población y en enfermedades de origen hídrico, Figura 4, (ver Anexo 2).



**Figura 4: Principales enfermedades transmitidas por alimentos/agua en la provincia de Esmeraldas 2009**

Fuente: MSP, INE C y OPS/OMS(2010), Indicadores básicos de salud.

En el sector del Valle San Rafael donde se ubica la unidad educativa Camilo Borja la dotación de agua potable es de 3 a 4 días a la semana (martes, jueves, sábados y/o domingos), pero el consumo de agua en ésta institución es alto debido a que la población que reúne es de aproximadamente 500 personas, lo que puede generar riesgos de salud.

## 1.2 Marco de referencia

Entre las metas a alcanzar en lo que concierne a los Objetivos de Desarrollo del Milenio se encuentra el aumentar el acceso a mejores fuentes de agua potable, al saneamiento y a una energía limpia; intervenciones ambientales fundamentales que pueden reducir la

presión sobre los ecosistemas, causada por la contaminación del agua o del aire, y también mejorar la salud<sup>1</sup> (Recinos y Erout, 2010).

El Ecuador es uno de los países comprometidos en alcanzar estos Objetivos y para lograrlo el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), a través de la Subsecretaría de Agua Potable, Saneamiento y Residuos Sólidos (SAPSyRS) ha interiorizado los compromisos adquiridos, apoyando iniciativas de servicio a la comunidad (Aguilar et al, 2006) . En el año 2001 inició el “Programa de Agua y Saneamiento para comunidades rurales y pequeños municipios – PRAGUAS”, entre sus objetivos consta el incremento de las coberturas y logro del uso efectivo de los servicios de agua potable y saneamiento a través de proyectos sostenibles (MIDUVI, 2003). Posteriormente, en el año 2009, se creó el Programa de Gobernabilidad del Sector Agua y Saneamiento con la finalidad de reducir a la mitad, el porcentaje de personas que carezcan de estos servicios básicos (PNUD y MAE, 2009).

Durante el proceso de ejecución de éstos proyectos se diseñaron e implementaron Tecnologías Apropriadas en 20 cantones, ubicados en las provincias de Bolívar, Los Ríos, Manabí y Esmeraldas (PNUD y MAE, 2009). Sin embargo, la falta de investigación sobre los beneficios y limitaciones de estas tecnologías, ha imposibilitado o frenado una más rápida y convincente divulgación y empleo de Tecnologías Apropriadas (Vega, 2010).

Con la finalidad de dar directrices en la aplicación de tecnologías apropiadas el Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia publicó en el 2005 una “Guía Técnica de Diseño y Ejecución de Proyectos de Agua y Saneamiento con Tecnologías Alternativas” (MMAyA, 2005) y en el mismo año el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de la República de Colombia estableció el “Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005), posteriormente se instauró en Colombia un reglamento de “Alternativas Tecnológicas en Agua y Saneamiento para el Sector Rural” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

---

<sup>1</sup> En la Cumbre del Milenio celebrada en New York en el 2000, los países miembros de la Organización de las Naciones Unidas, se propusieron 8 objetivos específicos, conocidos como “Objetivos de Desarrollo del Milenio”. En el mismo sentido se ratificó la cumbre de Johannesburgo en el 2002.

El Instituto Federal Suizo para Ciencias y Tecnologías Acuáticas – EAWAG en base a una sistematización de experiencias exitosas de implementación y desarrollo de tecnologías alternativas de agua y saneamiento en Bolivia, propone un “Compendio de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento” como un instrumento para la elaboración de proyectos sostenibles de agua y saneamiento en zonas rurales, periurbanas y/o de expansión o crecimiento urbano (Tilley, Moprel, Zurbrug y Shertenleib, 2011). Basados en esta herramienta el MIDUVI en conjunto con el Programa de Gobernabilidad del Sector Agua y Saneamiento efectuó talleres a nivel nacional durante el año 2013, con la finalidad de fortalecer capacidades locales enmarcadas en las políticas sectoriales.

En el año 2010 el Proyecto Frente de Defensa de la Amazonía con el apoyo de Rainforest Foundation y UNICEF desarrolla en hogares, centros educativos, de salud y comunitarios un sistema demostrativo de provisión de agua potable que consiste en un modelo de filtro lento de bioarena, basado en la utilización de tecnología apropiada para recoger agua de lluvia y filtrarla utilizando arenas y piedras, con resultados positivos comprobados mediante análisis de laboratorio (UNICEF United Kingdom, Frente de Defensa de la Amazonía y Rainforest Foundation, 2010), ver Anexo 3.

En este sentido, por ejemplo el Recinto Caimito del cantón Muisne no cuenta con sistema de alcantarillado de agua potable, por lo que para cubrir la demanda de agua en la unidad educativa se ha implementado un sistema de captación de agua de lluvia en el techo, la cual es almacenada en una cisterna de concreto enterrada; en el periodo del 2006 hasta el 2010 el Programa Salud y Medio Ambiente Esmeraldas SYMAE con la participación de la Asociación de Permacultores puso en práctica diversos proyectos comunitarios en la provincia de Esmeraldas relacionados con Tecnologías Apropriadas para Agua y Saneamiento (Recinos y Erout, 2010) y en el año 2013 en la comunidad de Zapallo del cantón Rioverde, se implementó el diseño de baños ecológicos integrados con un humedal subsuperficial de flujo horizontal, como tecnologías apropiadas para la zona y sostenibles en términos de saneamiento.

Los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia y reuso de aguas grises, también son parte de las herramientas que el Programa de Gobernabilidad del Sector Agua y Saneamiento en el Ecuador en el marco de los Objetivos de Desarrollo del Milenio presenta como Eco-Tecnologías en Permacultura (MIDUVI y ONU-Habitat, 2013).

Tener acceso a un agua segura es fundamental para la salud de las personas, ya que si está contaminada se convierte en uno de los principales vehículos de transmisión de enfermedades, las que afectan a los grupos más desprotegidos de la población, entre ellos, a los niños, por lo que mejorar las conductas de estudiantes en relación con la higiene y el consumo de agua segura, a través de un programa de educación ambiental y saneamiento resultan vitales para prevenir enfermedades y contribuir a un crecimiento y desarrollo normal (Solsona y Fuertes, 2003). De allí que, las acciones que el Programa denominado “Educación para la Naturaleza – EDUNAT” ejecutado a partir de 1983 hasta 1993 por la Fundación Natura, en convenio con el Ministerio de Educación y Cultura - MEC, y con el auspicio de la Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos - USAID, fueron trascendentales en el tratamiento de la educación ambiental en el sistema escolarizado del país (niveles primario, ciclo básico e institutos formadores de maestros), al lograr la incorporación de contenidos de educación ambiental en los planes y programas de estudio; la capacitación de docentes y la producción de guías didácticas y otros materiales educativos (MAE y MEC, 2006).

### **1.2.1 Definiciones conceptuales**

Dentro del suministro hídrico se entiende por Tecnología apropiada a aquella opción técnica que permite alcanzar con eficiencia la prestación de servicios de agua y saneamiento, al realizar una acción concreta, la cual debe adaptarse al entorno natural, necesidades, costumbres y habilidades de los usuarios, garantizando los recursos empleados de manera sostenida en el periodo de vida útil de la opción técnica que se implemente (Vega, 2010).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2013, p. 91) detalla la selección del sistema de captación preferencial, según la finalidad de utilización del agua, de acuerdo a un orden de importancia. Establece que el agua de mejor calidad debe ser destinada para el consumo (bebida y preparación de alimentos), tomando las precauciones sanitarias correspondientes como: tratamiento adecuado, almacenamiento seguro y acceso sin afectar la calidad del agua; y determina también que la captación de agua de techo puede ser la más adecuada para este fin, considerando

que estas sugerencias no deben ser asumidas como recomendaciones sino se toman en cuenta las condiciones locales, ver Tabla 1.

**Tabla 1: Captación preferencial según finalidad de utilización del agua**

<b>Finalidad de uso</b>	<b>Subfinalidad de uso</b>	<b>Sistema de captación preferencial</b>
Consumo doméstico	Bebida, alimentación, higiene personal	Techo de la vivienda u otra construcción. Pozo con buena calidad de agua
	Lavado de ropa	Techos Pozo
	Higiene de la vivienda	Techos y patios Otras superficies impermeables

Fuente: Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2013.

Los sistemas de captación de agua de lluvia en techos pueden ser de diversos tipos, pero todos tienen cuatro componentes fundamentales (MIDUVI y ONU-Habitat, 2013):

- a) Superficie de captación
- b) Elementos de canalización
- c) Filtro y tratamiento (pH, desinfección, etc.)
- d) Almacenamiento

La captación está conformada por el techo de las edificaciones, y debe tener la superficie y pendiente adecuadas para que facilite el escurrimiento del agua de lluvia hacia el sistema de recolección. En el “Cálculo del Volumen del Tanque de Almacenamiento” se debe considerar solamente la proyección horizontal del techo (CEPIS et al, 2001).

La recolección y conducción consiste en canaletas con mallas que retienen objetos para evitar que obturen la tubería (ver Figura 5). Van adosadas en los bordes más bajos del techo, en donde el agua tiende a acumularse en las canaletas. El material de las canaletas debe ser liviano, resistente al agua y fácil de unir entre sí, a fin de reducir las fugas de agua. Al efecto se puede emplear materiales, como el bambú, madera, metal o PVC.

Malla gruesa colocada a lo largo del canal colector



**Figura 5: Canal recolector protegido con malla**

Fuente: MIDUVI y ONU-Habitat, 2013.

El Instituto Ecuatoriano de Normalización en el Art. 4.1.8 del documento CPE INEN 5 Parte 9.1:1992, establece que dependiendo del tipo de agua cruda y de las normas de calidad para el agua tratada, se preseleccionarán algunas alternativas de tratamiento para potabilización de agua dentro del concepto de tecnología apropiada (ver Tabla 2):

**Tabla 2: Tratamientos probables de potabilización dependiendo del tipo de agua cruda**

Características del agua	Tratamiento probable
Turbiedad media < 10 UNT NMP < 1000 col/100ml	Filtración lenta
Turbiedad media < 50 UNT NMP < 1000 col/100ml	Filtración lenta con Pretratamiento
Turbiedad media < 150 UNT NMP < 5000 col/100ml	Filtración lenta con Sedimentación simple y pretratamiento

Fuente: INEN - Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1986.

Como el agua de lluvia se enmarca en el primer ítem del listado anterior, para potabilizarla se requiere únicamente filtración lenta, la cual consiste en hacer pasar el agua con un flujo continuo, por un lecho de arena en forma descendente o ascendente y a muy baja velocidad. Es una tecnología sencilla, eficiente, económica y versátil, puede utilizarse tanto para el tratamiento de agua de una comunidad de varios cientos (a veces hasta miles) de habitantes, hasta el más simple nivel familiar. Se ha demostrado que un

filtro de arena bien diseñado, operado y mantenido puede eliminar más del 99% de las bacterias patógenas (Ministerio de Salud Pública República de Guatemala, 2002).

Los procesos que se llevan a cabo en la filtración lenta de arena son (ver Tabla 3):

**Tabla 3: Procesos desarrollados en un filtro lento de arena**

N°	Proceso	Elimina
1	Cernido	Sólidos suspendidos
2	Sedimentación	Parte de los sólidos suspendidos y sustancias coloidales
3	Degradación biológica	Sólidos suspendidos y sustancias coloidales
4	Absorción	Sustancias coloidales y soluciones
5	Oxidación	Partículas de todos los tamaños

Fuente: Ministerio de Salud Pública República de Guatemala, 2002.

Sin embargo, es muy probable que en la zona de estudio exista un índice elevado de contaminación atmosférica debido a la cercanía con industrias como la Refinería Estatal Petroecuador y TermoEsmeraldas, y al intenso tráfico vehicular, existiendo la posibilidad de presentarse lluvia ácida a causa de los NOx y SOx, por lo que no es posible considerar el uso del agua de lluvia captada en el diseño propuesto en esta investigación para beber/cocinar sin que antes se hayan efectuado estudios minuciosos que determinen la calidad del aire y verifiquen el funcionamiento eficiente de un sistema de potabilización.

Por otro lado, existen diversas tecnologías para el tratamiento de aguas grises<sup>2</sup>, entre ellas se encuentra la biorremediación que es una disciplina que se ocupa de devolver a su estado natural aquellos lugares (suelos y aguas, fundamentalmente) que han sido contaminados con sustancias nocivas (petróleo, metales, vertidos tóxicos de todo tipo, pesticidas, etc.) empleando para ello seres vivos (Navarro, 2013); la fitorremediación es una parte de esta disciplina que realiza dicha labor mediante el uso de plantas para eliminar, contener elementos dañinos o convertirlos en pasivos ambientales.

En la fitorremediación, los humedales artificiales o construidos son una de las alternativas a las tecnologías convencionales de tratamiento de aguas residuales (Estrada, 2010). Comprende un conjunto de operaciones unitarias que se realizan en una

---

<sup>2</sup> Aguas grises son las aguas generadas al lavar alimentos, ropa y utensilios de cocina, así como la de la regadera y la bañera. Pueden contener pequeñas cantidades de excremento y, por lo tanto, también contener patógenos, su contenido de nitrógeno es solo 10-20% del de las aguas negras (Tilley et al, 2011).

estructura adecuada, para que se reproduzcan las condiciones propias de las zonas húmedas naturales que permitan por medios físicos, químicos y/o biológicos remover contaminantes no deseables (Calvo y Torres, 2010).

Cabe distinguir dos tipos básicos de humedales artificiales: los humedales de flujo superficial, en los que las aguas, en forma de lámina de poco espesor, circulan a través de los tallos de las plantas emergentes implantadas en el humedal; y los humedales de flujo subsuperficial, en los que las aguas discurren a través de un sustrato filtrante que sirve de soporte a la vegetación, no siendo visible el agua (Alianza por el agua, 2008).

La participación comunitaria facilita una adecuada administración, operación y mantenimiento de los sistemas de agua y saneamiento, pero para lograrlo es necesario dotar tanto a la comunidad como a sus representantes/administradores, de las capacidades y destrezas indispensables para asumir estos roles (Aguilar et al, 2006), de allí la importancia de la educación ambiental, que es un proceso que ayuda a desarrollar habilidades y actitudes necesarias para comprender las relaciones entre los seres humanos, sus culturas y el mundo biofísico. Todo programa de educación ambiental deberá incluir la adquisición de conocimientos y la comprensión y desarrollo de habilidades. Además debería estimular la curiosidad, fomentar la toma de conciencia y orientar hacia un interés informado que eventualmente será expresado en términos de una acción positiva (UNESCO y PNUMA, 1997).

### **1.2.2 Marco Legal**

El Art. 375 de la Sección Cuarta – Hábitat y vivienda, Título VII – Régimen del Buen Vivir de la Constitución de la República del Ecuador, puntualiza: “*El Estado, en todos sus niveles de gobierno, garantizará el derecho al hábitat y a la vivienda digna, para lo cual:*”... ibídem 6: “*Garantizará la dotación ininterrumpida de los servicios públicos de agua potable y electricidad a las escuelas y hospitales públicos.*”

La ley Orgánica de Salud declara en su Art. 96 que el agua para consumo humano es prioridad nacional y de utilidad pública. Y es obligación del Estado, por medio de las

municipalidades, proveer a la población de agua potable de calidad, apta para el consumo humano (Ministerio de Salud Pública, 2006).

Y establece en su Art. 11 que *“La autoridad sanitaria nacional, en coordinación con el Ministerio de Educación y Cultura, vigilará que los establecimientos educativos públicos, privados, municipales y fiscomisionales, así como su personal, garanticen el cuidado, protección, salud mental y física de sus educandos”* (MSP, 2006).

El Art. 95 determina que *“La autoridad sanitaria nacional en coordinación con el Ministerio del Ambiente, establecerá las normas básicas para la preservación del ambiente en materias relacionadas con la salud humana, las mismas que serán de cumplimiento obligatorio para todas las personas naturales, entidades públicas privadas y comunitarias”* (MSP 2006).

El Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS) en su libro VI de la Calidad del Ambiente, establece la *“Norma de calidad ambiental y descarga de efluentes: Recurso Agua”*. En ella se determinan los criterios de calidad para aguas destinadas al consumo humano y uso doméstico, previo a su potabilización (MAE, 2003).

El MIDUVI promulgó en el año 2002 la Política Nacional de Agua y Saneamiento, cuyo marco de referencia incluye el abastecimiento de agua, alcantarillado sanitario, y el manejo adecuado de los residuos sólidos, así como las demás ramas del saneamiento ambiental, tradicionalmente no considerados en la Política Sectorial, además de la articulación con las acciones del área de salud y ambiente (Yepes y Gómez, 2002).

La Política 5 del Plan Decenal de Educación del Ecuador 2006 – 2015 comprende el Mejoramiento de la Infraestructura Física y el Equipamiento de las Instituciones Educativas y entre sus líneas de acción señala el uso de apropiadas tecnologías constructivas (Ministerio de Educación del Ecuador, 2007).

El Instituto Ecuatoriano de Normalización proporciona especificaciones básicas de diseño para el desarrollo de proyectos de abastecimiento de agua potable - alcantarillado y tratamiento de aguas residuales:

- NTE INEN 1108:2014 Agua potable. Requisitos.- Que debe cumplir el agua potable para consumo humano.
- CPE INEN 5 parte 9-1:1992 Código ecuatoriano de la construcción – C.E.C. “Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes”.
- CPE INEN 5 parte 9-2:1997 Código ecuatoriano de la construcción – C.E.C. “Diseño de instalaciones sanitarias: Código de práctica para el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural”.
- NTE INEN 1372:2010 Tubos y accesorios plásticos para conducir agua potable. Requisitos bromatológicos y organolépticos.
- NTE INEN 1680:1988 Urbanización. Sistema de abastecimiento de agua potable.
- NTE INEN 1752:1990 Urbanización. Sistema de eliminación de residuos líquidos.
- NTE INEN 1754:1990 Urbanización. Sistema de depuración de residuos líquidos.
- NTE INEN 2149:2013 Agua. Medios Filtrantes granulares utilizados en el tratamiento de aguas. Requisitos.- Establece los requisitos que deben cumplir y los métodos de ensayo a los que deben someterse los medios filtrantes utilizados en el tratamiento de aguas.
- NTE INEN 2655:2012 Implementación de plantas potabilizadoras prefabricadas en sistemas públicos de agua potable.

En el 2006, los Ministerios del Ambiente y Educación en coordinación con la Corporación OIKOS elaboraron el “Plan Nacional de Educación Ambiental para la Educación Básica y el Bachillerato 2006 – 2016” con el propósito de impulsar la dimensión ambiental en el proceso educativo y mejorar la formación de los niños, niñas y jóvenes del país, debido a que es una necesidad impostergable cambiar y reorientar sus comportamientos en función de las demandas de una nueva sociedad más solidaria con su entorno (MAE y MEC, 2006).

Finalmente entre las políticas del Objetivo 3. Mejorar la calidad de vida de la población, del Plan Nacional para el Buen Vivir 2013 – 2017 se establece el “Garantizar el acceso universal, permanente, sostenible y con calidad a agua segura y a servicios básicos de saneamiento, con pertinencia territorial, ambiental, social y cultural” y el “Propiciar la

elaboración e implementación de planes de seguridad de agua, para garantizar el acceso sostenible a agua salubre de consumo”, y el en el Objetivo 7. Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental territorial y global, demanda el “Promover patrones de consumo conscientes, sostenibles y eficientes con criterio de suficiencia dentro de los límites del planeta” (SENPLADES, 2013).

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo General**

Proponer diseños de tecnologías alternativas para la captación de agua de lluvia y el tratamiento de aguas grises adaptados a la infraestructura de la unidad educativa Camilo Borja, cantón Esmeraldas.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Delinear un sistema de captación de agua de lluvia para la unidad educativa.
2. Proponer mecanismos de depuración de aguas grises para que ésta pueda ser aprovechada y/o reutilizada en el centro educativo.
3. Plantear procedimientos de operación, mantenimiento, seguimiento y responsabilidad del funcionamiento de los diseños propuestos.
4. Definir un mecanismo de educación ambiental que pueda implementarse en la Unidad Educativa a mediano y largo plazo.

## **2. METODOLOGÍA**

### **2.1 Descripción y caracterización del lugar de estudio**

El desarrollo del trabajo se efectuó en la escuela de educación básica fiscal mixta “Camilo Borja” ubicada en el sector del Valle San Rafael, parroquia Simón Plata Torres, cantón y provincia de Esmeraldas, que al igual que otros 33 establecimientos educativos del sur de la ciudad, fue incluida en el año 2013 en el “Programa de Compensación Social para los barrios aledaños a la Refinería de Esmeraldas”. El proyecto de investigación se realizó a partir de Febrero de 2013 hasta el mes de Junio de 2014.

La escuela Camilo Borja se encuentra en un sector urbanizable, en donde la mayoría de los terrenos están ocupados por construcciones destinadas a viviendas y a establecimientos comerciales como: almacenes, tiendas, bares, restaurantes y hoteles; coordenadas geográficas UTM WGS 84 (X:0645938; Y:0101377); pero cuenta con la cercanía de industrias como la Refinería Estatal PETROECUADOR y TermoEsmeraldas, a una distancia aproximada de 2 Km. También está rodeada por arterias viales de un intenso y permanente tráfico vehicular, lo que además puede poner en riesgo la calidad del aire en el sector, por lo que el agua de lluvia captada no se considera segura para el consumo humano.

En el establecimiento se educan a niños, niñas y adolescentes desde el 1<sup>ero</sup> al 10<sup>mo</sup> año de básica. Posee cuatro bloques en donde funcionan 14 salas distribuidas en: 12 aulas de docencia, una sala virtual para computación y una oficina para la dirección; además cuenta con una infraestructura para los sanitarios y un área de cocina con comedor; una cancha/patio de cemento, una cisterna enterrada de concreto de 8,228 m<sup>3</sup> (2,20 m largo x 2,20 ancho m x 1,70 profundidad m) y detrás de los bloques espacios de piso de tierra baldíos, destinados a áreas verdes (ver Figura 6).



**Figura 6: Edificaciones de la escuela A.- Sector Este y B.- Sector Oeste**  
 Fuente: Fotografías tomadas por la autora

La jornada de trabajo es matutina, pero al acabar las obras civiles de adecuación la escuela funcionará también en la tarde con los estudiantes de 8<sup>vo</sup> a 10<sup>mo</sup> año; con lo que completa una población total de 499 personas (ver Tabla 4).

**Tabla 4: Número de personas en la escuela Camilo Borja**

Estudiantes varones	247
Estudiantes mujeres	228
Docentes	21
Personal de servicios (por contratar)	2
Guardián (por contratar)	1
<b>TOTAL</b>	<b>499</b>

Fuente: Elaborada por la autora

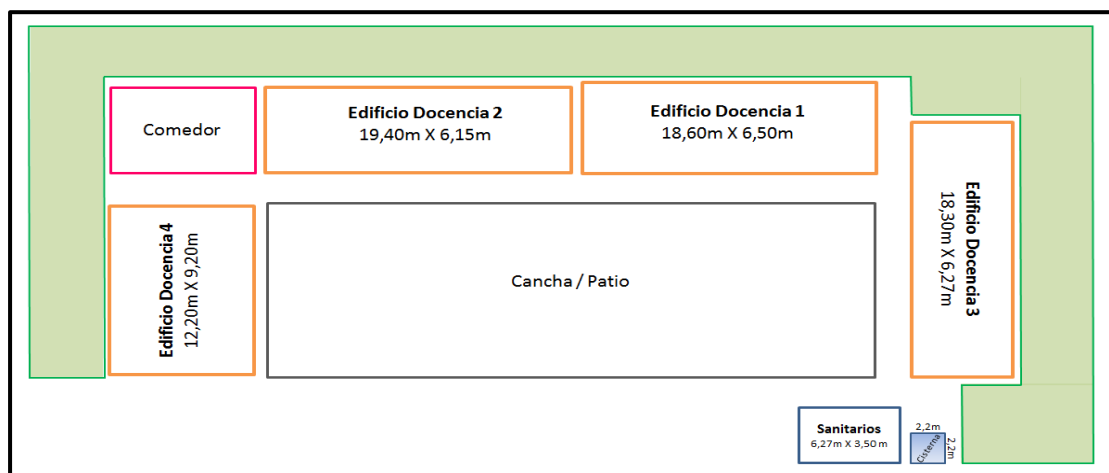
El establecimiento cuenta con el servicio del agua potable los días martes y jueves, para los otros días o cuando no hay distribución, ocupan para usos sanitarios, el agua que se almacena en un tanque plástico y/o en la cisterna.

De acuerdo con la información proporcionada por la directora de la unidad educativa se calcula que para las actividades de la cocina se ocupa diariamente un tanque de 1.000 litros, agua que es tomada de la red pública y/o de la cisterna. Para beber compran bidones de agua, para ello se pide semanalmente \$ 0,10 USD a los estudiantes.

## 2.2 Captación de agua de lluvia

En primera instancia la investigación se realizaría en la Unidad Educativa Héroes de Twintza, pero se cambió el lugar de estudio a la escuela Camilo Borja porque, a diferencia del primero, éste establecimiento se encontraba aún en fase de adecuación, posee mayor espacio y existía la posibilidad de poder implementar uno de los sistemas propuestos.

Para lograr los objetivos planteados se consultaron diversas fuentes de información. Primeramente, se entrevistó a la Lcda. Segunda Caicedo Valencia – Directora (Encargada) de la escuela Camilo Borja para conocer las instalaciones, el tipo de material con el que están construidas y las principales actividades en las que utilizan agua; se midieron las infraestructuras para determinar el área total de captación de los techos (ver Figura 7).



**Figura 7: Croquis de la escuela Camilo Borja**

Fuente: Elaborado por la autora

Posteriormente, para conocer experiencias prácticas de permacultura concernientes a la captación de agua de lluvia y al tratamiento de aguas grises, se realizaron visitas en el recinto Caimito (Galera – San Francisco del cantón Muisne) para entrevistar a la señora Fabiola Mosquera – Presidenta del recinto, George Fletcher y Ben Murray - Miembros de la Asociación de Guardianes de Semillas quienes transmitieron sus sabios y valiosos conocimientos. También se entrevistó a Mayra Ortiz, Max Sevilla y Hoover Ortiz representantes de los “Permacultores Las Acacias”, para conocer sus experiencias en mecanismos de captación y depuración de agua.

### 2.2.1 Volumen de almacenamiento de agua

Conociendo la superficie total de todos los techos se empleó el “Cálculo del Volumen del Tanque de Almacenamiento” de la “Guía de diseño para captación del agua de lluvia” del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS et al, 2001) para obtener el volumen de agua capaz de ser colectado por metro cuadrado de superficie y la capacidad del tanque de almacenamiento que se requeriría.

Para determinar el volumen de almacenamiento se calculó la diferencia entre la oferta acumulada y la demanda acumulada para cada mes, el mayor valor de diferencia será el volumen del tanque adoptado. Si las diferencias mostraban valores negativos, quería decir que las áreas de captación no eran suficientes para satisfacer la demanda (Palacio, 2010).

$$V_i = A_{ai} - D_{ai}$$

Donde:

$V_i$ : volumen de almacenamiento del mes “i” ( $m^3$ )

$A_{ai}$ : oferta acumulada al mes “i” ( $m^3$ )

$D_{ai}$ : demanda acumulada al mes “i” ( $m^3$ )

Debido a que, para realizar el cálculo es necesario conocer los datos pluviométricos de por lo menos los últimos 10 años, se solicitó la información en el Instituto Oceanográfico de la Armada – INOCAR, en donde el Dr. Elvis Bastidas Guerreo proporcionó las precipitaciones diarias de la Estación Meteorológica de Esmeraldas, del periodo 2002 a 2011 (ver Anexo 4).

Luego se tomaron como referencia las especificaciones de las normativas de Instituto Ecuatoriano de Normalización – INEN para determinar la dotación básica litros/persona/día (l/p/d) de agua en la escuela. Sin embargo, al realizar el cálculo se verificó que la oferta mensual de agua de lluvia, no llegaba a cubrir lo que determina el Código de Práctica Ecuatoriano CPE INEN 5 Parte 9.2:1997 referente a la cantidad mínima de agua necesaria según su uso; por lo que, se desarrolló la investigación en base a la demanda de agua que es cubierta actualmente a través de la compra de bidones y a la capacidad de la cisterna.

Es así como, considerando la cercanía con la cisterna y que cuentan con canales de recolección de agua de lluvia, se seleccionó la superficie del edificio de Docencia 3 y Sanitarios para el almacenamiento de agua de lluvia en la cisterna.

Así mismo, dado que el Cuerpo de Ingenieros ha implementado un diseño estructural estandarizado en las unidades educativas del sur de la ciudad, se aprovecha la losa de este nuevo edificio para plantear el sistema de captación de agua de lluvia que se utilizaría para el consumo, previa la realización de estudios minuciosos tanto de la calidad del aire del sector como del funcionamiento eficiente de un sistema de potabilización.

Por lo que, mediante este estudio, para la escuela Camilo Borja, se proponen dos sistemas de captación de agua de lluvia:

- a) Edificio de Docencia 3 y Sanitarios, que se almacena en la cisterna
- b) Edificio de Docencia 1, que se almacenaría en tanques plásticos elevados que, previo a su consumo, debe recibir un tratamiento de purificación (p. ej. filtración, desodorización y desinfección).

Se recibió la asesoría técnica del Arq. Eduardo Coime – Fiscalizador y de la Arq. Noris Nazareno – Contratista encargada de los trabajos de rehabilitación, reparación y ampliación de la infraestructura de la escuela Camilo Borja; en lo referente a la resistencia de la losa y al diseño de la cubierta de captación.

### **2.2.1.1 Oferta Acumulada (Aai) de Agua de Lluvia**

Con la información obtenida se procedió a estimar la cantidad de agua que podría ser captada por mes en la escuela, la cual va a estar en función de la superficie del techo disponible (ver Anexo 5).

$$A_i = \frac{P_{pi} * C_e * A_c}{1000}$$

Donde:

Ai: oferta de agua en el mes “i” (m<sup>3</sup>)

Ppi: precipitación promedio mensual (L/m<sup>2</sup>)

Ce: coeficiente de escorrentía

Ac: área de captación (m<sup>2</sup>)

Teniendo como base los valores obtenidos en la determinación de la oferta mensual de agua de lluvia, se procedió a calcular el acumulado de cada uno de ellos mes a mes encabezando por el mes de mayor precipitación u oferta de agua.

$$A_{ai} = A_{a(i-1)} + A_i$$

Donde:

Aai: volumen acumulado al mes “i” (m<sup>3</sup>)

Aa<sub>(i-1)</sub>: oferta acumulada al mes anterior “i-1” (m<sup>3</sup>)

Ai: oferta de agua en el mes “i” (m<sup>3</sup>)

Finalmente, se procedió a calcular la diferencia de los valores acumulados de cada uno de los meses de la oferta y la demanda respectivamente.

### 2.2.1.2 Demanda Acumulada de agua

Así mismo, en base a las normas propuestas por el CEPIS (2001) se determinó la siguiente fórmula para el cálculo de la demanda de agua, para calcular la demanda de agua acumulada.

$$D_i = \frac{N_u * N_d * D_{ot}}{1000}$$

Di: demanda mensual (m<sup>3</sup>)

Nu: número de usuarios que se benefician del sistema

Nd: número de días del mes analizado

Dot: dotación (litros/persona/día)

La demanda acumulada (Dai) se determinó de acuerdo a la siguiente expresión:

$$D_{ai} = D_{a(i-1)} + D_i$$

Donde:

Dai: demanda acumulada al mes “i” ( $m^3$ )

Da(i-1): demanda acumulada al mes anterior “i-1” ( $m^3$ )

Di: demanda del mes “i” ( $m^3$ )

## **2.3 Mecanismos de depuración del agua**

A más de la información secundaria disponible, se realizaron entrevistas a técnicos expertos, lo que permitió el planteamiento del diseño de tecnologías alternativas para el tratamiento del agua, ajustadas a la realidad local, específicamente de la unidad educativa Camilo Borja, por lo que se proponen dos sistemas de depuración:

- a) Filtro Lento de BioArena para depuración de agua de lluvia, captada en Edificio de Docencia 1.
- b) Humedal Subsuperficial de Flujo Horizontal para tratamiento de aguas grises, para riego o descarga de inodoros.

### **2.3.1 Filtro Lento de BioArena para depuración de agua de lluvia**

El programa de asistencia técnica de UNICEF en el año 2010 implementó en hogares, centros educativos y de salud de la región amazónica del Ecuador, un modelo de filtro, que consiste en pasar lentamente, en forma descendente, agua de lluvia a través de una película biológica natural y capas de: arena fina, cuarzo y ripio, con la finalidad de depurar el agua (UNICEF et al, 2010). Al presentar éste modelo resultados positivos comprobados (Anexo 3), se propone adaptar su diseño para implementarlo en la escuela Camilo Borja, así como para otros centros con infraestructuras similares, en especial si poseen un elevado nivel de precipitación y una excelente calidad del aire (libre de contaminación atmosférica), pudiendo presentarse como un sistema descentralizado que complementa el actual sistema de abastecimiento de agua potable.

El lecho filtrante es eficiente siempre y cuando el agua filtrada tenga un pH apto para el consumo humano, de lo contrario hay que neutralizarlo antes o después. Por otro lado es necesario desodorizar el agua por medio de una capa de carbón activado y finalmente

emplear radiación ultravioleta al agua almacenada como mecanismo seguro de desinfección (C. Montaña, entrevista personal, 01 de agosto de 2014).

### **2.3.2 Tratamiento de aguas grises**

En el mes de junio de 2013 se realizó una visita a la comunidad de Zapallo del cantón Rioverde, en donde tienen implementada la tecnología de humedales artificiales para el tratamiento de aguas grises, integrados a sistemas de baños ecológicos.

Por lo que, luego de comparar la información secundaria referente a humedales artificiales con la experiencia de la comunidad de Zapallo y considerando las condiciones físicas del área de estudio, se propone el uso de la fitorremediación, por medio del diseño de un humedal artificial de flujo subsuperficial debido a que ocupa menos espacio, en comparación con un humedal de flujo superficial y a que, como el nivel del agua se mantiene por debajo de la superficie del medio, presenta las ventajas de la prevención de mosquitos y olores y la disminución del riesgo de que los estudiantes entren en contacto directo con el agua residual parcialmente tratada.

## **2.4 Programa de Educación Ambiental**

Dado que en nuestro país desde los años 80 se ha evidenciado la incorporación de la dimensión ambiental en el currículo escolar, tanto en planes y programas de estudios de la educación (primaria y ciclo básico) y en el Reglamento General a la Ley de Educación y Cultura (MAE y MEC, 2006) y debido a que en el libro de Ciencias Naturales de 9<sup>no</sup> y 10<sup>mo</sup> de educación básica se aborda el tema de “El agua, un medio de vida”, se estudió la posibilidad de incorporar como eje complementario a la investigación realizada en la escuela Camilo Borja un Plan de Educación Ambiental, dirigido a los estudiantes de los niveles mencionados, con la finalidad de fortalecer el material didáctico relacionado con el manejo adecuado del recurso agua; acompañado además de la ejemplificación práctica utilizada mediante la integración de los objetivos anteriores.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Volumen de Almacenamiento de Agua

Al medir las superficies de los seis edificios de la escuela Camilo Borja para determinar el volumen de agua de lluvia captada en los techos se obtuvo un área total de 548,22 m<sup>2</sup>, (ver Tabla 5).

**Tabla 5: Superficie total de edificios escuela Camilo Borja**

N°	Infraestructura Superficie	Ancho (m)	Largo (m)	Superficie (m <sup>2</sup> )
1	Sanitarios	3,90	6,27	24,45
2	Edificio Docencia 1 (losa)	18,60	6,50	120,90
3	Edificio Docencia 2	19,40	6,15	119,31
4	Edificio Docencia 3	18,30	6,27	114,74
5	Edificio Docencia 4	12,20	9,20	112,24
6	Comedor	9,20	6,15	56,58
<b>TOTAL</b>				<b>548,22</b>

Fuente: Elaborada por la autora

Se realizaron los cálculos para encontrar la diferencia entre la oferta y la demanda para cada mes, para lo cual fue necesario disponer de la siguiente información:

- **Coefficiente de escorrentía**

El tipo de material del área de captación es “calamina metálica”, denominada comúnmente lámina de zinc, que de acuerdo al CEPIS et al. (2001) tiene un coeficiente de escorrentía (Ce) de 0,90.

- **Número de personas beneficiadas**

Se consideró que la escuela Camilo Borja generalmente reúne un total de 500 personas al mes, exceptuando los meses de Febrero y Marzo, donde se estima un máximo de cinco personas por ser el periodo de vacaciones. Se calcula a Abril como un mes normal debido a que es el mes de matrículas.

- **Precipitación**

Con la información proporcionada por el INOCAR se obtuvo la precipitación promedio mensual (mm) del periodo 2002 a 2011 (ver Tabla 6).

**Tabla 6: Precipitación promedio mensual (mm) periodo 2002 a 2011**

Mes	Precipitación (mm)
Enero	112,83
Febrero	167,71
Marzo	102,48
Abril	119,31
Mayo	78,44
Junio	24,00
Julio	18,68
Agosto	9,08
Septiembre	13,80
Octubre	11,57
Noviembre	22,27
Diciembre	39,91

<b>Anual</b>	<b>720,08</b>
<b>Promedio mes</b>	<b>60,01</b>

Fuente: Elaborada por la autora

Conforme al CEPIS et al. (2001) el volumen de almacenamiento de agua de lluvia y el potencial de ahorro de agua potable se obtiene de distribuir la precipitación ubicando en la fila superior el mes de mayor lluvia durante los 10 años evaluados, que en nuestro caso es el mes de Febrero, y se continúan en orden regular de los meses siguientes (ver Tabla 7).

**Tabla 7: Oferta máxima de agua de lluvia para la escuela Camilo Borja**

Mes	Precipitación mensual (L/m <sup>2</sup> )	Coefficiente escurrentía (Zinc)	Área de captación (m <sup>2</sup> )	Oferta Ai (m <sup>3</sup> /mes)	Pérdidas	Oferta A'i (m <sup>3</sup> /mes)	Oferta Acumulada Aai (m <sup>3</sup> /mes)
Febrero	167,71	0,9	548,22	82,75	1,38	<b>81,37</b>	81,37
Marzo	102,48	0,9	548,22	50,56	0,84	<b>49,72</b>	131,09
Abril	119,31	0,9	548,22	58,87	0,98	<b>57,89</b>	188,98
Mayo	78,44	0,9	548,22	38,70	0,65	<b>38,06</b>	227,03
Junio	24,00	0,9	548,22	11,84	0,20	11,64	238,68
Julio	18,68	0,9	548,22	9,22	0,15	9,06	247,74
Agosto	9,08	0,9	548,22	4,48	0,07	4,41	252,15
Septiembre	13,80	0,9	548,22	6,81	0,11	6,70	258,84
Octubre	11,57	0,9	548,22	5,71	0,10	5,61	264,45
Noviembre	22,27	0,9	548,22	10,99	0,18	10,80	275,26
Diciembre	39,91	0,9	548,22	19,69	0,33	19,36	294,62
Enero	112,83	0,9	548,22	55,67	0,93	<b>54,74</b>	<b>349,36</b>

Fuente: Elaborada por la autora

Obteniendo de la captación de agua lluvia del área total de los techos de los edificios una oferta máxima de 81,37 m<sup>3</sup> correspondiente al mes de febrero y mínima de 4,41 m<sup>3</sup> en el mes de agosto.

El Instituto Nacional de Normalización en el Art. 4.1 de la norma INEN 1 680 determina que la dotación de agua potable se fija en función de la densidad de la población, el clima de la zona y los servicios comunales proyectados para la urbanización (ver Tabla 8).

**Tabla 8: Dotación Básica (lpd\*)**

<b>Densidad poblacional (habitantes/hectárea)</b>		
<b>Clima</b>	<b>Mayor a 500</b>	<b>De 500 a 201</b>
Frío	120	150
Templado	135	160
Cálido	150	170

\*(lpd) litros por persona al día

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1986.

La provisión de servicio o equipamiento comunales afecta la demanda de agua potable; por tanto, ante la presencia de ellos, la dotación básica se incrementará por la sumatoria de los porcentajes de la Tabla 9.

**Tabla 9: Porcentajes de incremento de la dotación básica de acuerdo a servicios comunales**

<b>Servicio o equipamiento</b>	<b>Porcentaje de incremento (%)</b>
Jardín de infantes	5
<b>Escuela primaria</b>	<b>8</b>
Colegio secundario	5
Parque infantil	5
Plaza barrial	7
Canchas o centros deportivos	10
Sala o centro comunal	5
Guardería	3
Subcentro o centro de salud	15
Locales comerciales o mercado	12
Oficinas públicas, policía, bomberos, bancos, otros	10

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1986.

De lo anterior se calcula que la dotación óptima de agua para la escuela Camilo Borja es de (170 lpd + 8%) 183,60 litros/persona/día (lpd).

Sin embargo, esta dotación comprende la cantidad total de agua consumida en diferentes usos, por lo que en la Tabla 10 se presenta lo que se determina en el Código de Práctica Ecuatoriano CPR INEN 5 Parte 9.2:1997 referente a la cantidad mínima de agua necesaria según su uso (ver Tabla 10).

**Tabla 10: Consumo mínimo de agua (lpd\*) de acuerdo al uso**

Uso	Clima frío	Clima Cálido
Bebida	2	2
Alimentación y cocina	8	10
Lavado de utensilios	8	8
Aseo corporal menor	6	10
Baño de ducha	26	40
Lavado de ropa	15	15
Inodoro	15	15
Total per-cápita	<b>80 (lpd*)</b>	<b>100 (lpd*)</b>

\*(lpd) litros por persona al día

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1997.

Teniendo como referencia la Tabla 10, a continuación se presenta el consumo mínimo de los principales usos de agua en la escuela Camilo Borja (ver Tabla 11).

**Tabla 11: Consumo mínimo (lpd\*) principales usos de agua en la escuela Camilo Borja**

Uso	Clima Cálido
Bebida	2
Alimentación y cocina	10
Lavado de utensilios	8
Aseo corporal menor	10
Inodoro	15
Total per-cápita	<b>45 (lpd*)</b>

\*(lpd) litros por persona al día

Fuente: Adaptada de Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1997

Y se aplican los cálculos para la población de la escuela Camilo Borja (ver Tabla 12).

**Tabla 12: Demanda mínima de agua (lpd\*\*) escuela Camilo Borja**

Mes	Dotación (litros/persona/día)	Cantidad de Beneficiarios	Número de días al mes*	Demanda al mes (m <sup>3</sup> )
Enero	45	500	23	517,50
Febrero	45	5	20	4,50
Marzo	45	5	23	5,17
Abril	45	500	22	495,00
Mayo	45	500	23	517,50
Junio	45	500	22	495,00
Julio	45	500	23	517,50
Agosto	45	500	23	517,50
Septiembre	45	500	22	495,00
Octubre	45	500	23	517,50
Noviembre	45	500	22	495,00
Diciembre	45	500	23	517,50
<b>Demanda promedio</b>				424,55

\*Sin considerar sábados y domingos.

\*\* (lpd) litros por persona al día

Fuente: Elaborada por la autora

Como se observa en la Tabla 7, de acuerdo a la precipitación del área de estudio, la oferta máxima de agua de lluvia captada en la escuela Camilo Borja es de 81,37 m<sup>3</sup>, correspondiente al mes de febrero, con lo cual no se logra satisfacer la demanda mínima de agua para los principales usos detallados en la Tabla 12. Por lo que, conociendo los problemas de desabastecimiento de agua potable en la zona y en base a la demanda de agua cubierta actualmente en el establecimiento, a través de la compra de bidones y a la capacidad de la cisterna, se proponen dos sistemas de captación, para que unidos al existente sistema de abastecimiento de agua potable se logre solventar parte de los requerimientos de agua.

- a) Captación de edificio de Docencia 3 y Sanitarios: se almacena en la cisterna.
- b) Cubierta en el edificio de Docencia 1: se almacena en tanques plásticos elevados en la losa.

### 3.1.1 Volumen de agua de lluvia para usos sanitarios

El agua de lluvia almacenada en la cisterna es destinada para usarla en inodoros y limpieza de instalaciones por lo que no necesita de tratamientos previos para su uso.

#### ▪ Oferta de agua de lluvia destinada a uso no potable

Considerando su cercanía con la cisterna y de que ya cuentan con canales de recolección, para el almacenamiento de agua de lluvia en la cisterna enterrada se determinó un área de captación del techo de dos edificios (ver Tabla 13).

**Tabla 13: Área (m<sup>2</sup>) del techo de edificios a utilizar para la cisterna**

Nº	Infraestructura Superficie	Ancho (m)	Largo (m)	Superficie (m <sup>2</sup> )
1	Sanitarios	3,90	6,27	24,45
2	Docencia 3	18,30	6,27	114,74
<b>TOTAL</b>				<b>139,19</b>

Fuente: Elaborada por la autora

Conociendo el área, se calcula la oferta de agua de lluvia para usos sanitarios (ver Tabla 14).

**Tabla 14: Oferta de agua de lluvia para la cisterna**

Mes	Precipitación mensual (L/m <sup>2</sup> )	Coefficiente esorrentía (Zinc)	Área de captación (m <sup>2</sup> )	Oferta Ai (m <sup>3</sup> /mes)	Pérdidas	Oferta A'i (m <sup>3</sup> /mes)	Oferta Acumulada Aai (m <sup>3</sup> /mes)
Febrero	167,71	0,9	139,19	21,01	0,35	<b>20,66</b>	20,66
Marzo	102,48	0,9	139,19	12,84	0,21	<b>12,62</b>	33,28
Abril	119,31	0,9	139,19	14,95	0,25	<b>14,70</b>	47,98
Mayo	78,44	0,9	139,19	9,83	0,16	<b>9,66</b>	57,64
Junio	24,00	0,9	139,19	3,01	0,05	2,96	60,60
Julio	18,68	0,9	139,19	2,34	0,04	2,30	62,90
Agosto	9,08	0,9	139,19	1,14	0,02	1,12	64,02
Septiembre	13,80	0,9	139,19	1,73	0,03	1,70	65,72
Octubre	11,57	0,9	139,19	1,45	0,02	1,43	67,14
Noviembre	22,27	0,9	139,19	2,79	0,05	2,74	69,89
Diciembre	39,91	0,9	139,19	5,00	0,08	4,92	74,80
Enero	112,83	0,9	139,19	14,13	0,24	<b>13,90</b>	<b>88,70</b>

Fuente: Elaborada por la autora

▪ **Demanda de agua de la cisterna**

Se realizan los cálculos de la demanda de agua para uso sanitario en base a la capacidad de la cisterna  $8,23 \text{ m}^3$  (ver Tabla 15).

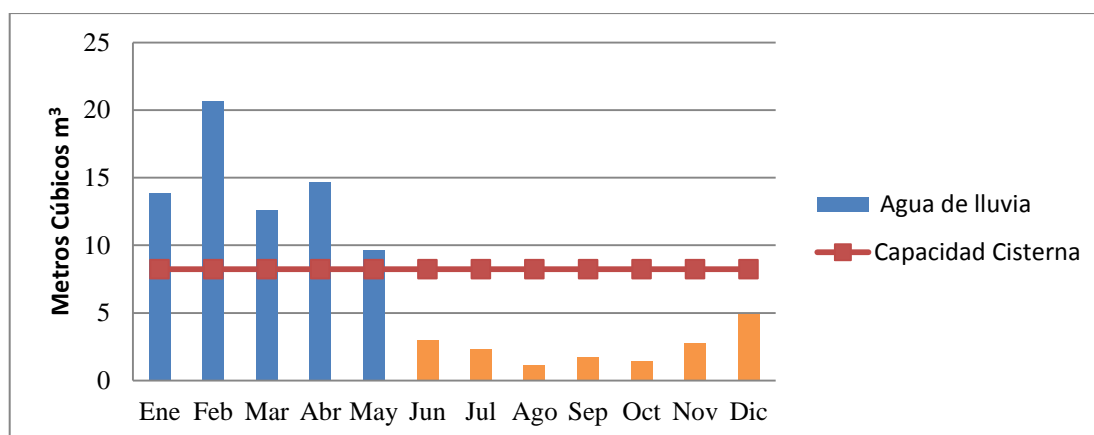
**Tabla 15: Demanda mensual ( $\text{m}^3$ ) de agua de la cisterna enterrada**

Mes	N° usuarios (Nu)	N° días mes (Nd)	Dotación (Dot) lpd*	Demanda Di ( $\text{m}^3/\text{mes}$ )	Demanda Acumulada Dai ( $\text{m}^3/\text{mes}$ )
Febrero	5	20	82,3	8,23	8,23
Marzo	5	23	71,55	8,23	16,46
Abril	500	22	0,748	8,23	24,69
Mayo	500	23	0,716	8,23	32,92
Junio	500	22	0,748	8,23	41,15
Julio	500	23	0,716	8,23	49,38
Agosto	500	23	0,716	8,23	57,62
Septiembre	500	22	0,748	8,23	65,84
Octubre	500	23	0,716	8,23	74,08
Noviembre	500	22	0,748	8,23	82,31
Diciembre	500	23	0,716	8,23	90,54
Enero	500	23	0,716	8,23	<b>98,77</b>

\*(lpd) litros por persona al día

Fuente: Elaborada por la autora

De lo anterior se obtiene que, el agua de lluvia captada del área de los dos techos permite llenar la cisterna durante cinco meses consecutivos de Enero a Mayo, aportando en cubrir parte de la demanda de agua no potable, con una dotación promedio de 13,43 litros/persona/día (ver Figura 8).



**Figura 8: Oferta de agua de lluvia ( $\text{m}^3/\text{mes}$ ) para la Cisterna**

Fuente: Elaborada por la autora

### 3.1.2 Volumen de agua para potabilizar

Para adquirir agua segura para beber, la Directora de la escuela Camilo Borja dio a conocer que semanalmente se pide a todos los estudiantes una colaboración de \$0,10 para comprar agua en bidones (ver Tabla 16).

**Tabla 16: Aporte semanal de los estudiantes para comprar agua (20 litros) en bidones**

<b>Estudiantes</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>
Varones	247
Mujeres	228
<b>Total</b>	<b>475</b>

Colaboración	\$0,10
Valor Semanal	\$47,50

Fuente: Elaborada por la autora

Lo que representa un costo de \$190,00 USD al mes. Cada botellón tiene una capacidad de 20 litros y en el mercado, el agua de bidón más económica tiene un costo de \$1 USD. Así mismo, la Directora informó que para las actividades de la cocina se consume diariamente un tanque de agua potable que tiene una capacidad de 1000 litros.

#### ▪ **Oferta de agua destinada a ser tratada en el filtro purificador**

Se propone aprovechar el área de la losa del nuevo edificio (Docencia 1) para allí implementar el sistema de captación de agua de lluvia, que luego de estudios minuciosos de la calidad del aire del sector y la verificación del funcionamiento eficiente de un sistema de potabilización se determine si el agua de lluvia es apta o no para consumo humano. Este edificio tiene una superficie de (18,60 m x 6,50 m) 120,90 m<sup>2</sup>. Con ésta área se realizó el cálculo de la oferta de agua a ser almacenada en tanques plásticos (ver Tabla 17).

**Tabla 17: Oferta mensual (m<sup>3</sup>) de agua de lluvia destinada a ser purificada en el filtro**

Mes	Precipitación mensual (L/m <sup>2</sup> )	Coefficiente escorrentía (Zinc)	Área de captación (m <sup>2</sup> )	Oferta Ai (m <sup>3</sup> /mes)	Pérdidas	Oferta A'i (m <sup>3</sup> /mes)	Oferta Acumulada Aai (m <sup>3</sup> /mes)
Febrero	167,71	0,9	120,9	18,25	0,30	17,94	17,94
Marzo	102,48	0,9	120,9	11,15	0,19	10,97	28,91
Abril	119,31	0,9	120,9	12,98	0,22	12,77	41,68
Mayo	78,44	0,9	120,9	8,54	0,14	8,39	50,07
Junio	24,00	0,9	120,9	2,61	0,04	2,57	52,64
Julio	18,68	0,9	120,9	2,03	0,03	2,00	54,63
Agosto	9,08	0,9	120,9	0,99	0,02	0,97	55,61
Septiembre	13,80	0,9	120,9	1,50	0,03	1,48	57,08
Octubre	11,57	0,9	120,9	1,26	0,02	1,24	58,32
Noviembre	22,27	0,9	120,9	2,42	0,04	2,38	60,70
Diciembre	39,91	0,9	120,9	4,34	0,07	4,27	64,97
Enero	112,83	0,9	120,9	12,28	0,20	12,07	<b>77,05</b>
Oferta mensual promedio:						<b>6,42</b>	

Fuente: Elaborada por la autora

Con lo que se obtiene una oferta promedio de agua segura mensual de 6,42 m<sup>3</sup>.

▪ **Demanda de agua segura para beber y/o cocinar en la escuela**

Para beber se calculan 190 bidones al mes, de 20 litros de capacidad cada uno.

$$190 \text{ bidones} \times 20 \text{ litros} = 3800 \text{ litros} \sim 3,8 \text{ m}^3$$

$$\text{\$ } 190 \text{ USD} \times 12 \text{ meses} = \text{\$ } 2.280 \text{ al año}$$

Para cocinar se ocupa diariamente un tanque 1000 litros de agua potable. Sin considerar sábados y domingos, el mes más largo tiene 23 días.

$$23 \text{ tanques} \times 1000 \text{ litros} = 23000 \sim 23 \text{ m}^3$$

Lo que representa una demanda mensual de agua segura de 26, 80 m<sup>3</sup> (ver Tabla 18).

**Tabla 18: Demanda mensual (m<sup>3</sup>) de agua segura**

Agua Segura	m <sup>3</sup>
Beber	3,80
Cocinar	23,00
<b>Total</b>	<b>26,80</b>

Fuente: Elaborada por la autora

Conociendo la oferta promedio (6,42 m<sup>3</sup>) de agua para potabilizar, se establece una dotación de agua segura de 0,73 litros/persona/día para obtener una demanda promedio mensual de 6,89 m<sup>3</sup> (ver Tabla 19), lo que permite cubrir la demanda de agua segura para beber (3,80 m<sup>3</sup>) y parte de la demanda de agua para cocinar (23 m<sup>3</sup>).

**Tabla 19: Demanda mensual (m<sup>3</sup>) de agua para beber y/o cocinar**

Mes	N° usuarios (Nu)	N° días mes (Nd)	Dotación (Dot) lpd*	Demanda Di (m <sup>3</sup> /mes)	Demanda Acumulada Dai (m <sup>3</sup> /mes)
Febrero	5	20	0,73	0,07	0,07
Marzo	5	23	0,73	0,08	0,16
Abril	500	22	0,73	8,03	8,19
Mayo	500	23	0,73	8,40	16,58
Junio	500	22	0,73	8,03	24,61
Julio	500	23	0,73	8,40	33,01
Agosto	500	23	0,73	8,40	41,40
Septiembre	500	22	0,73	8,03	49,43
Octubre	500	23	0,73	8,40	57,83
Noviembre	500	22	0,73	8,03	65,86
Diciembre	500	23	0,73	8,40	74,25
Enero	500	23	0,73	8,40	<b>82,65</b>
Demanda promedio mensual:				<b>6,89</b>	

\* (lpd) litros por persona al día

Fuente: Elaborada por la autora

▪ **Balance: volumen total de agua a almacenar en los tanques elevados**

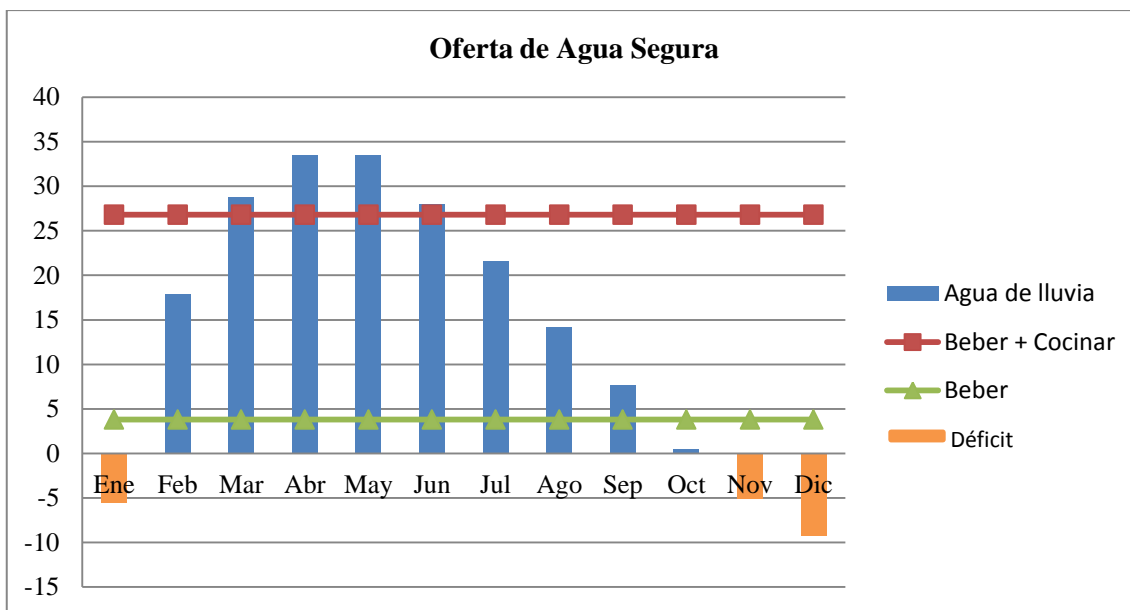
Con los datos obtenidos se calculó la diferencia entre la oferta acumulada y la demanda acumulada para cada mes, y así se obtuvo el volumen de almacenamiento (ver Tabla 20).

**Tabla 20: Volumen (m<sup>3</sup>) de agua para beber y cocinar**

Mes	Oferta A'i (m <sup>3</sup> /mes)	Oferta Acumulada Aai (m <sup>3</sup> /mes)	Demanda Di (m <sup>3</sup> /mes)	Demanda Acumulada Dai (m <sup>3</sup> /mes)	Volumen almacenamiento (m <sup>3</sup> /mes)	Potencial Ahorro Agua Potable (PPWS%)
Febrero	17,94	17,94	0,07	0,07	17,87	24581,35
Marzo	10,97	28,91	0,08	0,16	28,75	18419,49
Abril	12,77	41,68	8,03	8,19	<b>33,49</b>	509,04
Mayo	8,39	50,07	8,40	16,58	<b>33,49</b>	301,94
Junio	2,57	52,64	8,03	24,61	28,02	213,86
Julio	2,00	54,63	8,40	33,01	21,63	165,52
Agosto	0,97	55,61	8,40	41,40	14,20	134,31
Septiembre	1,48	57,08	8,03	49,43	7,65	115,48
Octubre	1,24	58,32	8,40	57,83	0,49	100,85
Noviembre	2,38	60,70	8,03	65,86	-5,15	92,17
Diciembre	4,27	64,97	8,40	74,25	-9,28	87,50
Enero	12,07	<b>77,05</b>	8,40	<b>82,65</b>	-5,60	93,22

Fuente: Elaborada por la autora

El volumen de almacenamiento mínimo requerido para satisfacer el consumo de agua segura en la escuela Camilo Borja durante los meses de Febrero a Septiembre, con una dotación de 0,73 litros/persona/día está representado en los meses de Abril y Mayo con 33,49 m<sup>3</sup>, presentándose un déficit de agua de lluvia en los meses de octubre, noviembre, diciembre y enero (ver Figura 9).



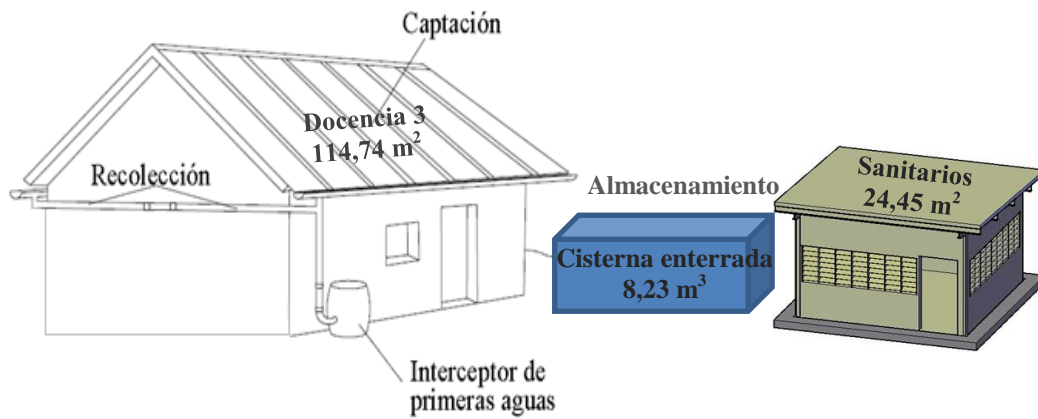
**Figura 9: Volumen de almacenamiento (m<sup>3</sup>) en cisternas plásticas elevadas**  
Fuente: Elaborada por la autora

De la Figura 8 se aprecia que el agua de lluvia captada en la losa del edificio nuevo de la escuela Camilo Borja, logra cubrir la demanda mensual de agua segura para beber (3,80 m<sup>3</sup>) de 8 meses del año, desde febrero hasta Septiembre. Y por 7 meses aporta con más del 50% (13,40 m<sup>3</sup>) de la oferta necesaria para cubrir la demanda de agua segura para beber y cocinar (26,80 m<sup>3</sup>), pudiendo en el periodo de marzo a junio cubrirla en su totalidad.

## 3.2 Sistemas de Captación y Almacenamiento de Agua de Lluvia

### 3.2.1 Edificio de Docencia 3 y Sanitarios

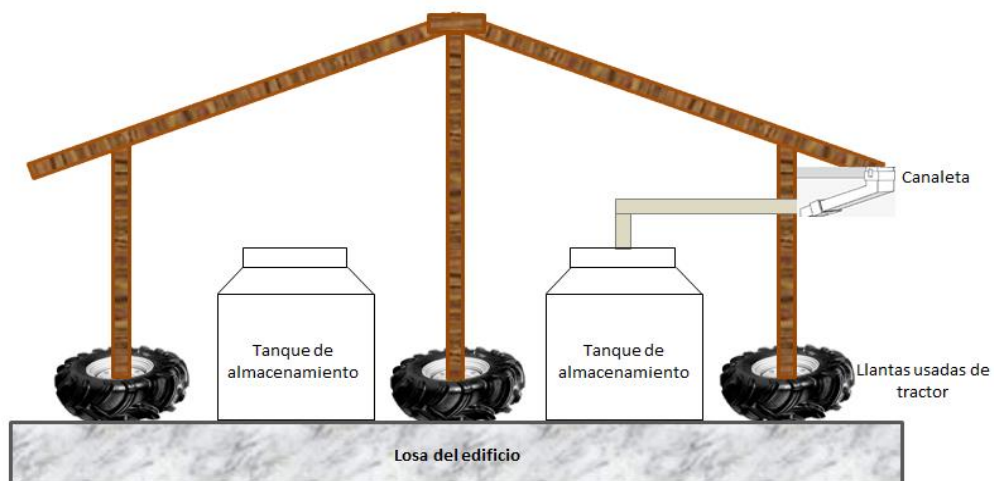
Se propone colocar bajantes en las estructuras de: Docencia 3 y Sanitarios, con la finalidad de dirigir el agua de lluvia captada en la superficie (139,19 m<sup>2</sup>) de los techos de estas dos estructuras hacia la cisterna de concreto enterrada de capacidad de 8,23 m<sup>3</sup> (ver Figura 10).



**Figura 10: Componentes del sistema de captación de agua para la cisterna enterrada**  
 Fuente: Adaptado de CEPIS, 2001.

### 3.2.2 Edificio de Docencia 1

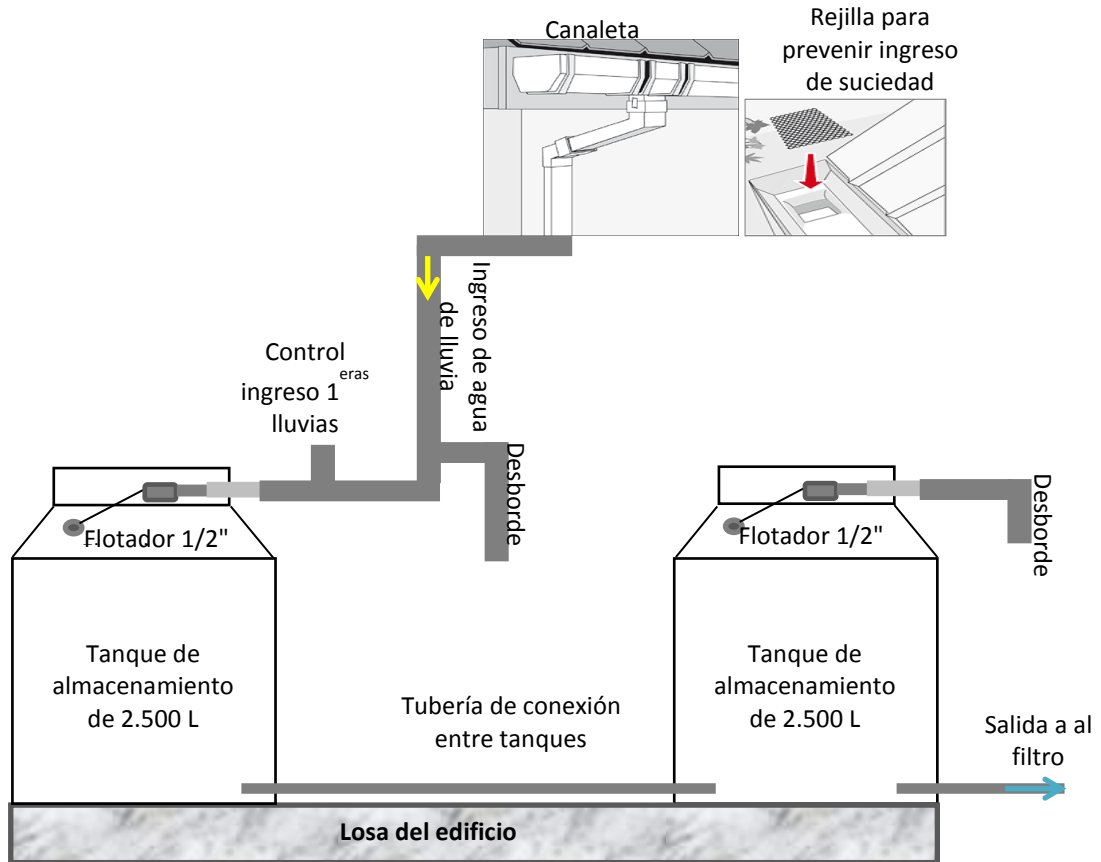
Sobre la losa del nuevo edificio, construido en la escuela Camilo Borja por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército, es necesario disponer de una cubierta con techo de lámina de zinc de (18,60 m x 6,50 m) 120,90 m<sup>2</sup> con canal recolector para la captación del agua de lluvia, para que luego esta sea distribuida por gravedad, sin necesidad de algún tipo de bombeo (ver Figura 11).



**Figura 11: Losa con cubierta de captación de agua de lluvia**  
 Fuente: Elaborada por la autora

El sistema de tuberías debe contar con un dispositivo para control de desbordes y de ingreso de primeras lluvias, el mismo que se mantiene con la posición hacia abajo durante las primeras lluvias, con la finalidad de prevenir el ingreso de suciedad al lavarse el techo, luego se gira manualmente hacia arriba, para permitir que el agua

captada se almacene en los tanques plásticos. Las cisternas estarían interconectadas entre sí para que todas tengan el mismo nivel de agua a la vez (ver Figura 12).

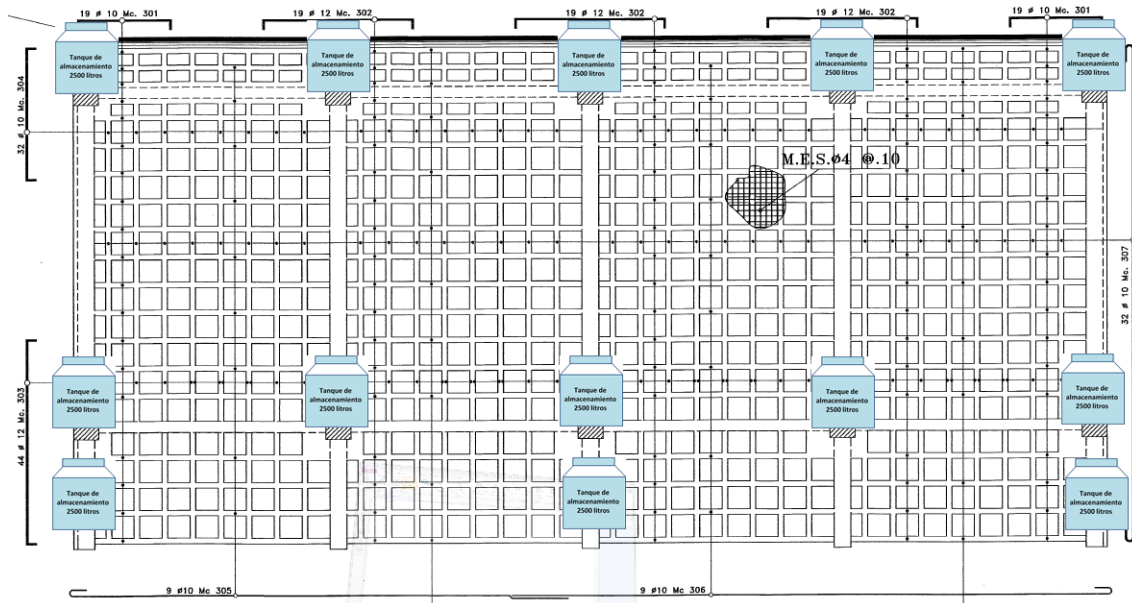


**Figura 12: Sistema de almacenamiento de agua en tanques elevados**

Fuente: Elaborada por la autora

Siendo el volumen de almacenamiento mínimo requerido de  $33,49 \text{ m}^3$  para dotar de  $0,73$  litros/persona/día de agua segura en la escuela Camilo Borja, se propone distribuir en la losa del edificio nuevo, 13 cisternas plásticas de 2.500 litros c/u para el almacenamiento de agua de lluvia (proforma de materiales básicos ver Anexo 6).

Para solventar los problemas de resistencia en la losa debido al peso, tanto de las cisternas como de la cubierta de captación, se sugiere realizar una distribución adecuada de las 13 cisternas plásticas sobre las vigas de cimentación de la losa del edificio, como se detalla en la Figura 13.



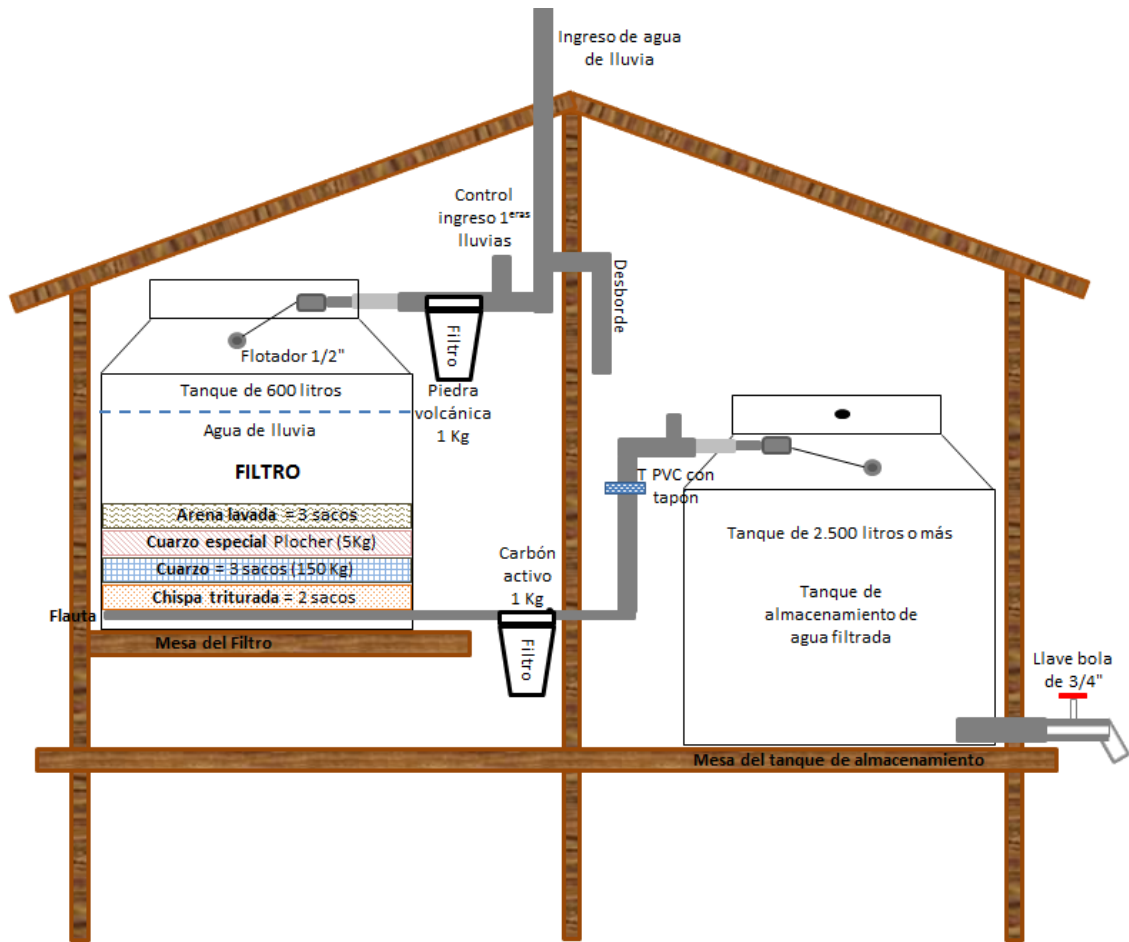
**Figura 13: Distribución de cisternas plásticas sobre la losa del edificio Docencia 1**  
 Fuente: Adaptada del plano de la Escuela Camilo Borja, proporcionado por la Arq. Noris Nazareno

El Arq. Eduardo Coime – Fiscalizador de la obra de rehabilitación de la escuela me informó que la losa resiste sin problemas un peso de hasta  $40 \text{ m}^3$ .

### 3.3 Sistemas de Tratamiento de Agua

#### 3.3.1 Filtro Lento de BioArena para depuración de agua de lluvia

Para la escuela Camilo Borja se propone un sistema en el que el agua de lluvia almacenada en los tanques plásticos distribuidos sobre la losa superior del nuevo edificio, entre primero en un tanque de 500 litros que filtre (remueva) las impurezas y luego del proceso sea almacenada en otra cisterna plástica de 2.500 litros o más, ver Figura 14.



**Figura 14: Sistema filtrador de agua de lluvia**

Fuente: UNICEF United Kingdom, Frente de Defensa de la Amazonía & Rainforest Foundation, 2010.

Los mayores porcentajes de remoción de bacterias patógenas se presentan después de un mes de la puesta en marcha del filtro, cuando se ha formado completamente una capa biológica natural (CAWSA, 2009), por lo que para consumir el agua, es importante esperar este tiempo y realizar un análisis de laboratorio, para verificar la calidad del agua y confirmar el correcto funcionamiento del filtro (UNICEF et al, 2010).

A continuación, en la Tabla 21 se presenta un listado básico de materiales para la construcción del filtro, en ella se cambia la capacidad del tanque de 600 litros donde funcionará el filtro, a 500 litros con referencia al presentado por UNICEF et al (2010), en vista de que es el que mejor se ajusta a lo que hay disponible en las casas comerciales de la localidad.

**Tabla 21: Materiales para construcción del sistema de filtración (depuración) de agua**

Parte	Cantidad	Material
Tanque	1	Plástico, de 500 litros (filtro)
Tanque	1	Plástico, de 2.500 litros (almacenamiento)
Tubos		PVC
Flotador	2	Plástico
Rejilla	1	Plástico
Flauta	1	PVCP
Filtro pequeño	2	Plástico, entrada y salida de 3/4"
Piedra volcánica	1Kg	12-16 mm diámetro
Carbón activo	1 Kg	3-6 mm diámetro
Arena fina de río lavada	220 Kg	O como alternativa 150 Kg de cuarzo fino
Cuarzo de mina lavado y cernido	100 – 150 Kg	0,4 – 1 mm diámetro (2 a 3 sacos)
Cuarzo especial Plocher	5 Kg	
Chispa fina triturada y lavada	100 Kg	3 – 10 mm diámetro (2 sacos)

Fuente: UNICEF United Kingdom, Frente de Defensa de la Amazonía & Rainforest Foundation, 2010.

Debido a la cercanía de la escuela Camilo Borja con industrias como la Refinería Estatal PETROECUADOR y TermoEsmeraldas (ubicadas a una distancia aproximada de 2 Km), y a que está rodeada por arterias viales de un intenso y permanente tráfico vehicular, es muy probable que se tengan índices elevados de contaminación atmosférica; por lo que, una vez puesto en marcha el filtro, luego de dos a tres meses de su funcionamiento, mediante resultados de pruebas de laboratorio es preciso determinar si es o no necesaria la instalación de filtros especiales adicionales, que permiten reducir TPHs (Hidrocarburos totales de petróleo) y metales pesados (plomo, cadmio, mercurio), para lo cual se instala un pequeño filtro de piedras volcánicas con catalizadores antes de la entrada del agua de lluvia al tanque y otro filtro de carbón activo a la salida del filtro hacia el tanque de reserva. (UNICEF et al, 2010).

El estudio de UNICEF recomienda implementar los filtros adicionales en zonas en las que la contaminación es muy intensa y el diseño “tradicional” del filtro no cumpla los límites permitidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (parámetros físico-químicos, bacteriológicos, de concentración de metales pesados o hidrocarburos) (UNICEF et al, 2010).

Los filtros especiales de carbón activo y piedras volcánicas están diseñados para reducir los contaminantes en porcentajes de:

- Entre 60 y 80% de la contaminación por TPHs<sup>3</sup>
- Entre 60 y 80% de metales pesados como: hierro, plomo, cadmio, cromo, mercurio, etc.
- 99.9% de la contaminación bacterial (coliformes totales y fecales)

Sin embargo, el Sr. Qf. Carlos Montaña – Docente de la PUCESE recomienda la desodorización del agua por medio de una capa de carbón activado que cubra el mismo diámetro del filtro de arena, lo cual mejoraría el caudal final y emplear radiación ultravioleta al agua de lluvia almacenada, como mecanismo seguro de desinfección (C. Montaña, entrevista personal, 01 de agosto de 2014).

### **3.3.1.1 Operación, mantenimiento y seguimiento del filtro lento de bioarena**

Las actividades de mantenimiento del sistema de captación y del filtro lento de bioarena se deben asignar las dos personas que realizan las funciones de “Auxiliar de Servicios” en la escuela Camilo Borja y la manipulación del tanque de almacenamiento que almacena el agua filtrada, a la persona responsable de la cocina.

Una parte clave del filtro BioArena es la formación, de una película biológica en la parte superior de la capa de arena fina, que a más de destruir activamente contaminantes (al consumir bacterias y otros patógenos), actúa como una barrera física al atrapar partículas suspendidas, protozoos y helmintos. Esta capa necesita humedad, oxígeno y un suministro de nutrientes para permanecer activa (Doerr y Lehmkuhl, 2001).

Los nutrientes son proporcionados por las partículas en suspensión, al ser colonizadas. A fin de proporcionar humedad, la salida del filtro se coloca al menos 2,5 cm por encima de la capa de arena, de manera que el nivel del agua nunca baje más allá de éste

---

<sup>3</sup> TPHs o Hidrocarburos Totales de Petróleo.- Gran familia de varios cientos de compuestos químicos originados de petróleo. Debido a que hay muchos, se mide la sustancia química o una mezcla de ellas en cantidad total de TPH e incluyen: hexano, combustibles de aviones de reacción, aceites minerales, benceno, tolueno, xilenos, naftalina y fluoreno, como también otros productos de petróleo y componentes de gasolina.

nivel. Y para suplir oxígeno, el nivel de la salida del filtro no debe superar los 5 cm por encima de la capa de arena (Doerr y Lehmkuhl, 2001).

En algunos tipos de filtros lentos esta capa biológica toma de una a tres semanas para desarrollarse en un nuevo filtro o para restablecerse si es perturbada. Para nuestro estudio se considera el tiempo de un mes. Nunca se debe colocar cloro dentro del filtro; si se lo hace, morirá la biocapa.

El éxito en el funcionamiento del filtro se encuentra en controlar adecuadamente la velocidad de filtrado, la cual debe ser 0,40 litros/minuto en el momento de la instalación del filtro (CAWST, 2009). La velocidad del flujo está influenciada por la cantidad de lavadas realizadas a la arena fina para limpiarla y el tipo de reducción utilizada. Si no se colocara una restricción a la salida del filtrado, el caudal que pasaría por el filtro podría ser muy alto y no cumpliría con el requisito de velocidad. La restricción adecuada se logrará con un método de prueba y error, colocando los materiales y luego midiendo los caudales que se filtren.

Para la puesta en marcha del filtro, primeramente es necesario desechar el agua de las primeras tres lluvias, durante las cuales el filtro debe tener la llave abierta, debido a que esta agua lavará los componentes del sistema de cualquier impureza que haya en ellos, reducirá daños en la llave e incluso se llevará también cualquier sabor desagradable (como el de la arena, el pegamento) que pueda haber en la superficie de los materiales (UNICEF et. al, 2010). También, al iniciar cada temporada invernal es necesario desechar el agua filtrada de las primeras lluvias, debido a que esta agua lavará las impurezas del techo, canaletas y tuberías.

Transcurrido un mes, es necesario efectuar un análisis de laboratorio, mediante el cual se verificará la calidad del agua y el correcto funcionamiento del filtro. Luego de dos a tres meses se determina si es o no necesaria la instalación adicional de los filtros especiales. Se sugiere realizar controles periódicos mediante análisis de laboratorio para asegurar que el agua filtrada es apta para el consumo, por lo que la escuela podría hacer un convenio con el Ministerio de salud.

Debido a que una vez puesto en marcha el sistema, el filtro opera en forma automática, los componentes siempre deben permanecer limpios y cerrados. Es necesario restringir el acceso, de manera que no pueda ser fácilmente manipulado por el público en general, sino únicamente por los operadores responsables de su manipulación y mantenimiento.

Mantener el filtro protegido del polvo y de la luz solar, mantener siempre limpia la salida del filtro. Para acceder al agua se deben utilizar envases limpios, para evitar su contaminación. Es muy importante eliminar la basura de forma higiénica y conservar los ambientes en los que se usa el agua, lo más limpios posible (cocina, aulas). Esto mejorará la higiene y la salud de las personas. (UNICEF et. al, 2010).

Con el tiempo, la parte superior de la capa de arena fina se obstruirá con sedimento o desechos, por lo que es preferible realizar el mantenimiento del filtro cada seis meses o una vez al año como mínimo. Esta necesidad se evidencia al observar la disminución de la velocidad con que pasa el agua por el material filtrante. Se sugiere medir la velocidad de flujo del agua; si es menor de 0.10 litro/minuto, hay que efectuar el mantenimiento. Para limpiar el filtro es necesario retirar la capa de arena fina (sin mezclar las capas de relleno), para proceder a lavarla con agua limpia hasta que no queden más desechos, una vez lavada perfectamente, se coloca nuevamente en el filtro, o también puede reemplazarse con nuevo material limpio. Este proceso altera la composición de la biocapa.

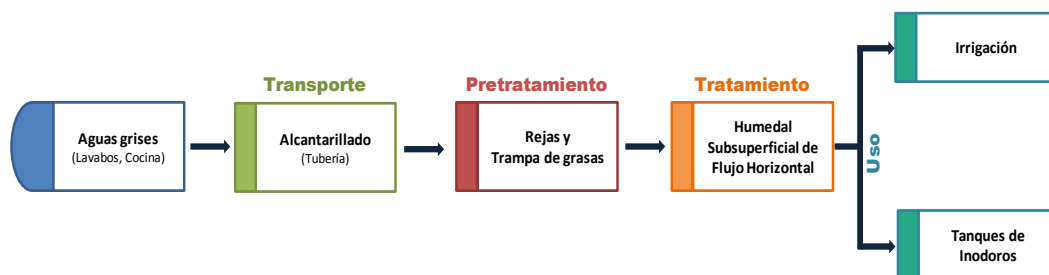
También se necesita limpiar con regularidad (por lo menos una vez al mes), utilizando agua limpia, detergente y una solución de cloro: el contenedor de almacenamiento, la llave de salida, las tapas y las superficies externas de los tanques. El período de pausa debe ser de mínimo 1 hora después de que el agua ha dejado de fluir hasta un máximo de 48 horas. (CAWST, 2009).

Dependiendo de la zona en que se coloca, y de la mayor o menor contaminación que ésta sufra, el sistema puede durar sin mayor mantenimiento entre tres y cinco años. Después de eso, requerirá ser abierto para cambiar los filtros y el catalizador. Con buen mantenimiento, la duración de los tanques podría alcanzar hasta veinticinco años (UNICEF et al, 2010).

### 3.3.2 Tratamiento de aguas grises en la escuela Camilo Borja

La depuración de aguas residuales en humedales artificiales (biofiltros) se da fundamentalmente debido a procesos biológicos asociados con las raíces de las plantas y el medio granular.

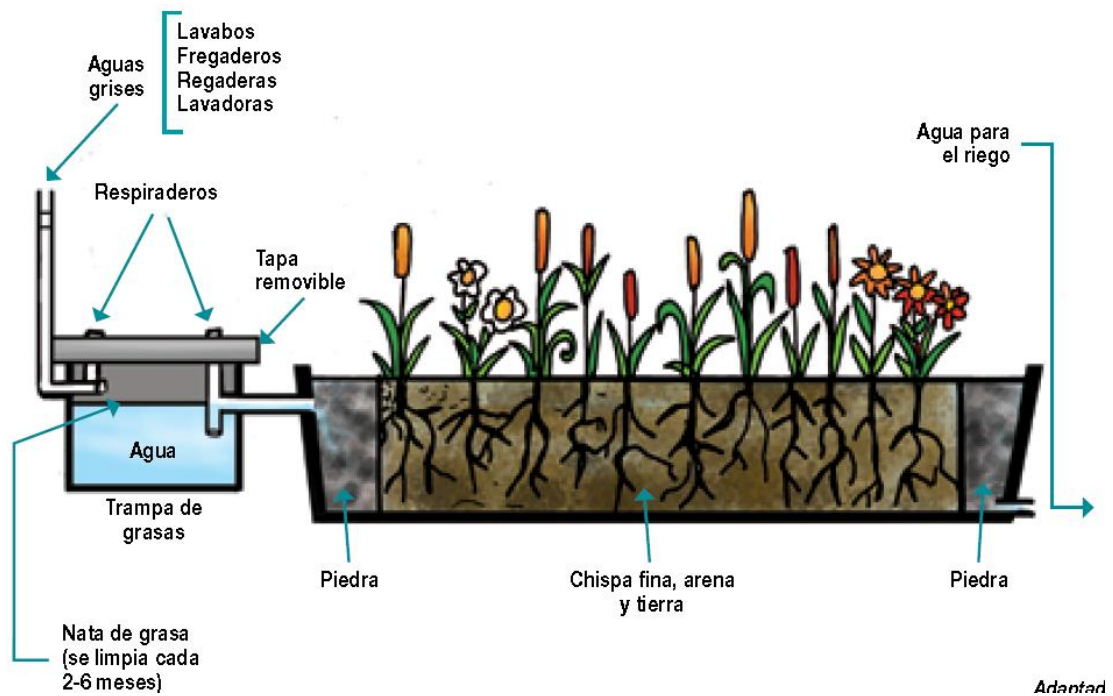
Al ser un sistema que no requiere energía y a la vez es económico y fácil de operar y mantener en comparación con plantas de tratamiento convencionales, para tratar las descargas de aguas grises que provienen de la cocina y de los lavamanos, se propone implementar en la escuela Camilo Borja un Humedal Subsuperficial de Flujo Horizontal, además debido a que presenta ciertas ventajas con respecto al Humedal Artificial Superficial, al necesitar menos superficie de terreno para su ubicación y al evitar los problemas de aparición de olores y de mosquitos. A continuación se presenta un esquema general del sistema (ver Figura 15).



**Figura 15: Esquema del sistema de tratamiento de aguas grises**

Fuente: Adaptado de Tilley et al, 2011

Considerando que la unidad educativa cuenta con espacios destinados a áreas verdes se puede integrar el Humedal Artificial en estos sitios porque es un sistema agradable a la vista (ver Figura 16).

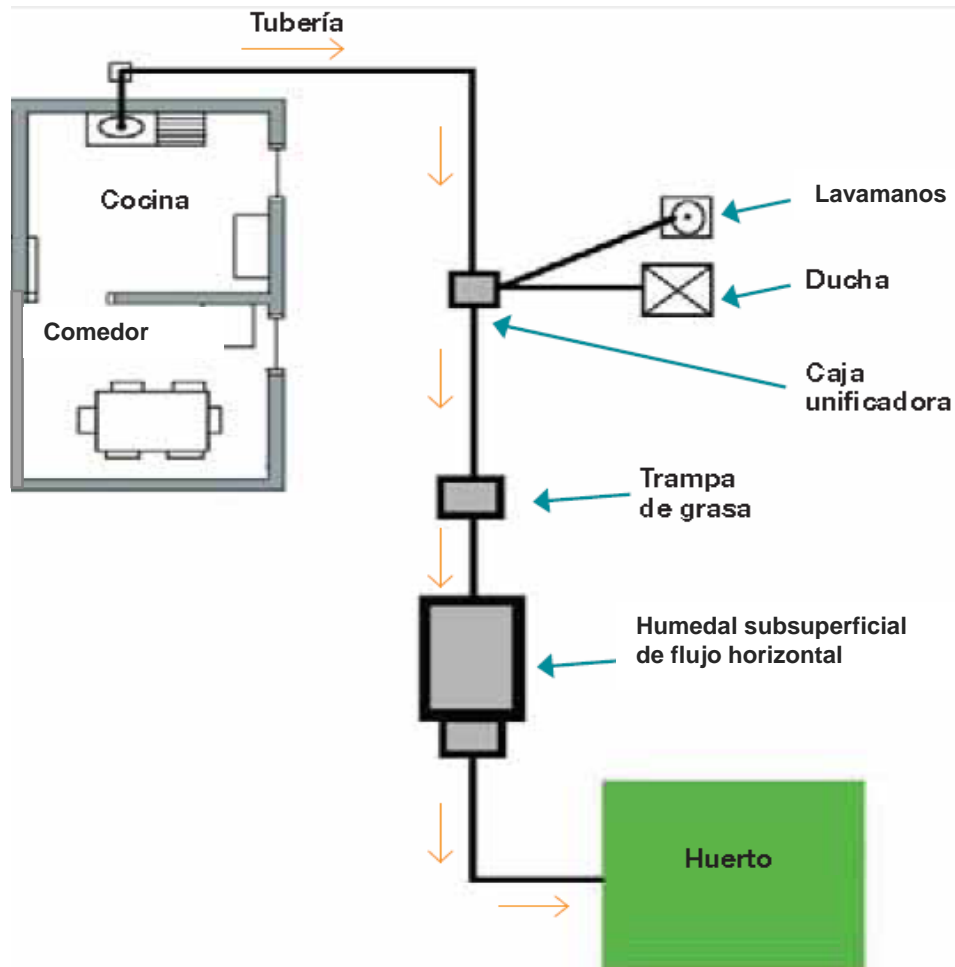


**Figura 16: Humedal subsuperficial de flujo horizontal con trampa de grasas**

Fuente: MIDUVI y ONU-Habitat, 2013.

El sistema de tratamientos de aguas grises estará conformado por (ver Figura 17):

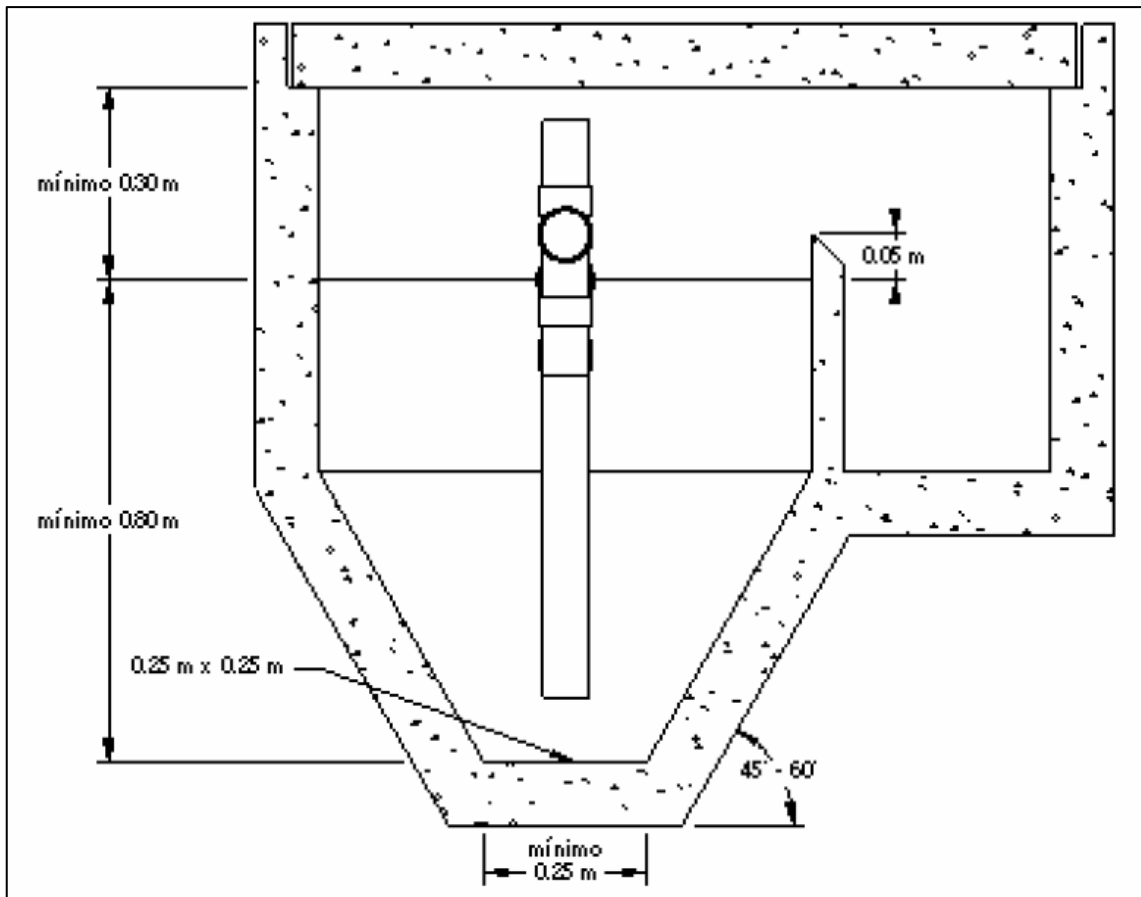
- Alcantarillado: El agua residual desde la cocina y lavamanos es conducida al sistema de tratamiento a través de tuberías de PVC.
- Pre-tratamiento: Constituido por rejillas y trampa de grasas:
- Tratamiento: Conformado por el Humedal Subsuperficial de Flujo Horizontal.



**Figura 17: Componentes del sistema de tratamiento de aguas grises**  
 Fuente: Adaptada de MIDUVI y ONU-Habitat, 2013.

### 3.3.2.1 Trampa de grasas

Una trampa de grasas es un medio de remoción del material graso de las aguas residuales de establecimientos en donde se preparen y expendan alimentos, así como de lavanderías; puede ser construida de metal, ladrillos y concreto, de forma rectangular o circular (CEPIS, 2003). Se integra al sistema de tratamiento de aguas grises propuesto en la presente investigación debido a que cumple con las funciones de retener las grasas, que forman una nata en la superficie del agua, y sedimentar los sólidos, que se asientan en el fondo, evitando que la biojardinera se tapone (ver Figura 18).



**Figura 18: Trampa de grasa con depósito de acumulación de grasa**  
Fuente: CEPIS, 2003.

Hay que considerar el evitar utilizar las cañerías para el vertido de sustancias tóxicas como: pinturas, lejías, aceites, etc. porque afectarían tanto a los microorganismos como a las plantas que son vitales en el buen funcionamiento del humedal artificial (guía de diseño de una trampa de grasas ver Anexo 7).

### 3.3.2.2 Humedal Subsuperficial de Flujo Horizontal

El Humedal Subsuperficial de Flujo Horizontal (HSFH) es un canal grande relleno con grava y arena donde se planta vegetación que resiste condiciones de alta humedad. Al fluir horizontalmente las aguas residuales por el canal, el material filtra partículas y microorganismos y degrada el material orgánico.

El tamaño de un humedal depende de la cantidad de efluente que va a entrar y de la cantidad de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) que se necesita reducir. En

general, 1 m<sup>3</sup> de humedal puede procesar cerca de 135 litros de aguas grises (Jenkins 2005). Para determinar un tamaño más preciso en especial de sistemas grandes ver Anexo 8 que detalla los cálculos de acuerdo a Crites & Tchobanoglous (1998).

La eficiencia de eliminación del humedal depende de la superficie (longitud multiplicada por ancho), mientras que el área transversal (ancho por profundidad), determina el máximo flujo posible (Tilley et al, 2010).

En nuestro caso, se sugiere construir un humedal de dimensiones: 0,70 m de profundidad, 1,68 m de anchura y 6,73 m de longitud, resultando en un área total de 11,31 m<sup>2</sup>. Para lo cual se construye el lecho del humedal (excavando un foso de 1 m de profundidad) con paredes inclinadas en un ángulo de 45°, un gradiente de inclinación de 0,5% y se recubre el fondo con una fundición de hormigón de manera que quede impermeabilizado (ver Figura 19).



**Figura 19: Estructura del Humedal subsuperficial de flujo horizontal**  
Fuente: Yocum, 2005.

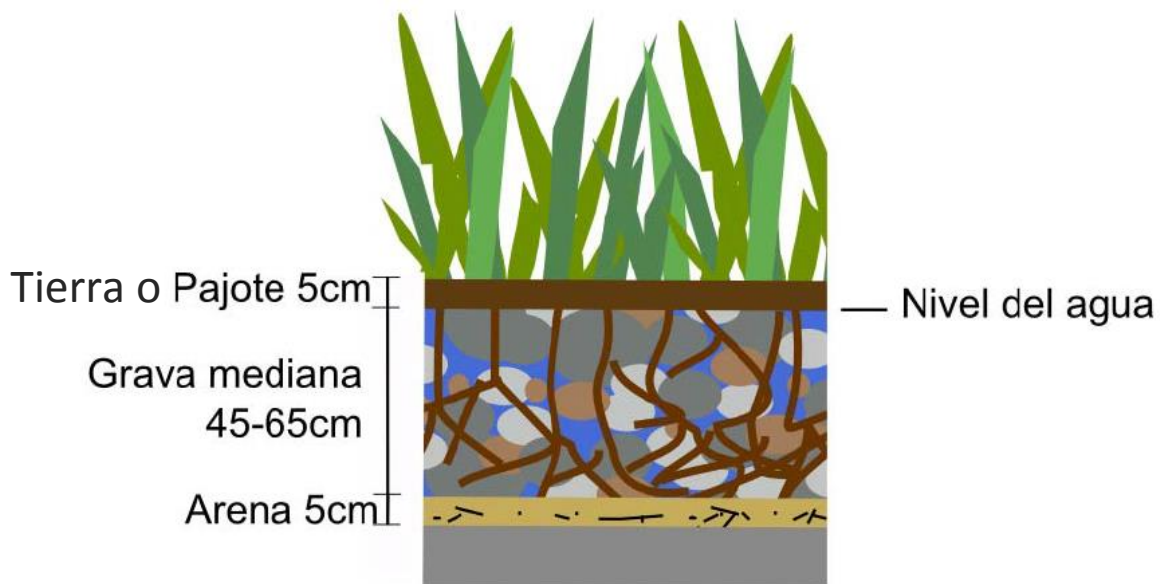
Para que sea efectiva en un 100% la distribución del flujo de agua residual en el humedal artificial, ésta debe ser uniforme en toda la superficie. Para lo cual se divide en trenes de tratamiento paralelos con celdas para proporcionar flexibilidad de manejo y mantenimiento (APA, 2000).

## Ingreso

Está conformado con piedra bola o piedras de tamaño pequeño (entre 10 y 15 cm) que sirven para la distribución del agua. El sector medio se adentra aproximadamente un metro dentro del filtro y ocupa todo el ancho del lecho. Sobre él o en la parte superior de la superficie, descansa el tubo de ingreso de las aguas grises a tratar.

## Medio Filtrante

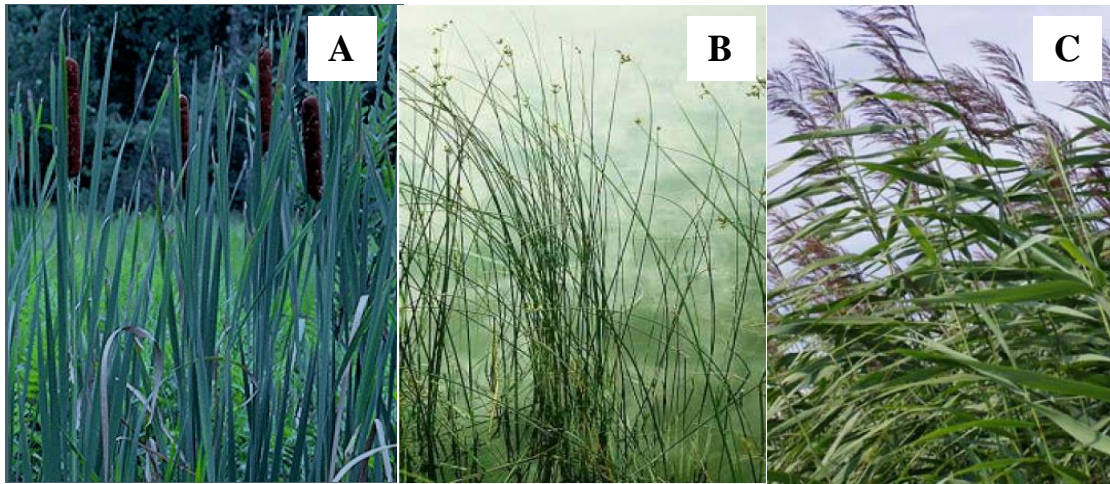
Construido por una mezcla de arena, tierra y material orgánico en proporciones de 4:1:3 respectivamente, asegurándose de que tenga la consistencia necesaria (ligera, esponjosa y homogénea) para favorecer el crecimiento de las raíces de las plantas y debe también permitir el paso del agua. Capa delgada (5 cm) de arena cubierta por una capa gruesa (45-75 cm) de grava de tamaño pequeño-medio y una capa delgada (5 cm) tierra (ver Figura 20).



**Figura 20: Sección transversal de celda del Humedal subsuperficial de flujo horizontal**

Fuente: Yocum, 2005.

La planta que más se puede utilizar en la zona es la *Phragmites australis*, conocida comúnmente como caña de “carrizo” (ver Anexo 9), también se puede usar el *Echinoquia polistachyos* (pasto alemán) o plantas decorativas tolerantes a la humedad, ejemplos en la Figura 21.



**Figura 21: Plantas tolerantes a la humedad**  
**A: Totoras, B: Juncos y C: Césped común de caña**  
 Fuente: Yocum, 2005.

En las instalaciones del ECU 911 podemos apreciar el desarrollo de un papiro (*Cyperus papyrus*), ver Figura 22.



**Figura 22: Cultivo de papiro en ECU 911 de Esmeraldas**  
**A: Parte frontal y B: Lateral derecha con cultivo de papiro**  
 Fuente: Fotografías tomadas por la autora

## **Salida**

Conformada por grava gruesa (con piedrines de entre 2 y 4 cm) y se encuentra localizada al final del lecho o canal en el extremo opuesto al ingreso. La salida de agua

se recupera en la parte baja al final del filtro por lo que se coloca la tubería de recolección hasta el fondo, debajo de la grava.

El agua tratada en el sistema puede ser utilizada para riego en los espacios verdes de la escuela Camilo Borja o reutilizarla para descarga en los tanques de los inodoros. Se considera que para el riego de 1 m<sup>2</sup> se necesitan 25 litros de agua a la semana.

La arena debe cumplir con los requisitos señalados en la norma técnica ecuatoriana INEN 2149:2013 “Agua. Medios filtrantes granulares utilizados en el tratamiento de aguas. Requisitos”

A continuación un listado de los principales materiales utilizados generalmente en la construcción del humedal de flujo subsuperficial y sus características (ver Tabla 22).

**Tabla 22: Materiales para construcción de humedal de flujo subsuperficial**

Tipo de medio	Tamaño efectivo D <sub>10</sub> (mm)*	Porosidad, n (%)	Conductividad hidráulica, k <sub>s</sub> (pie <sup>3</sup> /pie <sup>2</sup> /d)*
Arena gruesa	2	28 a 32	300 a 3,000
Arena con grava	8	30 a 35	1,600 a 16,000
Grava fina	16	35 a 38	3,000 a 32,000
Grava mediana	32	36 a 40	32,000 a 160,000
Roca triturada	128	38 a 45	16 x 10 <sup>4</sup> a 82 x 10 <sup>4</sup>

\* mm x 0.03937 = pulgadas

\*\* pie<sup>3</sup>/pie<sup>2</sup>/d x 0.3047 = m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d, o, x 7.48 = galones/pie<sup>2</sup>/d

Fuente: APA, 2000.

### 3.3.2.3 Operación y mantenimiento del Humedal Subsoperficial de Flujo Horizontal

Las actividades de mantenimiento se deben asignar las dos personas que realizan las funciones de “Auxiliar de Servicios”, las mismas que se deben enfocarse en asegurarse de que el tratamiento primario sea efectivo, al reducir la concentración de sólidos en las aguas residuales antes de entrar en el humedal. Específicamente se requiere de las siguientes actividades básicas de operación y mantenimiento (ver Tabla 23):

**Tabla 23: Actividades de operación y mantenimiento del Humedal Subsuperficial de Flujo Horizontal**

<b>Actividad</b>	<b>Acciones Claves</b>
Remover el material sólido retenido en las rejillas.	Revisión diaria de las rejillas, observando la presencia de material sólido que ingresa a la planta de tratamiento de aguas grises.
Retiro de sedimentos en el canal de ingreso al humedal.	Revisión mensual del canal de ingreso al humedal observando la presencia y cantidad de material sólido sedimentado.
Medición y control de caudales	Medición diaria de caudales, controlando el nivel de agua en la regla de aforo ubicada en la cámara de regulación.
Análisis de laboratorio	Mensualmente verificar mediante análisis de laboratorio los valores de contenido en el agua principalmente de: coliformes totales y fecales, estreptococos fecales, DBO, DQO, pH, turbiedad y conductividad.
Retiro de material flotante (espumas y grasas) en la trampa de grasas	Limpieza regular de la capa superior flotante de la trampa de grasas.
Retiro de lodos en la trampa de gradas	Limpieza regular de los lodos sedimentados en la trampa de grasas.
Corte o podado de las plantas acuáticas	Realizar tareas de corte y retiro de material vegetal del humedal en forma periódica, dependiendo del ciclo natural de la especie sembrada.
Medición de la pérdida de carga en el filtro	Medir el nivel de agua en la cámara de salida del humedal.
Verificación del estado de la verja o cerco de protección del humedal	Mantenimiento y/o reposición de cercas, instalación de protección contra el ingreso de animales y/o personas extrañas.

Fuente: Adaptada de MMAyA, 2005.

El mayor problema que presenta el humedal es la colmatación del sustrato, sobre todo en la zona de entrada. Para solucionar los problemas de encharcamiento del humedal, se recomienda la acomodación de la tubería de captación de los efluentes drenados; se establece un periodo de vigilancia de 1 mes observando si el nivel de inundación disminuye. De acuerdo a la respuesta del sistema, se procede o no a la suspensión de la alimentación durante 3 semanas; durante este tiempo, el material adherido a la grava se seca y se limpia naturalmente. La aplicación de esta actuación, depende del grado de obstrucción del medio filtrante (Forero, 2009).

Con el tiempo se taponará la grava con los sólidos y la capa bacterial. El material del filtro puede requerir reemplazo entre los 8 y 15 años, o más (Tilley et al, 2010).

Pueden seleccionarse las siguientes opciones para tratar los lodos obtenidos del mantenimiento periódico de la trampa de grasas y el material del humedal retirado al

cumplir la vida útil, con la finalidad de remediar los pasivos ambientales del proyecto (C. Montaña, entrevista personal, 01 de agosto de 2014):

1. Contratar a un gestor autorizado de la localidad o
2. Establecer acuerdos mediante los cuales el Estado se compromete a través del recolector municipal u otra entidad al retiro, tratamiento y disposición de final de los residuos peligrosos, preferiblemente destinados a un relleno sanitario o a una escombrera pasiva.

### **3.4 Educación Ambiental**

El estudio del agua en la educación primaria permite fortalecer en el alumnado las actitudes, conductas y los valores asociados al uso adecuado del recurso, por lo que se propone llevar adelante un Programa de Educación Ambiental dirigido a estudiantes de 9<sup>no</sup> y 10<sup>mo</sup> año de Educación General Básica de la escuela Camilo Borja con el objetivo de promover y sensibilizar en los educandos una conciencia ambiental a favor del recurso e involucrar a los estudiantes y docentes en la protección del agua y a través de ellos, incentivar a la comunidad a participar en el proceso.

Los temas que se detallan en el Programa de Educación Ambiental propuesto en la presente investigación aportan diseños de secuencias didácticas que permiten a los docentes profundizar, especialmente los temas descritos en los libros de Ciencias Naturales de 9<sup>no</sup> y 10<sup>mo</sup> año de Educación Básica, a lo largo del desarrollo del currículo.

#### **3.4.1 Noveno año de Educación General Básica**

El programa se desarrolla gradualmente a medida en que se avanza en los contenidos del Bloque 3 – “El agua, un medio de vida” del libro de Ciencias Naturales.

#### **Propósito del programa**

Diferenciar los recursos naturales renovables de los no renovables para contribuir a su uso racional

## **Objetivos específicos**

- Conocer los beneficios de beber agua segura
- Enumerar las funciones del agua en el organismo
- Aplicar medidas de purificación del agua para evitar enfermedades y
- Valorar el agua como recurso indispensable para los seres humanos y demás seres vivos. Debido a la contaminación de los recursos hídricos a nivel mundial.

## **Temas**

- El agua, recurso vital
- Función del agua en el organismo
- Medidas de prevención de enfermedades por consumo de agua contaminada
  - Procedimientos para potabilizar o tratar el agua
- Filtros de agua
- Principales fuentes de contaminación del recurso agua

## **Material Básico**

- Libro de Ciencias Naturales de 9<sup>no</sup> año de Educación General Básica
- Unidad I de la publicación de la FAO (2009). “Guía de Capacitación para Docentes de las Escuelas de Educación Básica TCP/DOM/3101”, Proyecto Educación Alimentaria y Nutricional en Escuelas de Educación Básica – Segundo Ciclo. Santo Domingo, República Dominicana.
- Apartado “4.10 Filtros de Agua” del Capítulo 4 – El Agua de la publicación de UNESCO – PNUMA (1997). Actividades de Educación Ambiental para las Escuelas Primarias, Sugerencias para confeccionar y usar equipo de bajo costo. Santiago – Chile.

### **3.4.2 Décimo año de Educación General Básica**

Los temas propuestos se desarrollan a medida en que se avanza en los contenidos del Bloque 3 – “El agua, un medio de vida” y el Bloque 4 – “El Clima, un aire siempre cambiante” del libro de Ciencias Naturales.

#### **Propósitos del programa**

- Asumir actitudes tanto individual como colectivamente en la defensa de la vida y el ambiente utilizando normas y leyes reguladoras para su protección, procurando soluciones que impidan su contaminación y degradación.
- Identificar las principales sustancias químicas utilizadas en la industria, la agricultura y la vida cotidiana que dañan la salud y el ecosistema; así como proponer medidas para su racionalización o eliminación.
- Practicar medidas sanitarias y de salubridad para evitar enfermedades infecto-contagiosas.

#### **Objetivos específicos**

- Conocer los diferentes formas de contaminación ambiental, cómo se producen, efectos nocivos y métodos para controlarla.
- Comprender los riesgos de la contaminación ambiental por efecto de residuos sólidos, aire y agua contaminada y por sustancias tóxicas.
- Aplicar medidas para prevenir y/o controlar la contaminación del ambiente.
- Conocer diferentes tipos de enfermedades causadas por agua y alimentos contaminados y sus riesgos.
- Aplicar medidas para preparar, servir y manipular higiénicamente el agua y alimentos.

#### **Temas**

- Manejo de la basura
- Contaminación del suelo
- Contaminación del agua

- Contaminación del aire
- Medidas para evitar la contaminación ambiental
- Enfermedades que afectan al ser humano
  - Enfermedades causadas por agua
  - Enfermedades causadas por alimentos
  - Control de vectores (bacterias, virus, parásitos, insectos)

### **Material Básico**

- Libro de Ciencias Naturales de 10<sup>mo</sup> año de Educación General Básica.
- Unidad III y IV de la publicación de la FAO (2009). “Guía de Capacitación para Docentes de las Escuelas de Educación Básica TCP/DOM/3101”, Proyecto Educación Alimentaria y Nutricional en Escuelas de Educación Básica – Segundo Ciclo. Santo Domingo, República Dominicana.
- Apartados: “4.1 El ciclo del agua en miniatura”, “4.2 El agua bajando” y “4.3 El agua subiendo” del Capítulo 4 – El Agua de la publicación de UNESCO – PNUMA (1997). Actividades de Educación Ambiental para las Escuelas Primarias, Sugerencias para confeccionar y usar equipo de bajo costo. Santiago – Chile.
- Video educativo “La Historia de las cosas”
- Video educativo “La lata, el río y el aire”
- Video educativo “El ciclo del agua”  
<http://www.youtube.com/watch?v=04RPGZzB84I>

### 3.5 Discusión

Debido a que al iniciar la investigación ya se había realizado la contratación de obras civiles, no fue considerada inicialmente alguna de las tecnologías alternativas en el presupuesto para la unidad educativa, además por problemas de falta de pago a tiempo por parte del Cuerpo de Ingenieros del Ejército a la Arq. Noris Nazareno – Contratista encargada de la rehabilitación de la escuela Camilo Borja, no fue posible implementar los sistemas que integran la propuesta; por lo que esta investigación queda como una propuesta modelo.

El sistema de captación de agua de lluvia, aunque se instalara en todos los techos de los edificios que conforman la escuela Camilo Borja, no llega a cubrir lo que determina el Código de Práctica Ecuatoriano CPR INEN 5 Parte 9.2:1997 referente a la cantidad mínima de agua necesaria según su uso, debido a que la demanda promedio para la entidad es de 424,55 m<sup>3</sup> y la oferta máxima de agua de lluvia, que se alcanza en el mes de febrero, es de apenas 81,37 m<sup>3</sup>, por lo que se trabajó en base a la demanda de agua segura que es cubierta actualmente en la escuela Camilo Borja; es decir con el volumen real de agua que se consume a través de la compra de bidones y a la capacidad de la cisterna.

Debido a la probable contaminación atmosférica en el sector no es posible considerar el uso del agua de lluvia captada en el diseño propuesto en esta investigación para beber/cocinar sin que antes se hayan efectuado estudios minuciosos que determinen la calidad del aire y se verifique el funcionamiento eficiente de un sistema de potabilización.

Se determinó que el volumen de almacenamiento mínimo requerido para satisfacer el consumo durante los meses de Febrero a Septiembre, con una dotación de 0,73 litros/persona/día es de 33,49 m<sup>3</sup>, presentándose un déficit de agua de lluvia en los meses de octubre, noviembre, diciembre y enero; por lo que con el agua de lluvia captada en la losa del edificio nuevo se logra cubrir la demanda mensual de agua segura para beber (3,80 m<sup>3</sup>) de 8 meses del año, desde febrero hasta Septiembre. Mientras que por 7 meses el sistema aporta con más del 50% (13,40 m<sup>3</sup>) de la oferta necesaria para cubrir la demanda de agua segura para beber y/o cocinar (26,80 m<sup>3</sup>), pudiendo en el

periodo de marzo a junio cubrirla en su totalidad. Con lo cual se consigue un ahorro en el consumo de agua potable y en la economía de los estudiantes, así como el mejoramiento significativo de la calidad de vida de las personas que desarrollan sus actividades en ésta institución, al disponer de agua de manera más regular.

En consideración a que las instituciones públicas generalmente presentan un déficit en su presupuesto económico, se escogieron tecnologías alternativas para la captación de agua de lluvia y tratamiento de aguas grises en la escuela Camilo Borja, para complementar el sistema actual de abastecimiento de agua potable y ayudar a solventar en parte la demanda. Durante la investigación se pudo apreciar que el sistema de captación de agua de lluvia, el filtro lento de bioarena para depuración de agua y el humedal subsuperficial de flujo horizontal, pueden ser construidos con materiales y personal disponible localmente, además de que no requieren el uso de energía eléctrica para su funcionamiento. Aunque el sistema de captación de agua de lluvia es mucho más ventajoso en zonas donde existe mayor precipitación y una excelente calidad del aire, como por ejemplo zonas rurales.

El filtro lento de bioarena, con la instalación de dos filtros especiales, ofrece una alternativa al problema de contaminación del agua de lluvia, por la probable afectación de la baja calidad del aire debido a la cercanía de la escuela con industrias como la Refinería Estatal PETROECUADOR y TermoEsmeraldas, además de un permanente tráfico vehicular. Sin embargo el Sr. Qf. Carlos Montaña – Docente de la PUCESE sugiere adaptarlo adicionalmente con una capa de carbón activado, con el propósito de desodorizar; pero, el aspecto de acidez debe ser considerado como un parámetro de calidad debido a que, de acuerdo al diseño del filtro propuesto en esta investigación no lo puede cumplir. Y adicionalmente, emplear radiación ultravioleta para mayor eficiencia (C. Montaña, entrevista personal, 01 de agosto de 2014).

El humedal subsuperficial de flujo horizontal se ajusta más adecuadamente al área de estudio porque presenta ciertas ventajas con respecto al humedal de flujo superficial, al necesitar menos superficie de terreno para su ubicación y al evitar los problemas de aparición de olores y de mosquitos.

### **3.6 Conclusiones y Recomendaciones**

Se determinó el diseño de un sistema de captación de agua de lluvia adaptado en el techo de tres edificaciones de la escuela Camilo Borja, en combinación con la utilización de una cisterna enterrada de concreto y trece tanques plásticos elevados en la losa de uno de los edificios y el tratamiento de aguas grises con un humedal artificial.

El sistema de captación que utiliza tanques elevados puede ser replicado en el resto de los treinta y tres establecimientos educativos reparados por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército, incluidos en el “Programa de Compensación Social para los barrios aledaños a la Refinería de Esmeraldas”, desarrollado por a la Gerencia de Seguridad, Salud y Ambiente de la Empresa Pública de Hidrocarburos del Ecuador – EP PETROECUADOR, debido a que la infraestructura sobre la cual se instalaría el sistema es básica. Así como también puede implementarse en otros centros educativos y/o de salud, tanto urbanos como rurales de la provincia, que posean similares características estructurales.

Es necesario hacer un estudio amplio sobre la contaminación del agua de lluvia para conocer la gravedad e impacto del problema atmosférico en la zona, sobre todo por los Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPHs) e Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs – antraceno, pireno, fenantreno, benzopirenos), debido a que, sobre todo la presencia de estas últimas sustancias en mención, que provienen exclusivamente de las fases de explotación y refinación petrolera, en concentraciones tan bajas como 28 nanogr/litro equivale a un riesgo de 1 caso de cáncer por cada 100.000 personas. Se recomiendan realizar investigaciones que permitan verificar y determinar los parámetros necesarios para el funcionamiento eficiente de un sistema de potabilización de agua de lluvia con la utilización de filtros biológicos.

Se propone adaptar el diseño del filtro lento de bioarena presentado en esta investigación agregando una capa de carbón activado y emplear radiación ultravioleta como mecanismo seguro de desinfección (C. Montaña, entrevista personal, 01 de agosto de 2014).

Considerando la vida útil de 25 años del sistema de captación de agua de lluvia con tanques elevados y el filtro lento de bioarena, el diseño se considera viable en términos económicos, con un inversión aproximada de \$ 20.000,00 (incluye mano de obra y mantenimiento) por una oferta anual de 77,05 m<sup>3</sup> de agua y supone un ahorro respecto al actual sistema de pago de los alumnos por el acceso a agua segura para beber a través de la compra de bidones cuyo costo resulta en \$ 57.000,00 (\$ 190 x 12 meses x 25 años) por una dotación anual de 45,6 m<sup>3</sup> de agua.

Para el tratamiento de aguas grises se recomienda implementar un humedal subsuperficial de flujo horizontal debido a que es adecuado para climas cálidos, necesita menos superficie de terreno para su instalación y evita problemas de aparición de olores y de mosquitos en comparación con otros humedales artificiales. Además puede ser construido y reparado con materiales disponibles localmente y no requiere de energía eléctrica. Adicionalmente si se lo utiliza para irrigación de los espacios verdes favorecería la mejora del paisaje de la institución y al mismo tiempo serviría de herramienta didáctica para el aprendizaje de los estudiantes.

Todo esto debe estar complementado con un programa de Educación Ambiental que permite a los docentes profundizar los temas descritos en los libros de Ciencias Naturales de 9<sup>no</sup> y 10<sup>mo</sup> año de Educación Básica, a lo largo del desarrollo del currículo.

Se recomienda que para las nuevas edificaciones se prevea la separación por tubería de aguas grises y negras y adaptar los diseños propuestos especialmente en zonas de elevada precipitación y de excelente calidad de aire, libre de contaminación atmosférica, como son lo son ciertas áreas rurales de la provincia.

## 4. REFERENCIAS

### 4.1 Bibliografía

- ACSAM Consultores. 2013. Estudios de Evaluación del Sistema Existente, Factibilidad y Diseños Definitivos del Sistema de Agua Potable Regional Esmeraldas y Zonas de Influencia. Empresa Pública de Hidrocarburos del Ecuador – EP PETROECUADOR. Esmeraldas – Ecuador.
- AGUILAR, Patricia, Oscar Castillo, Rosario Jácome y Deyssi Mosquera. 2006. AguaYaky N° 6: Comité interinstitucional del sector de agua y saneamiento. El sector de agua y saneamiento y los objetivos del milenio. Quito – Ecuador.
- AGUINAGA, María. 2013. Ciencias Naturales 10<sup>mo</sup> año de Educación General Básica. Ministerio de Educación del Ecuador. Quito – Ecuador.
- ALIANZA POR EL AGUA. 2008. Manual de depuración de aguas residuales urbanas, Monográficos agua en Centroamérica 3. Ideasamanes. España.
- APA - Agencia de Protección Ambiental. 2000. Folleto informativo de tecnología de aguas residuales, Humedales de flujo subsuperficial. APA 832-F-00-023. Office of Water. Washington, D.C. - United States.
- APA - Agencia de Protección Ambiental. 2000. Folleto informativo de tecnología de aguas residuales, Humedales de flujo libre superficial. APA 832-F-00-024. Office of Water. Washington, D.C. - United States.
- BALAIRÓN, Luis y Íñigo Fernández. 2006. Agua y Hierro, canalizaciones de fundición dúctil. Universidad de Salamanca. Madrid – España.
- BLUME H. 2003. Ríos, lagos, lagunas y marismas, Eco guía para descubrir la Naturaleza, Los caminos de la Naturaleza. Tursen, S.A. Madrid – España. Obtenida el 25 de Octubre del 2012 de: <http://books.google.com.ec/books?id=0E0M51oIlhYC&pg=PA14&dq=humedales+artificiales&hl=es&sa=X&ei=vpkEUBqgN4Si8gTD84GgDg&ved=0CDIQ6AEwAThu#v=onepage&q=humedales%20artificiales&f=false>
- CALVO, Julio y Andrey Torres. 2010. Diseños alternativos de sistemas de tratamiento de aguas residuales para poblaciones menores a cincuenta mil habitantes. Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga – Colombia.
- CASTAÑEDA, Carlos et al. 2000. El Uso Eficiente del Agua desde las Escuelas Primarias. Secretaría de Educación Pública. México.
- CASTRO, Rosario y Rubén Pérez. 2009. Saneamiento Rural y Salud, Guía para acciones a nivel local. Guatemala

- CAWST - Centre for Affordable Water and Sanitation Technology. 2009. Manual para el filtro de bioarena, diseño, construcción, instalación, operación y mantenimiento. Canadá. Sitio Web: [www.cawst.org](http://www.cawst.org)
- CISMIL - Centro de Investigaciones Sociales del Milenio, PNUD - Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, FLACSO - Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales Sede en Ecuador y SENPLADES - Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. 2007. II Informe Nacional de los Objetivos de Desarrollo del Milenio, Alianzas para el Desarrollo. Quito - Ecuador.
- CEPIS - Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. 2003. Especificaciones Técnicas Captación de Agua de Lluvia para Consumo Humano. Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud. Lima – Perú.
- CEPIS - Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. 2001. Guía de diseño para captación del agua de lluvia. Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud. Lima Perú.
- CEPIS - Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. 2003. Especificaciones Técnicas para el diseño de Trampa de Grasa. Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud. Lima - Perú
- CHAMORRO, Carlos, Edison Heredia y Diego Pazmiño. 2005. Informe Final – Análisis de contexto para la gestión integrada del agua en Ecuador. PROTOS - Fundación Ambiente y Sociedad. Quito – Ecuador.
- CONANT, Jeff. 2005. Agua para vivir, cómo proteger el agua comunitaria. Fundación Hesperian. California – EE.UU.
- DELGADILLO, Oscar, Alan Camacho; Luís Pérez y Mauricio Andrade. 2010. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro Agua). Cochabamba – Bolivia. Obtenida el 25 de Octubre del 2012 de: <http://books.google.com.ec/books?id=1kO2J5aDljQC&pg=PA1&lpg=PA7&dq=humedales+artificiales&hl=es>
- DOERR, Beth y Nate Lehmkuhl. 2001. Filtro de Agua Bioarena. ECHO Nota Técnica. EE.UU. Sitio Web: <http://www.echonet.org>
- ESTRADA, Islena 2010. Monografía sobre humedales artificiales de flujo subsuperficial (HAFSS) para remoción de metales pesados en aguas residuales. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnologías Escuela de Química. Pereira.
- FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2009. Proyecto de Educación Alimentaria y Nutricional en Escuelas de Educación Básica. Segundo Ciclo. Guía de Capacitación para Docentes de las Escuelas de Educación Básica TCP/DOM/3101. Santo Domingo – República Dominicana.

- FAO – Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2013. Captación y almacenamiento de agua de lluvia, Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe. Santiago - Chile.
- FORERO, Ingrid. 2009. Estudio del comportamiento de humedales artificiales de flujo sub-superficial en la planta experimental de Carrión de los Céspedes, (Sevilla, España). Universidad Pontificia Bolivariana Seccopmañ Bucaramanga, Escuela de Ingenierías y Administración, Facultad de Ingeniería Ambiental. Bucaramanga.
- GATICA Bairon. 2011. Filtros caseros de aguas grises, Colección Buenas Prácticas. Programa extraordinario de apoyo a la seguridad alimentaria y nutricional. FAO/Unión Europea. Serviprensa. Guatemala.
- Gobierno Autónomo descentralizado Municipal del Cantón Esmeraldas. 2011. Diagnóstico Rural del Cantón Esmeraldas, Insumos para Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2012 – 2022. Esmeraldas - Ecuador
- Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Esmeraldas. 2009. Plan de Desarrollo Provincial de Esmeraldas 2005 - 2009. Esmeraldas – Ecuador.
- HOFFMANN, Heike, Chritoph Platzer, Martina Winker y Von Muench Elisabeth. 2011. Revisión Técnica de Humedales Artificiales de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas grises y aguas domésticas. Programa de Saneamiento Sostenible ECOSAN de la Agencia de Cooperación Internacional de Alemania GIZ. Perú
- Ingeniería Sin Fronteras. 2011. El agua en nuestras comunidades, Manual práctico para el abastecimiento de agua en comunidades campesinas indígenas. Icaria. Barcelona – España.
- INAA - Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados. 1998. Diseño de Abastecimiento de Agua en el Medio Rural”. Nicaragua.
- INEC - Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. 2010. VII Censo de Población y VI de Vivienda - 2010. Obtenida el 29 de Junio del 2012 de [http://www.inec.gob.ec/cenec/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=48&lang=es](http://www.inec.gob.ec/cenec/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=48&lang=es).
- INEN - Instituto Ecuatoriano de Normalización. 1986. Código Ecuatoriano de la Construcción (C.E.C), Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes. CPE INEN 5 Parte 9.1:1992. Quito – Ecuador.
- INEN - Instituto Ecuatoriano de Normalización. 1997. Código Ecuatoriano de la Construcción (C.E.C), Código de práctica para el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural. CPE INEN 5 Parte 9.2:1997. Quito – Ecuador

- INEN - Instituto Ecuatoriano de Normalización. 1988. Urbanización. Sistema de abastecimiento de agua potable. Requisitos. NTE INEN 1 680. Quito – Ecuador.
- INEN - Instituto Ecuatoriano de Normalización. 2010. Agua Potable. Requisitos NTE INEN 1 108:2011. Cuarta versión. Quito – Ecuador.
- INEN - Instituto Ecuatoriano de Normalización. 1997. Aguas. Medios filtrantes granulares utilizados en el tratamiento de aguas. Requisitos. NTE INEN 2 149:1998. Quito – Ecuador.
- LAPIERRE, Michel. 2012. El agua en los campos de personas desplazadas – Construir Pozos. Presentación en Microsoft PowerPoint. Esmeraldas.
- MANGAS, Bianca. 2008. El Mercado de las bombas de mecate en Nicaragua, Un estudio sobre oferta y demanda de las pequeñas empresas. Agencia Suiza para el desarrollo y la cooperación COSUDE. Suiza.
- MASKEW, Gordon et al. 1968. Abastecimiento de aguas y remoción de aguas residuales. Escuela Nacional de Ciencias Químicas, Universidad Nacional Autónoma. México D.F.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2005. Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Dirección de Agua Potable, Saneamiento Básico y Ambiental. Bogotá – Colombia.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2010. Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS, Título J: Alternativas Tecnológicas en Agua y Saneamiento para el Sector Rural. Dirección de Agua Potable, Saneamiento Básico y Ambiental. Bogotá – Colombia.
- MAE - Ministerio del Ambiente 2003. Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio Ambiente, Libro VI. Decreto Ejecutivo 3516. Obtenida el 28 de Junio del 2012 de <http://www.ambiente.gob.ec/?q=node/41&page=0,1>.
- MAE – Ministerio del Ambiente y MEC – Ministerio de Educación y Cultura. 2006. Plan Nacional de Educación Ambiental para la Educación Básica y el Bachillerato (2006 – 2016). Quito – Ecuador.
- MEC - Ministerio de Educación y Cultura del Ecuador. 2007. Plan decenal de educación del Ecuador 2006 – 2015. Obtenida el 28 de Junio de 2012 de <http://www.educacion.gob.ec/institucional.html>.
- MEC - Ministerio de Educación y Cultura y MAE - Ministerio del Ambiente. 2006. Plan Nacional de Educación Ambiental para la Educación Básica y el Bachillerato 2006 – 2016. Quito – Ecuador.
- MIDUVI - Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. 2003. Programa de agua y saneamiento para comunidades rurales y pequeños municipios del Ecuador – PRAGUAS. Obtenida el 29 de Junio del 2012 de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/ecuador10/prag.pdf>.

- MIDUVI - Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda y ONU-Habitat. 2013. Guía de Permacultura: agua y saneamiento y su aplicación a nivel familiar. Programa Gobernabilidad del Sector Agua y Saneamiento en el Ecuador en el marco de los Objetivos de Desarrollo del Milenio. Quito – Ecuador.
- MMAyA - Ministerio de Medio Ambiente y Agua. 2005. Guía Técnica de Diseño y Ejecución de Proyectos de Agua y Saneamiento con Tecnologías Alternativas. Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico. La Paz – Bolivia.
- MPS – Ministerio de Salud Pública del Ecuador, INEC – Instituto Nacional de Estadísticas y Censos y OPS/OMS – Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud. 2010. Indicadores básicos de Salud 2010. Quito – Ecuador.
- MPS - Ministerio de Salud Pública del Ecuador. 2006. Ley orgánica de Salud. Obtenida el 28 de Junio del 2012 de <http://www.msp.gov.ec/>.
- Ministerio de Salud Pública República de Guatemala. 2002. Diseño de filtro casero para tratamiento del agua de consumo humano en comunidades indígenas de Guatemala, Proceso de transferencia tecnológica Nicaragua – Guatemala. Guatemala.
- MÜNCH, Elisabeth von 2009. Humedales artificiales para el tratamiento de aguas grises y aguas residuales domésticas en países en desarrollo. Programa Saneamiento Sostenible – ECOSAN de la Agencia de la Cooperación Técnica Alemana (GTZ). Eschbom – Germany. Sitio Web: [www.gtz.de/ecosan](http://www.rotaria.net/peru3/rotaria/files/Manual%20Humedal.pdf) Disponible en <http://www.rotaria.net/peru3/rotaria/files/Manual%20Humedal.pdf>
- NAVARRO, Juan. 2013. Fitorremediación, una experiencia muy personal. Cienciaenshorts. Hélice.
- PALACIO, Natalia. 2010. Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia. Universidad de Antioquia, Escuela Ambiental, Especialización en Manejo y Gestión del Agua. Medellín – Colombia.
- PNUD - Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Marzo, 2009. Programa de Gobernabilidad del Sector de Agua y Saneamiento en el Ecuador en el marco de los Objetivos de Desarrollo del Milenio. Obtenida el 29 de Junio del 2012 de [http://www.undp.org.ec/PROYECTOS2011/PRODOC\\_00063226.pdf](http://www.undp.org.ec/PROYECTOS2011/PRODOC_00063226.pdf).
- PNUD - Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y MAE - Ministerio del Ambiente del Ecuador. Diciembre, 2009. Estudio de vulnerabilidad actual a los riesgos climáticos en el sector de los recursos hídricos en las cuencas de los Ríos Paute, Jubones, Catamayo, Chone, Portoviejo y Babahoyo. Proyecto Adaptación al Cambio Climático a través de una Efectiva Gobernabilidad del Agua en el Ecuador (PACC) Quito- Ecuador.

- PNUMA - Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Oficina Regional para América Latina y el Caribe, Municipalidad de Esmeraldas y FUNDAMYF - Fundación Mujer y Familia Andina. 2006. GEO Esmeraldas, Perspectivas del Medio Ambiente Urbano. Panamá. [www.pnuma.org](http://www.pnuma.org), [www.fundamyf.org](http://www.fundamyf.org) y [www.municipioesmeraldas.gob.ec](http://www.municipioesmeraldas.gob.ec)
- RECINOS, Marco y Antoine Erout. 2010. Manual de Tecnologías apropiadas para agua y saneamiento Esmeraldas. Agencia Belga de Desarrollo – CTB, Programa Salud y Medio Ambiente Esmeraldas SYMAE. Quito – Ecuador.
- RODRIGUEZ, Julio. 2011. Reutilizar el agua. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Gobierno de España. Centro Nacional de Educación Ambiental CENEAM, Ecología de la vida cotidiana. España.
- SENPLADES - Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. 2009. Plan Nacional para el Buen Vivir 2009-2013: Construyendo un Estado Plurinacional e Intercultural. Quito – Ecuador.
- SENPLADES - Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. 2013. Plan Nacional de Desarrollo / Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017. Quito – Ecuador.
- SOLSONA, Felipe y Consuelo Fuertes. 2003. Guía para la promoción de la Calidad del Agua en Escuelas de los Países en Desarrollo. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente y OPS. Lima Perú.
- TEOBELLA, Javier. 2011. Diseño, montaje y ensayo de una bomba de mecate. Universidad Carlos III de Madrid, Escuela Politécnica Superior, Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos. Madrid.
- TILLEY, Elizabeth, Antoine Moprel, Chris Zurbrug y Roland Shertenleib. 2011. Compendio de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento. Instituto Federal Suizo para Ciencias y Tecnologías Acuáticas (EAWAG). Cuarta Edición. Ginebra – Suiza.
- UNESCO y PNUMA. 1997. Actividades de Educación Ambiental para las Escuelas Primarias, Sugerencias para Confeccionar y Usar Equipo de Bajo Costo. Santiago – Chile.
- UNICEF United Kingdom, Frente de Defensa de la Amazonía y Rainforest Foundation 2010. Guía práctica para la construcción de sistemas de agua de lluvia: La experiencia del mejoramiento del acceso a agua limpia para la niñez de Orellana y Sucumbíos. Ecuador: United Nations Children's Fund, The (UNICEF). Sucumbíos - Ecuador.
- URALITA. 1966. Manual Técnico, Tomo 3. Editorial DOSSAT S.A. Madrid – España.
- VALLARINO, Eugenio. 1997. Obras hidráulicas. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid – España.

- VALVERDE, Lucila. 2011. Ciencias Naturales 9<sup>no</sup> año de Educación General Básica. Ministerio de Educación del Ecuador. Quito – Ecuador.
- VEGA Calderón, Raúl. 2010. Inventario de tecnologías apropiadas para prestación de servicios de agua potable y saneamiento preferentemente en poblaciones rurales dispersas.
- VILLAS, Roberto, Cristina Echavarría, Jorge Ellis y Diego Masera. 2004. Problemas Emergencias y Soluciones APELL, Santa Cruz de la Sierra Bolivia. CETEM/CYTED-XIII/MPRI/IDRC/AECI/UNESCO. Rio de Janeiro.
- YEPES, Guillermo y Bernardo Gómez. 2002. Plan Nacional de Desarrollo del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Subsecretaría de Agua Potable y Saneamiento Básico. Quito – Ecuador.
- YOCUM, Dayna. 2005. Manual de Diseño: Humedal Construido para el Tratamiento de las Aguas Grises por Biofiltración. Universidad de California. California – USA.

## 4.2 Anexos

### Anexo 1: Noticia “Sacrificio Educativo” del Diario La Hora del 30-Mar-2014

Referencia: [http://www.lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101306739/-1/Sacrificio\\_educativo.html#.U55Mk3Zoogw](http://www.lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101306739/-1/Sacrificio_educativo.html#.U55Mk3Zoogw)

Sacrificio educativo : Noticias Esmeraldas : La Hora : Esmeraldas <http://www.lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101306739/-1/>

The screenshot shows a news article from the website 'La Hora' in Esmeraldas. The article is titled 'Sacrificio educativo' and is dated 'Viernes, 19 de Marzo de 2014'. The main text discusses the challenges of school construction and the impact on students. It mentions that 34 schools are scheduled for completion but only two have started classes. The article also lists various schools and colleges in different zones.

**De cumplirse con la fecha contractual, 34 centros educativos de la zona sur del cantón Esmeraldas, en septiembre estarían rehabilitados y listos para recibir al 100% del alumnado.**

Por ahora solo dos de ellos están listos para recibir a una parte de los estudiantes", comentó el jefe del Grupo de Trabajo del Cuerpo de Ingenieros del Ejército, Francisco Miranda Ibarra, precisando que por ahora están en un ambiente adecuado.

"De las 34 escuelas intervenidas 25 están listas para recibir a una parte de los estudiantes", comentó el jefe del Grupo de Trabajo del Cuerpo de Ingenieros del Ejército, Francisco Miranda Ibarra, precisando que por ahora están en un 11% de avance.

**Trabaja jornada**

Ante sus problemáticas que a futuro mejorará los ambientes de estudio porque se contará con aulas nuevas, bibliotecas modernas y comedores, se aspira a acelerar la fecha de entrega para julio, tres meses después del inicio oficial de clases.

"Se ha pedido que se priorice en la construcción y mejoramiento de las aulas para ser entregadas oportunamente y así iniciar las clases el 15 de abril como está previsto", dijo el coordinador de la zona I del Ministerio de Educación, Manuel Rivas Torres Ibarra.

Decidió a que se establezcan las escuelas al 100% para recibir a los alumnos, se armó el Plan de Construcción que consiste en dar clases en 60% jornada, en la mañana una parte de los estudiantes y en la tarde el resto, en el caso de las escuelas que están siendo ampliadas.

**Entre inconvenientes**

Alas, en los establecimientos educativos en los que se está trabajando en áreas ajenas a las aulas, se instalará a clases se colocarán tarapas para evitar que los escombros afecten a los estudiantes.

Rivas Torres Ibarra justificó que solamente una de las 34 escuelas intervenidas (no prestó) aún no recibirá clase en otro centro educativo en la jornada vespertina, debido a que no está habilitada.

**Compensación por contingencias**

Los ochenta millones de dólares que está otorgando el Cuerpo de Ingenieros del Ejército a la Empresa Pública Petroecuador, serán destinados para la rehabilitación, reparación y ampliación de los establecimientos educativos cercanos a la Refinería y su zona de influencia.

El anticipo fue entregado el 13 de enero y contempla un plazo de entrega de ochenta meses desde la fecha del anticipo, pero los trabajos se iniciaron el 1 de febrero lo que retrasó la culminación de clases, según el jefe del Grupo de Trabajo del Cuerpo de Ingenieros del Ejército, Francisco Miranda Ibarra.

**Escuelas, jardines y colegios intervenidos**

**ZONA 1**

Escuelas:  
Francisco Carrizo,  
María Cristina de Francia,  
Genita H. De Chiriboga,  
Miguel Ramírez Angulo,  
Walter Quiroga Sevilla.

Colegios:  
José Perilla,  
E de Agosto,  
Francisco Medina,  
Ángel Osorio.

Jardines de Infancia:  
Rosita Fariel,  
Mi Prochito Unido.

**ZONA 2**

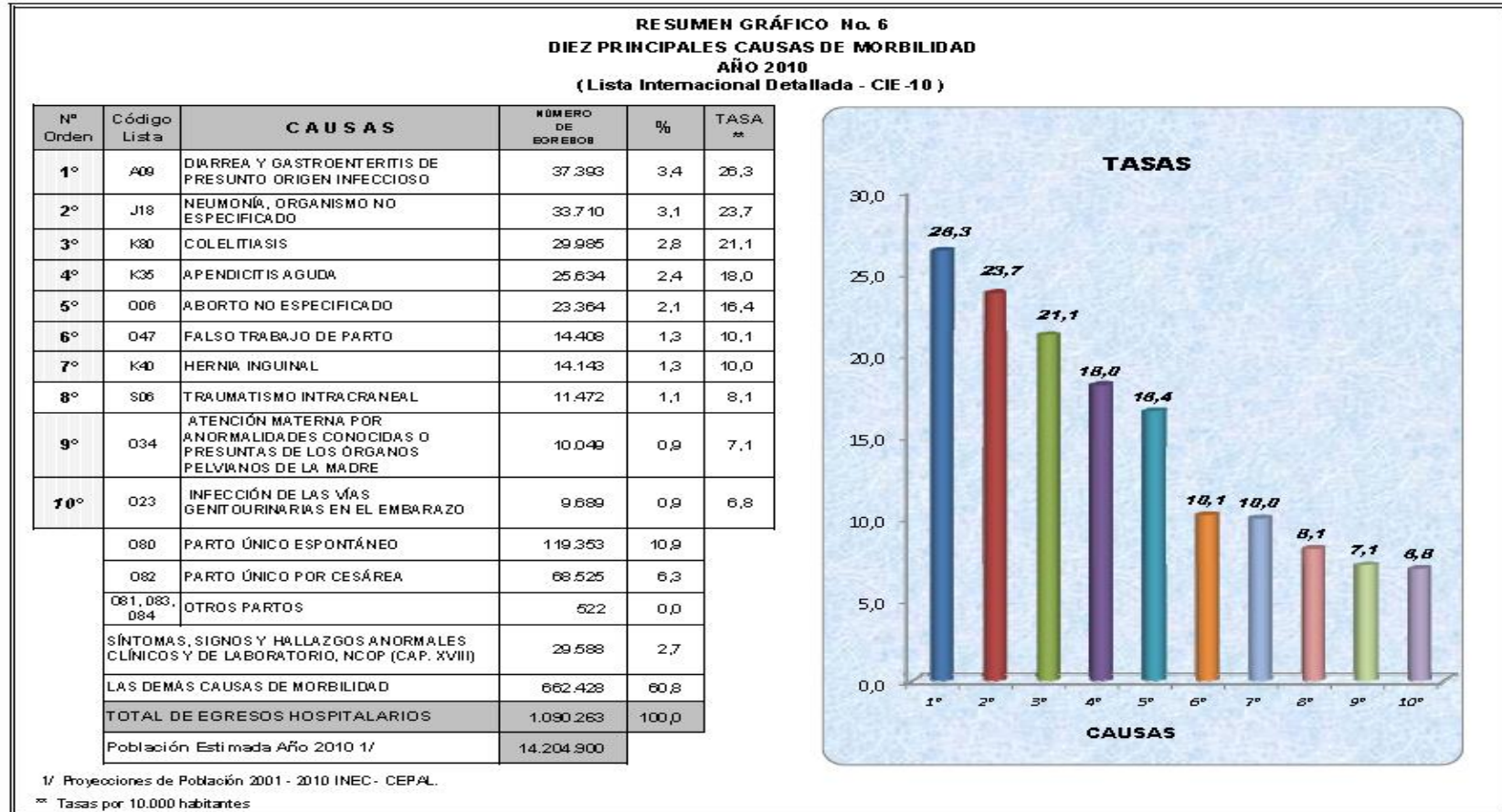
Escuelas:  
E de Marzo,  
Daniel Camero,  
Bolívar Borrero Copello,  
Laura Macquena,  
Hélia Rosales Angulo.

Colegios:  
Jaime Hurtado,  
Manoel Torres,  
Alcalá.

**ZONA 3**

Escuelas:  
Carmela Escobedo,  
Raúl Torres.

## Anexo 2: Principales causas de morbilidad, INEC 2010



Anuario de Estadísticas Hospitalarias Camas y Egresos – INEC 2010

### Anexo 3: Resultados de Análisis físico – químico y bacteriológico del sistema del filtro

Realizado en el año 2009 por Labolab Cía. Ltda. de la ciudad de Quito, a muestras de agua obtenidas del sistema del filtro en el sector de Lago Agrio, Sucumbíos.

**Análisis del funcionamiento de un sistema familiar en la zona de Lago Agrio.**

La tabla muestra los valores físico – químicos y bacteriológicos del agua antes de ingresar al filtro (agua lluvia sin filtrar), y una vez que ésta ha atravesado las múltiples capas purificadoras del sistema (agua filtrada). La columna en el extremo derecho de la tabla indica el límite de la norma internacional que hemos asumido como nuestro estándar de calidad. Todos los sistemas deben cumplir estos límites; en caso contrario, es posible hacer adaptaciones para garantizar que el agua sea segura.

<b>Fecha de toma de la Muestra:</b> 22 de enero de 2009		<b>Laboratorio:</b> Labolab Cía. Ltda.		
<b>Sector del sistema analizado:</b> Lago Agrio, Sucumbíos		<b>Orden de Trabajo:</b> 90181		

Parámetro analizado	Unidad	ANTES:	DESPUÉS:	Límite Internacional
		Agua lluvia sin filtrar	Agua filtrada por el sistema	
pH		5.58	7.64	6.5 a 9.5
Color	U - Color	0.00	0.00	15
Turbiedad	FTU	0.00	0.00	10
Conductividad	μ-Ohmos	4.00	49.00	2000
Bióxido de Carbono	mg/l	24.64	0.11	
Carbonatos	mg/l	0.00	0.00	
Bicarbonatos	mg/l	4.62	27.72	
Cloruros	mg/l	3.63	5.44	250
Manganeso	mg/l	0.00	0.00	0.1
Hierro tot.	mg/l	0.07	0.05	0.2
Magnesio	mg/l	0.48	0.96	50
Calcio	mg/l	0.79	0.09	100
Nitratos	mg/l	0.09	0.09	25
Nitritos	mg/l	0.01	0.03	0.1
Sulfatos	mg/l	0.00	0.57	240
Fosfatos	mg/l	0.00	0.00	0.4
Sodio	mg/l	0.00	0.00	250
Potasio	mg/l	0.00	2.00	12
Alcalinidad	mg/l	4.62	27.72	
Dureza Tot. (CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	3.96	17.82	
Dureza carbonatada	mg/l	3.96	17.82	
Dureza no carbonatada	mg/l	0.00	0.00	
Sólidos Tot. (105 °C)	mg/l	18.00	48.00	
Sólidos disueltos	mg/l	16.00	34.00	1500
Sólidos suspendidos	mg/l	2.00	14.00	
Cadmio	μg/l	17.00	17.00	5
Plomo	μg/l	70.00	20.00	40
Mercurio	μg/l	1.00	1.00	1
Aerobios	ufc/ml	250000.00	110.00	menor 100
Coliformes Tot.	NMP/ml	2400.00	10.00	menor 10
Coliformes fecales	NMP/ml	10.00	10.00	menor 10
Mohos	upm/ml	40.00	33.00	menor 10
Levaduras	upl/ml	33.00	10.00	menor 10

Análisis: Labolab Cía. Ltda. Laboratorio de análisis de alimentos, aguas y afines. Av. Pérez Guerrero De21-11, Quito Ecuador.

### Anexo 4: Promedios mensuales de precipitación periodo 2002 a 2011, INOCAR

Fuente: Dr. Elvis Bastidas Guerreo funcionario del INOCAR - Instituto Oceanográfico de la Armada

INOCAR - Estación Esmeraldas														
Precipitación Promedio Mensual (en mm) durante el periodo 2002 a 2011 (sin evaporación)														
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	Media Anual
2002	78,80	273,80	199,60	303,10	70,30	72,50	12,40	10,30	2,10	15,40	16,40	136,90	1191,60	99,30
2003	197,70	186,90	101,30	68,20	113,00	1,40	39,70	20,40	41,90	24,40	60,00	45,20	900,10	75,01
2004	42,60	125,40	54,40	35,40	163,70	8,60	1,01	3,30	19,00	14,00	13,60	4,00	485,01	40,42
2005	78,60	327,20	75,50	237,50	9,60	0,90	34,50	5,00	13,80	5,70	5,70	15,60	809,60	67,47
2006	70,70	218,10	100,60	52,60	24,10	17,70	9,90	14,00	17,30	1,30	97,10	18,30	641,70	53,48
2007	61,40	63,90	168,60	176,50	208,20	62,30	21,60	3,20	2,10	13,40	4,40	18,10	803,70	66,98
2008	150,40	43,30	116,90	80,90	37,40	38,40	24,10	9,60	6,30	35,90	8,10	17,00	568,30	47,36
2009	204,90	165,50	50,40	101,90	45,10	11,20	11,70	10,30	0,00	0,00	0,00	0,00	601,00	50,08
2010	157,80	208,60	135,90	116,40	103,40	14,60	12,60	4,30	4,60	1,40	13,60	130,50	903,70	75,31
2011	85,40	64,40	21,60	20,60	9,60	12,40	19,30	10,40	30,90	4,20	3,80	13,50	296,10	24,68
	112,83	167,71	102,48	119,31	78,44	24,00	18,68	9,08	13,80	11,57	22,27	39,91		

## **Anexo 5: Guía de Diseño para captación del agua de lluvia del CEPIS**

Fuente: CEPIS - Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales, 2001

**GUÍA DE DISEÑO PARA CAPTACION DEL**  
**AGUA DE LLUVIA**

**Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural**  
**(UNATSABAR)**



Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente  
División de Salud y Ambiente  
Organización Panamericana de la Salud  
Oficina Sanitaria Panamericana - Oficina Regional de la  
Organización Mundial de la Salud

Lima  
Enero 2001

## INDICE

	Pag.	
1. <b>INTRODUCCIÓN</b> .....	3	
2. <b>VENTAJAS Y DESVENTAJAS</b> .....		4
3. <b>FACTIBILIDAD</b> .....	4	
3.1 Factor Técnico .....	4	
3.2 Factor Económico .....	5	
3.3 Factor Social .....	5	
4. <b>COMPONENTES</b> .....	6	
a. Captación .....	6	
b. Recolección y Conducción .....	7	
c. Interceptor .....	8	
d. Almacenamiento. ....	9	
5. <b>TRATAMIENTO</b> .....	11	
6. <b>DISEÑO</b> .....	11	
6.1 Bases del diseño .....	11	
6.2 Criterios del diseño .....	11	
Ejemplo 1 .....	13	
Ejemplo 2 .....	17	
Figura 1. Sistema de Captación de Aguas Pluviales en techos .....	6	
Figura 2. Canaletas de recolección .....	8	
Figura 3. Interceptor de primeras aguas.....	9	
Figura 4. Tanque de almacenamiento .....	10	

## CAPTACION DE AGUA DE LLUVIA PARA CONSUMO HUMANO

### **1. INTRODUCCION**

La captación de agua de lluvia es un medio fácil de obtener agua para consumo humano y/o uso agrícola. En muchos lugares del mundo con alta o media precipitación y en donde no se dispone de agua en cantidad y calidad necesaria para consumo humano, se recurre al agua de lluvia como fuente de abastecimiento. Al efecto, el agua de lluvia es interceptada, colectada y almacenada en depósitos para su posterior uso. En la captación del agua de lluvia con fines domésticos se acostumbra a utilizar la superficie del techo como captación, conociéndose a este modelo como **SCAPT** (sistema de captación de agua pluvial en techos). Este modelo tiene un beneficio adicional y es que además de su ubicación minimiza la contaminación del agua. Adicionalmente, los excedentes de agua pueden ser empleados en pequeñas áreas verdes para la producción de algunos alimentos que puedan complementar su dieta.

La captación del agua para uso agrícola necesita de mayores superficies de captación por obvias razones, por lo que en estos casos se requiere de extensas superficies impermeables para recolectar la mayor cantidad posible de agua.

### **2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS**

La captación de agua de lluvia para consumo humano presenta las siguientes ventajas:

- Alta calidad físico química del agua de lluvia,
- Sistema independiente y por lo tanto ideal para comunidades dispersas y alejadas,
- Empleo de mano de obra y/o materiales locales,
- No requiere energía para la operación del sistema,
- Fácil de mantener, y
- Comodidad y ahorro de tiempo en la recolección del agua de lluvia.

A su vez las desventajas de este método de abastecimiento de agua son las siguientes:

- Alto costo inicial que puede impedir su implementación por parte de las familias de bajos recursos económicos, y
- La cantidad de agua captada depende de la precipitación del lugar y del área de captación.

### **3. FACTIBILIDAD**

En el diseño de un sistema de captación de agua de lluvia es necesario considerar los factores técnicos, económicos y sociales.

#### **3.1 Factor Técnico**

Los factores técnicos a tener presente son la producción u oferta y la demanda de agua:

- Producción u “oferta” de agua;* está relacionada directamente con la precipitación durante el año y con las variaciones estacionales de la misma. Por ello, en el diseño de sistemas de captación de agua de lluvia es altamente recomendable trabajar con datos suministrados por la autoridad competente y normalmente representada por la oficina meteorológica del país o de la región donde se pretende ejecutar el proyecto.
- Demanda de agua;* A su vez, la demanda depende de las necesidades del interesado y que puede estar representada por solamente el agua para consumo humano, hasta llegar a disponer de agua para todas sus necesidades básicas como son preparación de alimentos, higiene de personal, lavado de vajillas y de ropa e inclusive riego de jardines.

#### **3.2 Factor Económico**

Al existir una relación directa entre la oferta y la demanda de agua, las cuales inciden en el área de captación y el volumen de almacenamiento, se encuentra que ambas consideraciones están íntimamente ligadas con el aspecto económico, lo que habitualmente resulta una restricción para la mayor parte de los interesados, lo que imposibilita acceder a un sistema de abastecimiento de esta

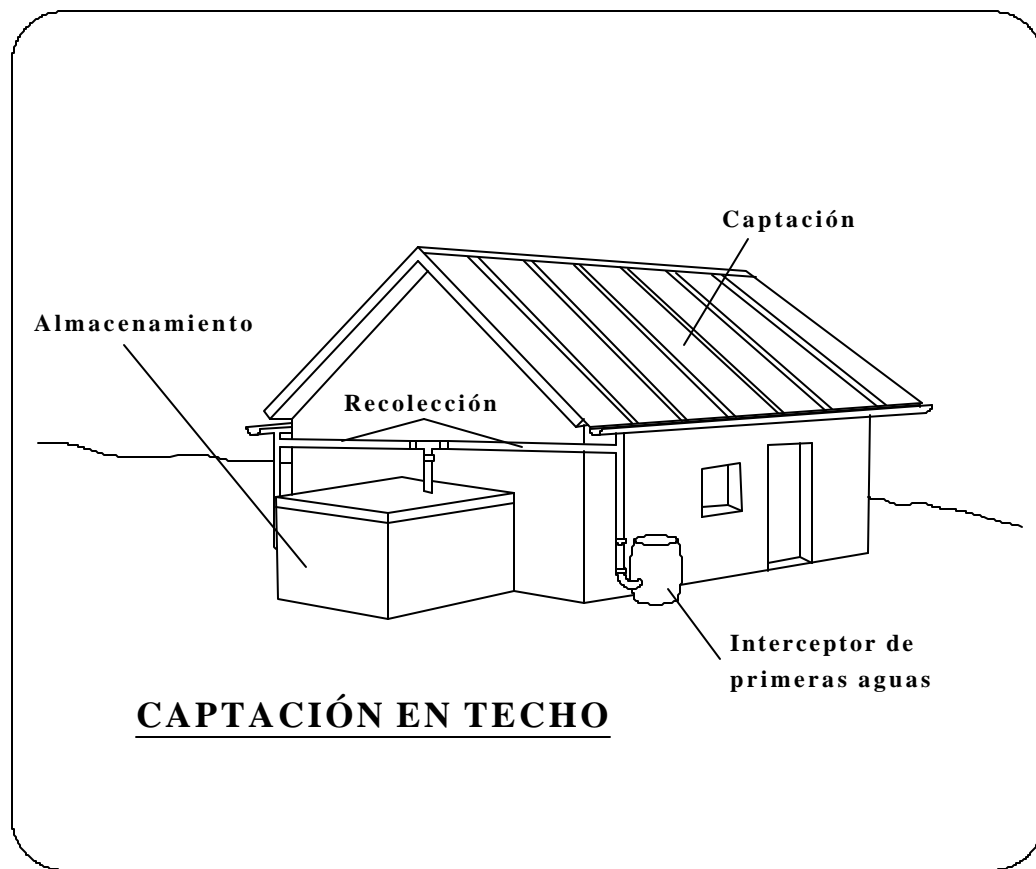
naturaleza. En la evaluación económica es necesario tener presente que en ningún caso la dotación de agua debe ser menor a 20 litros de agua por familia y por día, la misma que permite satisfacer sus necesidades básicas elementales, debiendo atenderse los aspectos de higiene personal y lavado de ropa por otras fuentes de agua. Así mismo, los costos del sistema propuesto deben ser comparados con los costos de otras alternativas destinadas al mejoramiento del abastecimiento de agua, teniendo presente el impacto que representa la cantidad de agua en la salud de las personas beneficiadas por el servicio de agua.

### **3.3 Factor Social**

En la evaluación de las obras de ingeniería a nivel comunitario, siempre se debe tener presente los factores sociales, representados por los hábitos y costumbres que puedan afectar la sostenibilidad de la intervención. Al efecto, el profesional responsable del estudio debe discutir con la comunidad las ventajas y desventajas de la manera tradicional de abastecimiento de agua y de la tecnología propuesta, buscando que la propia comunidad seleccione lo que más le conviene emplear. Este análisis debe considerar la conveniencia de adoptar soluciones individuales y colectivas, el tipo de material empleado en la fabricación de sus techos, la existencia de materiales alternativos en el lugar o sus alrededores y el grado de participación de la comunidad en la implementación del proyecto.

## **4. COMPONENTES**

El sistema de captación de agua de lluvia en techos está compuesto de los siguientes elementos: a) captación; b) recolección y conducción; c) interceptor; y d) almacenamiento. Ver Figura 1.



**Figura 1. SCAPT - SISTEMA DE CAPTACION DE AGUA PLUVIAL EN TECHOS**

- a. Captación.- La captación está conformado por el techo de la edificación, el mismo que debe tener la superficie y pendiente adecuadas para que facilite el escurrimiento del agua de lluvia hacia el sistema de recolección. En el cálculo se debe considerar solamente la proyección horizontal del techo.

Los materiales empleados en la construcción de techos para la captación de agua de lluvia son la plancha metálica ondulada, tejas de arcilla, paja, etc.

La plancha metálica es liviana, fácil de instalar y necesita pocos cuidados, pero puede resultar costosa y difícil de encontrar en algunos lugares donde se intente proyectar este sistema.

Las tejas de arcilla tienen buena superficie y suelen ser más baratas, pero son pesadas, y para instalarlas se necesita de una buena estructura, además que para su elaboración se necesita de una buena fuente de arcilla y combustible para su cocción.

La paja, por ser de origen vegetal, tiene la desventaja que libera lignina y tanino, lo que le da un color amarillento al agua, pero que no tiene mayor impacto en la salud de los consumidores siempre que la intensidad sea baja. En todo caso puede ser destinada para otros fines diferentes al de consumo, como riego, bebida de ganado, lavado de ropa, higiene personal, limpieza de servicios sanitarios, etc.

- b. **Recolección y Conducción.**- Este componente es una parte esencial de los SCAPT ya que conducirá el agua recolectada por el techo directamente hasta el tanque de almacenamiento. Está conformado por las canaletas que van adosadas en los bordes más bajos del techo, en donde el agua tiende a acumularse antes de caer al suelo (ver Figura 2).

El material de las canaletas debe ser liviano, resistente al agua y fácil de unir entre sí, a fin de reducir las fugas de agua. Al efecto se puede emplear materiales, como el bambú, madera, metal o PVC.

Las canaletas de metal son las que más duran y menos mantenimiento necesitan, sin embargo son costosas. Las canaletas confeccionadas a base de bambú y madera son fáciles de construir pero se deterioran rápidamente. Las canaletas de PVC son más fáciles de obtener, durables y no son muy costosas.

Las canaletas se fijan al techo con a) alambre; b) madera; y c) clavos.

Por otra parte, es muy importante que el material utilizado en la unión de los tramos de la canaleta no contamine el agua con compuestos orgánicos o inorgánicos. En el caso de que la canaleta llegue a captar materiales indeseables, tales como hojas, excremento de aves, etc. el sistema debe tener mallas que retengan estos objetos para evitar que obturen la tubería montante o el dispositivo de descarga de las primeras aguas.

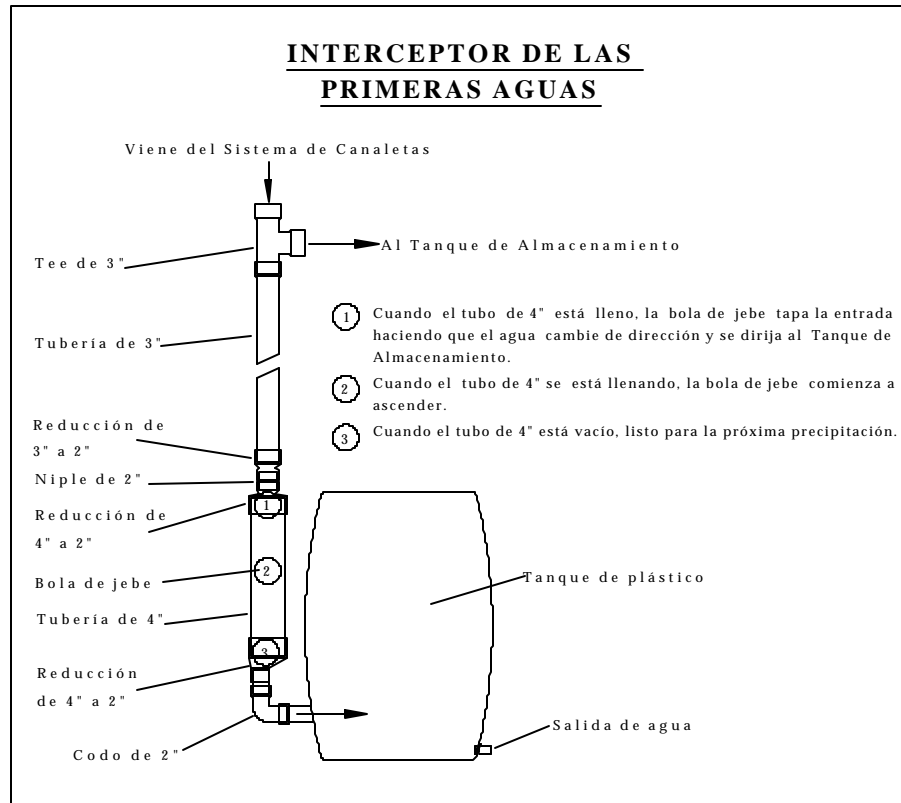


**Figura 2.** Canaletas de recolección

- c. Interceptor.- Conocido también como dispositivo de descarga de las primeras aguas provenientes del lavado del techo y que contiene todos los materiales que en él se encuentren en el momento del inicio de la lluvia. Este dispositivo impide que el material indeseable ingrese al tanque de almacenamiento y de este modo minimizar la contaminación del agua almacenada y de la que vaya a almacenarse posteriormente (ver Figura 3).

En el diseño del dispositivo se debe tener en cuenta el volumen de agua requerido para lavar el techo y que se estima en 1 litro por  $m^2$  de techo.

El volumen de agua resultante del lavado del techo debe ser recolectado en un tanque de plástico. Este tanque debe diseñarse en función del área del techo para lo cual se podrán emplear recipientes de 40, 60, 80 ó 120 litros, y para áreas mayores de techo se utilizarían combinaciones de estos tanques para captar dicho volumen.



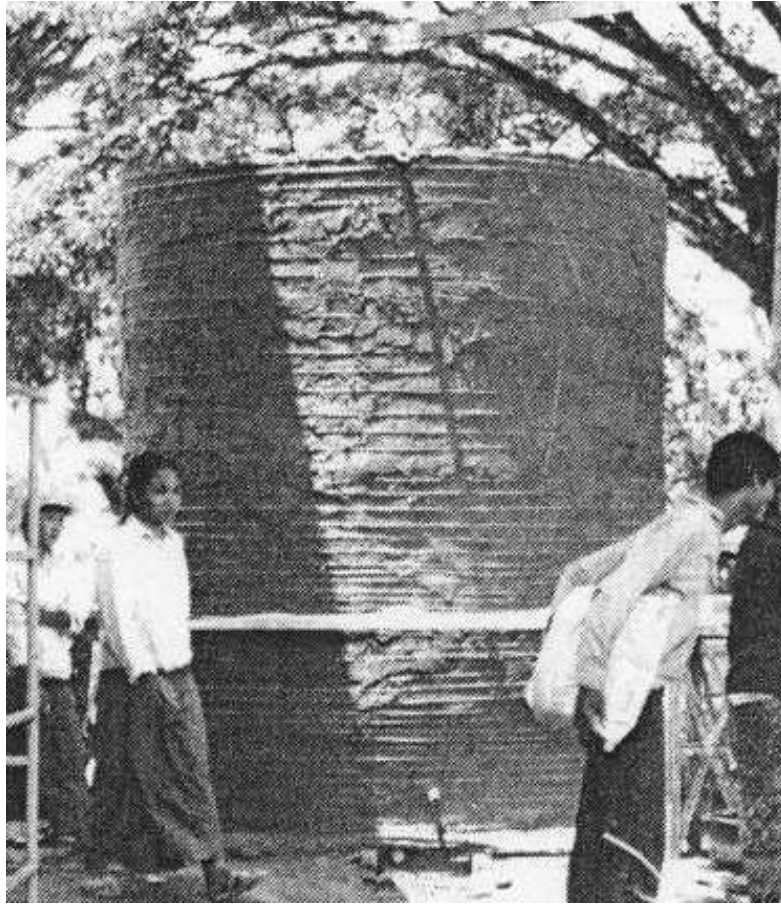
**Figura 3.** Interceptor de Primeras Aguas

- d. Almacenamiento.- Es la obra destinada a almacenar el volumen de agua de lluvia necesaria para el consumo diario de las personas beneficiadas con este sistema, en especial durante el período de sequía (ver Figura 4).

La unidad de almacenamiento debe ser duradera y al efecto debe cumplir con las especificaciones siguientes:

- Impermeable para evitar la pérdida de agua por goteo o transpiración,
- De no más de 2 metros de altura para minimizar las sobre presiones,
- Dotado de tapa para impedir el ingreso de polvo, insectos y de la luz solar,
- Disponer de una escotilla con tapa sanitaria lo suficientemente grande como para que permita el ingreso de una persona para la limpieza y reparaciones necesarias,
- La entrada y el rebose deben contar con mallas para evitar el ingreso de insectos y animales.

- Dotado de dispositivos para el retiro de agua y el drenaje. Esto último para los casos de limpieza o reparación del tanque de almacenamiento. En el caso de tanques enterrados, deberán ser dotados de bombas de mano.



**Figura 4.** Tanque de Almacenamiento

Los tipos de tanques de almacenamiento de agua de lluvia que pueden ser empleados en el medio rural pudieran ser contruidos con los materiales siguientes:

- Mortero cemento – arena; el mortero de cemento – arena se aplica sobre un molde de madera u otro material de forma preestablecida. Los modelos pequeños suelen variar entre 0.1 a 0.5 m<sup>3</sup> y los modelos más grandes pueden alcanzar alturas de 1.5 m y volúmenes de hasta 2.3 m<sup>3</sup>.
- Concreto; normalmente se construye vaciando concreto en moldes concéntricos de acero de un diámetro de 1.5 m, 0.1 m de espesor y 0.60 m de altura. Este tipo de tanque de almacenamiento puede alcanzar volúmenes de hasta 11 m<sup>3</sup>.

## 5. TRATAMIENTO

Es necesario que el agua retirada y destinada al consumo directo de las personas sea tratada antes de su ingesta. El tratamiento debe estar dirigido a la remoción de las partículas que no fueron retenidas por el dispositivo de intercepción de las primeras aguas, y en segundo lugar al acondicionamiento bacteriológico. El tratamiento puede efectuarse por medio de un filtro de mesa de arena seguido de la desinfección con cloro. En la Hoja Técnica “HT-04 Filtros de Mesa de Arena – Construcción, Operación y Mantenimiento” se detalla el diseño de estos filtros.

## 6. DISEÑO

6.1 **Bases del diseño;** antes de emprender el diseño de un sistema de captación de agua pluvial, es necesario tener en cuenta los aspectos siguientes:

- Precipitación en la zona. Se debe conocer los datos pluviométricos de por lo menos los últimos 10 años, e idealmente de los últimos 15 años,
- Tipo de material del que está o va a estar construida la superficie de captación,
- Número de personas beneficiadas, y
- Demanda de agua.

6.2 **Criterios de diseño;**

Este método conocido como: “**Cálculo del Volumen del Tanque de Almacenamiento**” toma como base de datos la precipitación de los 10 ó 15 últimos años. Mediante este cálculo se determina la cantidad de agua que es capaz de recolectarse por metro cuadrado de superficie de techo y a partir de ella se determina a) el área de techo necesaria y la capacidad del tanque de almacenamiento, o b) el volumen de agua y la capacidad del tanque de almacenamiento para una determinada área de techo.

Los datos complementarios para el diseño son:

- Número de usuarios,
- Coeficiente de escurrimiento;

- calamina metálica	0.9
- tejas de arcilla	0.8 - 0.9
- madera	0.8 - 0.9
- paja	0.6 - 0.7
- Demanda de agua.

Los pasos a seguir para el diseño del sistema de captación de agua de lluvia son:

*Determinación de la precipitación promedio mensual;* a partir de los datos promedio mensuales de precipitación de los últimos 10 ó 15 años se obtiene el valor promedio mensual del total de años evaluados. Este valor puede ser expresado en términos de milímetros de precipitación por mes, o litros por metro cuadrado y por mes que es capaz de colectarse en la superficie horizontal del techo.

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

n : número de años evaluados,

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

$Pp_i$  : precipitación promedio mensual del mes “i” de todos los años evaluados. (mm)

*Determinación de la demanda;* a partir de la dotación asumida por persona se calcula la cantidad de agua que se necesita para atender las necesidades de la familia o familias a ser beneficiadas en cada uno de los meses.

$$D_i = \frac{Nu \times Nd \times Dot}{1000}$$

$Nu$  : número de usuarios que se benefician del sistema.

$Nd$  : número de días del mes analizado

$Dot$  : dotación (lt/persona.día)

$D_i$  : demanda mensual ( $m^3$ )

*Determinación del volumen del tanque de abastecimiento;* teniendo en cuenta los promedios mensuales de precipitaciones de todos los años evaluados, el material del techo y el coeficiente de escorrentía, se procede a determinar la cantidad de agua captada para diferentes áreas de techo y por mes.

$$A_i = \frac{Pp_i \times Ce \times Ac}{1000}$$

$Pp_i$  : precipitación promedio mensual (litros/ $m^2$ )

$Ce$  : coeficiente de escorrentía

$Ac$  : área de captación ( $m^2$ )

$A_i$  : Abastecimiento correspondiente al mes “i” ( $m^3$ )

Teniendo como base los valores obtenidos en la determinación de la demanda mensual de agua y oferta mensual de agua de lluvia, se procede a calcular el acumulado de cada uno de ellos mes a mes encabezado por el mes de mayor precipitación u oferta de agua. A continuación se procede a calcular

la diferencia de los valores acumulados de cada uno de los meses de la oferta y la demanda respectivamente.

Las áreas de techo que conduzcan a diferencias acumulativas negativas en alguno de los meses del año se descartan por que el área supuesta no es capaz de captar la cantidad de agua demandada por los interesados.

El área mínima de techo corresponde al análisis que proporciona una diferencia acumulativa próxima a cero (0) y el volumen de almacenamiento corresponde a la mayor diferencia acumulativa. Areas de techo mayor al mínimo darán mayor seguridad para el abastecimiento de los interesados.

El acumulado de la oferta y la demanda en el mes “i” podrá determinarse por:

$$Aa_i = Aa_{(i-1)} + \frac{Pp_i \times Ce \times Ac}{1000}$$

$$Da_i = Da_{(i-1)} + Nu \times Nd_i \times Dd_i$$

Aai : volumen acumulado al mes “i”.

Dai : demanda acumulada al mes “i”.

$$V_i (m^3) = A_i (m^3) - D_i (m^3)$$

Vi : volumen del tanque de almacenamiento necesario para el mes “i”.

Ai : volumen de agua que se captó en el mes “i”.

Di : volumen de agua demandada por los usuarios para el mes “i”.

### **Ejemplo 1**

#### **Determinación del área de techo requerida y del volumen del tanque de almacenamiento.**

Determinar el área de techo y el volumen del tanque del almacenamiento más económico según las precipitaciones y demanda mensual de agua indicado en el cuadro N°1, teniendo en cuenta los siguientes criterios de diseño

Material de techo : teja de arcilla

Coefficiente de escurrentía : 0.8

Personas a ser beneficiadas : 6

Costo de reservorio por m<sup>3</sup> : US\$ 50

Costo de techo por m<sup>2</sup> : US\$ 10

Para el análisis matemático, se asumirán áreas de techo de 50, 60 y 65 metros cuadrados respectivamente.

En los cuadros adjuntos, se pueden apreciar los resultados de los cálculos efectuados y que se sintetizan como sigue:

Área de techo (m <sup>2</sup> )	Diferencias acumulativas (m <sup>3</sup> )	
	Máximo valor (volumen de almacenamiento m <sup>3</sup> )	Mínimo valor (volumen de reserva m <sup>3</sup> )
50	12.10	-2.87
60	15.63	1.47
65	17.39	3.64

Del análisis del cuadro en donde se sintetizan los resultados, se nota que no debe considerarse en la evaluación final el área de techo de 50 metros cuadrados por haberse obtenido valores negativos durante tres meses, lo que se traduce en que no habría agua para abastecer a los interesados durante los últimos tres meses del año. De este modo, el área idónea que puede atender la demanda deben ser igual o mayor a 60 m<sup>2</sup>.

El volumen de almacenamiento neto debe ser de 14.16 m<sup>3</sup> (15.63 – 1.47) para un techo de 60 m<sup>2</sup> y de 13.75 (17.39-3.64) para un techo de 65 m<sup>2</sup>. Si se considera una reserva mínima de 1.47 m<sup>3</sup>, los costos que representa cada una de las implementaciones para las dos áreas de techo remanentes, es decir para 60 y 65 m<sup>2</sup> son:

Área de Techo (m <sup>2</sup> )	Volumen del Tanque (m <sup>3</sup> )	Costo (US\$)		
		Techo	Tanque	Total
60	15.63	600.00	781.50	1381.50
65	15.22	650.00	761.00	1411.00

El costo de implementación del sistema más económico conformado por un techo de un área de 60 m<sup>2</sup> y un reservorio de 15.63 m<sup>3</sup> con una capacidad extra de almacenamiento de 1.47 m<sup>3</sup> es de US\$1.381.50. Aumentaría a US\$ 1411.00 si el techo tuviera un área de 65 m<sup>2</sup> y el reservorio con su capacidad extra de 1.47 m<sup>3</sup> fuera de 15.22 m<sup>3</sup>.

**Cuadro N°1. Datos básicos**

**Método del CALCULO DEL VOLUMEN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO**

Demanda diaria por persona (lppd)

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
10	15	15	15	10	10	10	10	10	10	10	10

Precipitación mensual (mm)

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1980	0	0	9	0	0	74	270	92	0	0	0	16
1981	18	8	13	26	58	22	501	89	80	0	26	0
1982	10	0	0	81	71	0	105	308	10	37	0	23
1983	0	0	0	0	0	0	431	68	18	1	0	0
1984	0	0	0	0	0	9	34	42	0	0	0	0
1985	0	10	0	0	64	0	226	338	0	110	0	15
1986	8	24	7	0	57	16	308	110	23	0	0	0
1987	17	0	0	3	0	24	95	136	48	0	0	6
1988	25	0	0	0	0	34	196	101	57	0	0	0
1989	0	78	0	0	5	11	67	201	10	0	0	0
1990	0	0	0	0	0	67	250	186	92	0	15	0
1991	18	0	4	0	25	23	176	291	46	0	0	25
1992	0	26	0	0	0	2	316	234	141	0	0	0
1993	39	0	0	5	2	112	174	79	101	0	0	0
1994	28	0	14	0	0	109	267	212	79	0	0	0
Prom	10.87	9.73	3.13	7.67	18.80	33.53	227.73	165.80	47.00	9.87	2.73	5.67

Demanda total mensual para la familia de seis personas (litros)

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1860	2520	2790	2700	1860	1800	1860	1860	1800	1860	1800	1860
10.87	9.73	3.13	7.67	18.80	33.53	227.73	165.80	47.00	9.87	2.73	5.67

Cálculo para un techo de 50 m<sup>2</sup>

MES	Precipitación (mm)	Abastecimiento (m <sup>3</sup> )		Demanda (m <sup>3</sup> )		Diferencia (m <sup>3</sup> )
		parcial	acumulado	Parcial	acumulado	
Julio	227.73	9.109	9.11	1.86	1.86	7.25
Agosto	165.80	6.632	15.74	1.86	3.72	12.02
Setiembre	47.00	1.880	17.62	1.80	5.52	<b>12.10</b>
Octubre	9.87	0.395	18.02	1.86	7.38	10.64
Noviembre	2.73	0.109	18.13	1.80	9.18	8.95
Diciembre	5.67	0.227	18.35	1.86	11.04	7.31
Enero	10.87	0.435	18.79	1.86	12.90	5.89
Febrero	9.73	0.389	19.18	2.52	15.42	3.76
Marzo	3.13	0.125	19.30	2.79	18.21	1.09
Abril	7.67	0.307	19.61	2.70	20.91	-1.30
Mayo	18.80	0.752	20.36	1.86	22.77	-2.41
Junio	33.53	1.341	21.70	1.80	24.57	-2.87

Cálculo para un techo de 60 m<sup>2</sup>

MES	Precipitación (mm)	Abastecimiento (m <sup>3</sup> )		Demanda (m <sup>3</sup> )		Diferencia (m <sup>3</sup> )
		parcial	acumulado	parcial	acumulado	
Julio	227.73	10.931	10.93	1.86	1.86	9.07
Agosto	165.80	7.958	18.89	1.86	3.72	15.17
Setiembre	47.00	2.256	21.15	1.80	5.52	<b>15.63</b>
Octubre	9.87	0.474	21.62	1.86	7.38	14.24
Noviembre	2.73	0.131	21.75	1.80	9.18	12.57
Diciembre	5.67	0.272	22.02	1.86	11.04	10.98
Enero	10.87	0.522	22.54	1.86	12.90	9.64
Febrero	9.73	0.467	23.01	2.52	15.42	7.59
Marzo	3.13	0.150	23.16	2.79	18.21	4.95
Abril	7.67	0.368	23.53	2.70	20.91	2.62
Mayo	18.80	0.902	24.43	1.86	22.77	1.66
Junio	33.53	1.610	26.04	1.80	24.57	1.47

Cálculo para un techo de 65 m<sup>2</sup>

MES	Precipitación (mm)	Abastecimiento (m <sup>3</sup> )		Demanda (m <sup>3</sup> )		Diferencia (m <sup>3</sup> )
		parcial	acumulado	Parcial	acumulado	
Julio	227.73	11.842	11.84	1.86	1.86	9.98
Agosto	165.80	8.622	20.46	1.86	3.72	16.74
Setiembre	47.00	2.444	22.91	1.80	5.52	<b>17.39</b>
Octubre	9.87	0.513	23.42	1.86	7.38	16.04
Noviembre	2.73	0.142	23.56	1.80	9.18	14.38
Diciembre	5.67	0.295	23.86	1.86	11.04	12.82
Enero	10.87	0.565	24.42	1.86	12.90	11.52
Febrero	9.73	0.506	24.93	2.52	15.42	9.51
Marzo	3.13	0.163	25.09	2.79	18.21	6.88
Abril	7.67	0.399	25.49	2.70	20.91	4.58
Mayo	18.80	0.978	26.47	1.86	22.77	3.70
Junio	33.53	1.744	28.21	1.80	24.57	3.64

## Ejemplo 2

### Determinación de la dotación de agua y del volumen del tanque de almacenamiento con un área de techo definida.

Determinar la dotación de agua per cápita y el volumen del tanque de almacenamiento más económico para una vivienda con un área de techo de 50 m<sup>2</sup> y en la que habita una familia de cinco personas. El techo está fabricado con tejas de arcilla cocida. Considerar para el presente caso, los datos de precipitación del cuadro anterior.

Material de techo : tejas de arcilla

Area de techo existente : 50 m<sup>2</sup>

Coefficiente de esorrentía : 0.8

La determinación de la oferta de agua para el techo de 50 m<sup>2</sup> se realiza de forma similar al ejemplo anterior

MES	Precipitación (mm)	Abastecimiento (m <sup>3</sup> )	
		Parcial	Acumulado
Julio	227.73	9.109	9.11
Agosto	165.80	6.632	15.74
Setiembre	47.00	1.880	17.62
Octubre	9.87	0.395	18.02
Noviembre	2.73	0.109	18.13
Diciembre	5.67	0.227	18.35
Enero	10.87	0.435	18.79
Febrero	9.73	0.389	19.18
Marzo	3.13	0.125	19.30
Abril	7.67	0.307	19.61
Mayo	18.80	0.752	20.36
Junio	33.53	1.341	21.70

Del cuadro se puede observar que la oferta de agua que brinda el techo de 50 m<sup>2</sup> a lo largo del año es de 21.7 m<sup>3</sup>. Considerando una reserva de 1 m<sup>3</sup> de agua, se tiene que la dotación diaria de agua para cada una de las cinco personas que habitan en la vivienda es:

$$\frac{\left(21.7\text{m}^3 - 1.0\text{m}^3\right) \times \left(\frac{1000\text{lt}}{\text{m}^3}\right)}{365\text{días} \times 5\text{hab.}} = 11.34 \text{ litros/hab-día}$$

A partir de la dotación diaria establecida en 11.34 litros/hab-día y que permite determinar la demanda, así como la oferta de agua de lluvia, se determina que el volumen del tanque de almacenamiento debe ser de 12.44 m<sup>3</sup>.

MES	Precipitación (mm)	Abastecimiento (m <sup>3</sup> )		Demanda (m <sup>3</sup> )		Diferencia (m <sup>3</sup> )
		parcial	Acumulado	Parcial	acumulado	
Julio	227.73	9.109	9.11	1.73	1.73	7.38
Agosto	165.80	6.632	15.74	1.73	3.45	12.29
Setiembre	47.00	1.880	17.62	1.73	5.18	<b>12.44</b>
Octubre	9.87	0.395	18.02	1.73	6.90	11.12
Noviembre	2.73	0.109	18.13	1.73	8.63	9.50
Diciembre	5.67	0.227	18.35	1.73	10.35	8.00
Enero	10.87	0.435	18.79	1.73	12.08	6.71
Febrero	9.73	0.389	19.18	1.73	13.80	5.38
Marzo	3.13	0.125	19.30	1.73	15.53	3.77
Abril	7.67	0.307	19.61	1.73	17.25	2.36
Mayo	18.80	0.752	20.36	1.73	18.98	1.38
Junio	33.53	1.341	21.70	1.73	20.70	1.00

**Anexo 6: Proforma de Materiales de Comercial Kywi S.A.**

AGENCIA 18 (ESMERALDAS)  
 RUC : 1790041220001  
 TELF : 710658  
 CIUDAD: ESMERALDAS

P R O F O R M A No. 206020  
 DOCUMENTO SIN VALOR COMERCIAL

RUC : 802114173 Cod.Cliente: 888885 0  
 Sr.(s) : KETTY CAMBINDO  
 DIRECCION: ESMERLADAS  
 TELEFONO : 222222222  
 VENDEDOR : ALEX ORTIZ

FECHA DE EMISION : 2014/06/17 Pag.: 1  
 VALIDO HASTA : 2014/06/30

## TANQUES

CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	PREC-UNIT	T O T A L
68446	MALLA PLASTICA VERDE 1/16" ALTO=1M, C/M	20	3,24	64,80
151300	VALVULA DE FLOTADOR 1/2" PEGLER	14	11,38	159,32
156728	TUBO PVC DESAGUE 50MMX3MT REFORZADO	4	5,44	21,76
157015	TUBO PVC P ROSCABLE 3/4" 340PSI	7	12,51	87,57
168408	VALV BOLA 1 R/R COMPACTA 2"	2	12,12	24,24
189308	TANQUE BOTELLA ECONOMICO KIT 3/4" 2500LT	14	281,88	3946,32
191426	TANQUE BOTELLA ECONOMICO KIT 1/2" 500LT	2	94,93	189,86
270326	CANAL U/C 80MMX40MMX3MM	10	29,37	293,70
270423	CORREA G 100MMX50MMX15X2	10	26,19	261,90
276561	CANAL DECORATIVO BLANCO PVC C/3MT	13	20,00	260,00
276588	BAJANTE PVC C/3MT.	4	15,62	62,48
276618	SOPORTE P/CANAL DECORATIVO BLANCO	20	0,90	18,00
276731	SOPORTE DE BAJANTE	15	0,80	12,00
286281	PLANCHA ZINC 3,60X0,82X0.20MM	54	10,28	555,12
* ---> CODIGOS EXENTOS DE IVA		SUBTOTAL	:	5.957,07
PAGUE COMO PAGUE KYWI LE OFRECE		IVA INCLUIDO	:	638,26
LOS MEJORES PRECIOS		TOTAL	:	5.957,07

FIRMA :

COMERCIAL KYWI S.A.

FIRMA :

CLIENTE

Esta Proforma tiene validez solo con el nombre, firma del vendedor y sello de COMERCIAL KYWI S.A.

En el caso de existir cambios en los precios de nuestros proveedores nos veremos obligados a actualizar precios en el momento de la facturación previo su conocimiento.

## **Anexo 7: Especificaciones Técnicas para el Diseño de Trampa de Grasa del CEPIS**

Fuente: CEPIS - Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales, 2003

**UNIDAD DE APOYO TÉCNICO  
PARA EL SANEAMIENTO BÁSICO DEL ÁREA RURAL**

---

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL  
DISEÑO DE TRAMPA DE GRASA**



Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente  
Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental  
Organización Panamericana de la Salud  
Oficina Sanitaria Panamericana – Oficina Regional de la  
Organización Mundial de la Salud

Auspiciado por:



Agencia Suiza para el  
Desarrollo y la Cooperación

**UNIDAD DE APOYO TÉCNICO PARA  
EL SANEAMIENTO BÁSICO DEL ÁREA RURAL**

## **Especificaciones Técnicas para el Diseño de Trampa de Grasa**



Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente  
División de Salud y Ambiente  
Organización Panamericana de la Salud  
Oficina Sanitaria Panamericana – Oficina Regional de la  
Organización Mundial de la Salud

Auspiciado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación

Lima, 2003

## Tabla de contenido

	<b>Página</b>
Símbolos .....	3
1. Objetivo .....	6
2. Definiciones.....	6
3. Aplicación.....	6
4. Requisitos previos .....	6
5. Diseño de la trampa de grasa .....	7
6. Características de la trampa de grasa.....	7
7. Bibliografía .....	8

### Lista de figuras

Figura 1. Trampa de grasa simple .....	8
Figura 2. Trampa de grasa con depósito de acumulación de grasa .....	8

## Símbolos

### **Trampa de grasa**

Q : Caudal máximo en lt/seg.

$\sum_p$  : Suma de todas las unidades de gasto a ser atendido por la trampa de grasa

## PREFACIO

La disposición sanitaria de excretas y aguas residuales, especialmente en localidades rurales y urbano-marginales, es una de las prioridades programáticas de la cooperación técnica que brinda la Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud (OPS/OMS) a través del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).

En este marco, y con el auspicio de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), la Unidad de Apoyo Técnico al Saneamiento Básico Rural (UNATSABAR) viene realizando diversas acciones de apoyo al sector agua y saneamiento en el Perú, entre las que se destaca la preparación del documento titulado **“Especificaciones técnicas para el diseño de trampa de grasa”**.

Con la publicación de este documento, la UNATSABAR pretende contribuir a la actualización, modernización y ampliación de la base normativa del Perú para la atención eficiente de las áreas más deprimidas del Perú. Asimismo, aspira a que tanto los funcionarios de los organismos públicos como los profesionales de la actividad privada, tengan un instrumento guía en su propósito de asegurar diseños adecuados de los sistemas de disposición de excretas.

## Agradecimiento

Por su tiempo y aportes realizados, en la elaboración de las ***“Especificaciones técnicas para el diseño de trampa de grasa”***, la Unidad de Apoyo Técnico al Saneamiento Básico del Área Rural (UNATSABAR) agradece a las siguientes instituciones participantes y colaboradores directos:

- ADRA Perú, “Agencia Adventista para el Desarrollo y Recursos Asistenciales”.
- COWATER
- CRUZ ROJA PERUANA
- DIGESA, “Dirección General de Salud Ambiental – Ministerio de Salud”.
- PAS/BM, “Programa de Agua y Saneamiento del Banco Mundial”
- PROAGUA GTZ, “Programa de Agua Potable y Alcantarillado”.
- PRONASAR, “Proyecto Nacional de Agua y Saneamiento Rural”.
- SANBASUR, “Proyecto de Saneamiento Básico en la Sierra Sur”.
- USAID, “Agencia para el Desarrollo Internacional”.

En especial a:

- AGUASAN/COSUDE, “Programa de agua y saneamiento de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación”.
- CARE Perú, “Cooperative for American Relief Everywhere”.
- FONCODES, “Fondo Nacional de Compensación y Desarrollo Social”.
- FOVIDA, “Fomento de Vida”.
- SUM Canadá, “Servicio Universitario Mundial de Canadá”.

## Especificaciones técnicas para el diseño de trampa de grasa

### 1. Objetivo

Normar el diseño de trampa de grasa como un medio de remoción del material graso de las aguas residuales de establecimientos en donde se preparen y expendan alimentos, así como de lavanderías.

### 2. Definiciones

- **Admisión:** Tubería de ingreso de las aguas residuales crudas a la trampa de grasa.
- **Descarga:** Tubería de salida del efluente acondicionado.

### 3. Aplicación

El empleo de trampa de grasa es de carácter obligatorio para el acondicionamiento de las descargas de los lavaderos, lavaplatos u otros aparatos sanitarios instalados en restaurantes, cocinas de hoteles, hospitales y similares, donde exista el peligro de introducir cantidad suficiente de grasa que afecte el buen funcionamiento del sistema de evacuación de las aguas residuales, así como de las descargas de lavanderías de ropa.

### 4. Requisitos previos

- a) Los desechos de los desmenuzadores de desperdicios no se deben descargar a la trampa de grasa.
- b) Las trampas de grasa deberán ubicarse próximas a los aparatos sanitarios que descarguen desechos grasos, y por ningún motivo deberán ingresar aguas residuales provenientes de los servicios higiénicos.
- c) Las trampas de grasa deberán proyectarse de modo que sean fácilmente accesibles para su limpieza y eliminación o extracción de las grasas acumuladas.
- d) Las trampas de grasa deberán ubicarse en lugares cercanos en donde se preparan alimentos.
- e) La capacidad mínima de la trampa de grasa debe ser de 300 litros.
- f) En el caso de grandes instalaciones como hospitales o restaurantes que atiendan a más de 50 personas, deberán considerar la instalación de dos trampas de grasa.
- g) No es obligatorio diseñar trampa de grasa para viviendas unifamiliares.
- h) Las trampas de grasa pueden ser construidas de metal, ladrillos y concreto, de forma rectangular o circular.

- i) Las trampas de grasa se ubicarán en sitios donde puedan ser inspeccionadas y con fácil acceso para limpiarlas. No se permitirá colocar encima o inmediato a ello maquinarias o equipo que pudiera impedir su adecuado mantenimiento.

## 5. Diseño de la trampa de grasa

- a) La determinación del caudal de diseño se ejecutará a partir de las unidades de gasto según lo indicado en el cuadro 1.

**Cuadro 1: Unidades de gasto de los aparatos sanitarios que descargan a la trampa de grasa.**

Aparato Sanitario	Tipo	Unidad de Gasto (*)
Lavadero de cocina	Múltiple	2
Lavadero de repostería	Hotel restaurante	4
Lavadero de ropa		3

(\*) Debe asumirse este número de unidades de gasto por cada grifo instalado en el lavadero.

- b) El caudal máximo se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$Q = 0.3 \sqrt{\sum p}$$

Donde:

Q = Caudal máximo en lt/seg.

$\sum p$  = Suma de todas las unidades de gasto a ser atendido por la trampa de grasa

- c) El volumen de la trampa de grasa se calculará para un período de retención entre 2,5 a 3,0 minutos.

## 6. Características de la trampa de grasa

- a) La relación largo:ancho del área superficial de la trampa de grasa deberá estar comprendido entre 2:1 a 3:2.
- b) La profundidad no deberá ser menor a 0,80 m.
- c) El ingreso a la trampa de grasa se hará por medio de codo de 90° y un diámetro mínimo de 75 mm. La salida será por medio de una tee con un diámetro mínimo de 75 mm.

- d) La parte inferior del codo de entrada deberá prolongarse hasta 0,15 m por debajo del nivel de líquido.
- e) La diferencia de nivel entre la tubería de ingreso y de salida deberá de ser no menor a 0,05 m.
- f) La parte superior del dispositivo de salida deberá dejar una luz libre para ventilación de no más de 0,05 m por debajo del nivel de la losa del techo.
- g) La parte inferior de la tubería de salida deberá estar no menos de 0,075 m ni más de 0,15 m del fondo.
- h) El espacio sobre el nivel del líquido y la parte inferior de la tapa deberá ser como mínimo 0,30 m.
- i) La trampa de grasa deberá ser de forma tronco cónica o piramidal invertida con la pared del lado de salida vertical. El área horizontal de la base deberá ser de por lo menos 0,25 x 0,25 m por lado o de 0,25 m de diámetro. Y el lado inclinado deberá tener una pendiente entre 45° a 60° con respecto a la horizontal (ver figura 1).
- j) Se podrá aceptar diseños con un depósito adjunto para almacenamiento de grasas, cuando la capacidad total supere los 0,6 m<sup>3</sup> o donde el establecimiento trabaje en forma continua por más de 16 horas diarias.
- k) La trampa de grasa y el compartimento de almacenamiento de grasa estarán conectados a través de un vertedor de rebose, el cual deberá estar a 0,05 m por encima del nivel de agua. El volumen máximo de acumulación de grasa será de por lo menos 1/3 del volumen total de la trampa de grasa (ver figura 2).

## 7. Bibliografía

- R. Franceys, J. Pickford & R. Reed: “Guía para el desarrollo del saneamiento *in situ*” – Water, Engineering and Development Centre Loughborough University of technology Loughborough, Inglaterra – Organización Mundial de la Salud – Ginebra 1994.
- Centro Regional de Ayuda Técnica – Administración de Cooperación Internacional (ICA): “Manual para el diseño, operación y mantenimiento de Tanques Sépticos” – U. S. Department of health, education, and welfare, México 1960.
- Ing. L. Quispe Castañeda (Dirección de Salud y bienestar social Sub Región Piura/ Ministerio de Salud – Perú) Dr. M. Azzariti (Dirección General para la cooperación al desarrollo - Italia), “Depuración de las aguas servidas disposición y eliminación de excretas en zonas rurales y urbano marginales”, Perú, 1993.
- Legislación Sanitaria sobre aspectos de Salud Ambiental "Reglamento de Normas Sanitarias para el diseño de tanques sépticos, campos de percolación y pozos de

absorción" Decreto Supremo del 7 de enero de 1966, consta de 60 artículos y un anexo - Dirección Técnica de Salud Ambiental, Ministerio de Salud, Lima Perú 1990.

- Water for the World, "Designing Subsurface Absortion Systems", technical Note N° SAN 2.D.1, Washington, D.C. A.I.D. 1982.
- Water for the World, "Designing Septic Tanks", technical Note N° SAN 2.D.1, Washington, D.C. A.I.D. 1982.
- Ramírez Escalona, Agustín, "Teoría de los proceso de los tanques sépticos", Memoria del curso: Microbiología y aplicaciones en los proceso biológicos de tratamiento de agua, Secretaria de Agricultura y recursos hidráulicos – OPS, México, 1983.
- E.G. WAGNER & J.N. LANOIX: "Evacuación de excretas en las zonas rurales y en las pequeñas comunidades", Organización Mundial de la Salud, Ginebra, 1960.

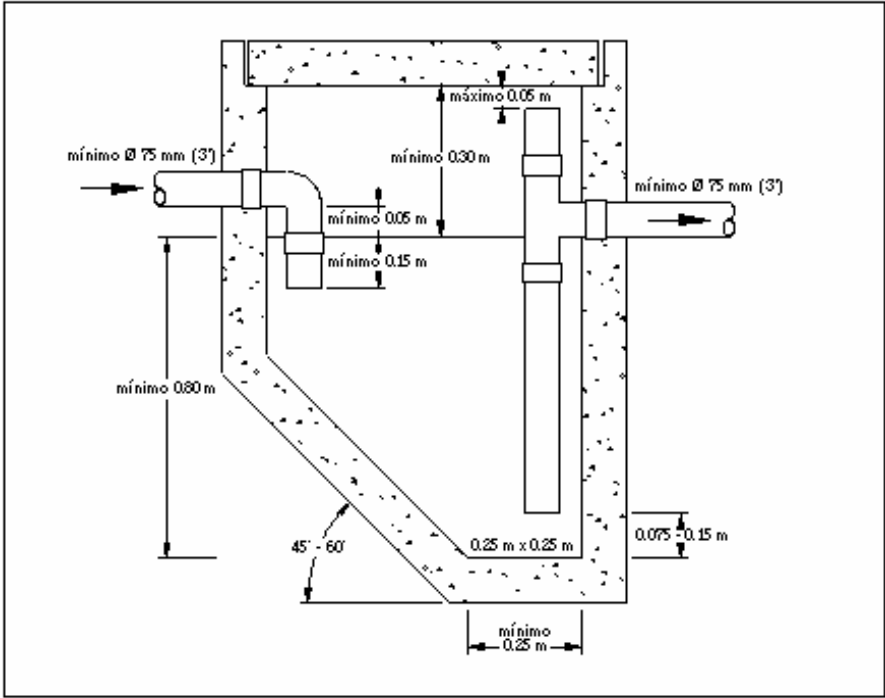


Figura 1. Trampa de grasa simple

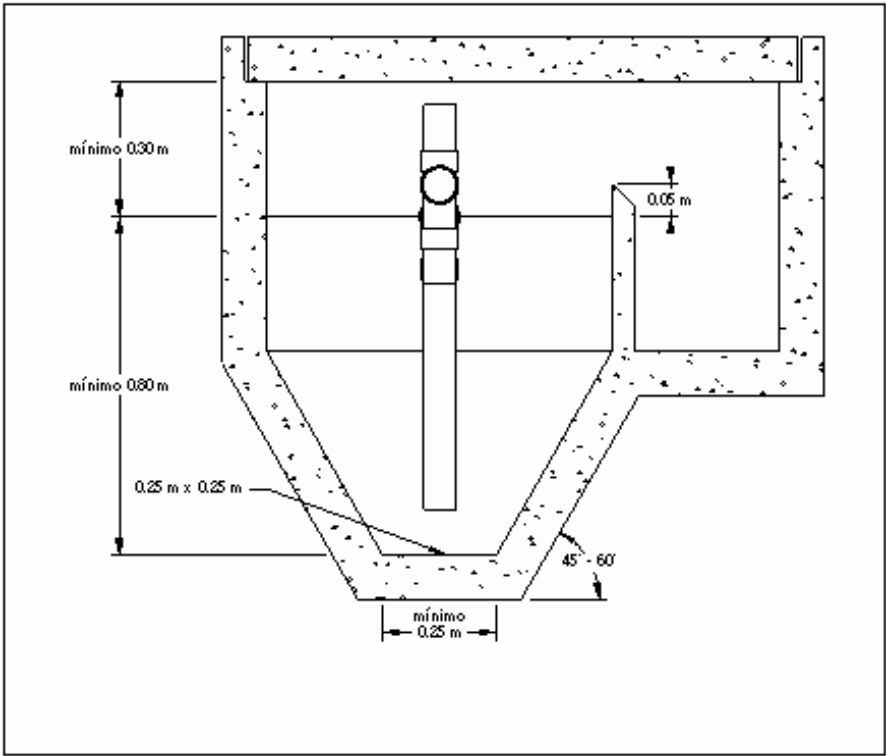


Figura 2. Trampa de grasa con depósito de acumulación de grasa

## Anexo 8: Matriz para calibrar el tamaño de humedales de aguas grises de acuerdo a Crites and Tchobanoglous (1998)

Fuente: Yocum, 2005.

Descripción	Volumen de agua grises al humedal (m <sup>3</sup> /día = 1000L/día)	BOD - nivel en influente (mg/L)	Nivel de BOD deseada de efluente (mg/L)	Tiempo pasado en el humedal construido (días)	Profundidad del substrato (m)	Anchura (m)	Longitud (m)	Total Área (m <sup>2</sup> )
Sistema individual (una casa): asume una contribución de 240L/familia/semana para 1 familia, con una velocidad de reacción conservadora de 1.1 y temperatura promedio inferior de 3°C	0.03	33	5	4.62	0.50	0.40	1.99	0.79
Sistema de varias casas: asume una contribución de 240L/familia/semana para 5 familias, con una [velocidad de reacción] conservativa de 1.1 y [temperatura inferior promedio] de 3°C	0.17	33	5	4.62	0.50	0.89	4.45	3.96
Pequeño sistema de la comunidad: asume una contribución de 240L/familia/semana para 20 familias, con una [velocidad de reacción] conservativa de 1.1 y [temperatura inferior promedio] de 3°C	0.69	33	5	4.62	0.70	1.68	6.73	11.31
El sistema medio de la comunidad: asume una contribución de 240L/familia/semana para 200 familias, con una [velocidad de reacción] conservativa de 1.1 y [temperatura inferior promedio] de 3°C	6.86	33	5	4.62	0.70	5.32	21.27	113.14
El sistema grande de la comunidad: asume una contribución de 240L/familia/semana para 400 familias, con una [velocidad de reacción] conservativa de 1.1 y [temperatura inferior promedio] de 3°C	13.72	33	5	4.62	0.70	7.52	30.09	226.28
Pequeño sistema de la comunidad: asume una contribución de 240L/familia/semana para 20 familias, con una [velocidad de reacción] mediana de 2.0 y [temperatura inferior promedio] de 3°C	0.69	33	5	2.54	0.50	1.48	5.90	8.71
El sistema medio de la comunidad: asume una contribución de 240L/familia/semana para 200 familias, con una [velocidad de reacción] mediana de 2.0 y [temperatura inferior promedio] de 3°C	6.86	33	5	2.54	0.50	4.67	18.67	87.12
El sistema grande de la comunidad: asume una contribución de 240L/familia/semana para 400 familias, con una [velocidad de reacción] mediana de 2.0 y [temperatura inferior promedio] de 3°C	13.72	33	5	2.54	0.50	6.60	26.40	174.23

## Anexo 9: Lista de algunas plantas que pueden ser utilizadas en los humedales artificiales en climas cálidos

Fuente: Hoffmann et al, 2011.

Nombre de la Planta	Características	Desventajas
Papiro Egipto ( <i>Cyperus papyrus</i> )	Decorativo (Ver Figura 21)	Altura 4 m, las raíces sólo se forman a partir de la planta madre.
Papiro paraguaita ( <i>Cyperus albostriatus</i> )	Son plantas resistentes, excelentes para altas cargas o sales del agua residual.	
Papiro enano ( <i>Cyperus haspens</i> )	Excelente cuando es la única planta.	No sobrevive a la sombra de las plantas más grandes.
Bambú, pequeñas especies ornamentales	Decorativo.	De crecimiento lento, especialmente en los 3 primeros años y si la planta no está bien adaptada al clima.
Espadaña de hoja ancha ( <i>Typha latifolia</i> )	A menudo son más resistentes en condiciones de calor que la caña.	
Especies de género <i>Heliconia</i> : <i>Canna</i> : <i>Zantedeschia</i> : Calla lily	Decorativo Conocido con el nombre ave del paraíso, platanera silvestre	Algunas plantas de estas especies prefieren condiciones de media sombra y otras de plena luz solar.
Pasto de Napier o hierba de elefante ( <i>Pennisetum purpureum</i> )	Especie gramínea nativas de las praderas tropicales de África.	Tiene una productividad muy alta en el forraje del ganado así como para la producción de biocombustibles.
Vetiver <i>Chrysopogon zanioides</i> , antiguamente conocido como <i>Vetiver jazizanioides</i>	Crece hasta 1,5 m de altura y forma un sistema radicular eficiente. Este pasto se utiliza en climas cálidos para el control de erosión y para la producción de esencia de aceite, destilado de sus raíces. También se utiliza como planta de forraje o como material de artesanía.	Las raíces no crecen tan bien cuando las plantas son utilizadas para el tratamiento de aguas residuales en HHAA, pero aún son eficientes para mantener la funcionalidad de un HFV.  Por lo tanto, el vetiver se recomienda sólo para HFV, pero no para HFH.