



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR
DE LOJA**

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TITULO DE INGENIERO CIVIL

**“Investigación, diseño, construcción y evaluación de prototipos para el
tratamiento y depuración de aguas en el sector rural, con la técnica de
biofiltración y evapotranspiración.”
(El Tambo-Catamayo-Loja)**

TRABAJO DE TITULACIÓN.

AUTOR:

Poma Torres, Heraldo Alexander

DIRECTOR:

Pineda Puglla, Edgar Iván, Msc

LOJA – ECUADOR

2015



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

Septiembre, 2015

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Msc.

Edgar Iván Pineda Puglla

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: “Investigación, diseño, construcción y evaluación de prototipos para el tratamiento y depuración de aguas en el sector rural, con la técnica de biofiltración y evapotranspiración.” realizado por Poma Torres Heraldo Alexander, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, octubre del 2015

f)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Poma Torres Heraldo Alexander declaro ser autor del presente trabajo de titulación: “Investigación, diseño, construcción y evaluación de prototipos para el tratamiento y depuración de aguas en el sector rural, con la técnica de biofiltración y evapotranspiración.”, de la Titulación de Ingeniería Civil, siendo Edgar Iván Pineda Puglla director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f.

Autor: Poma Torres Heraldo Alexander

Cédula: **1105595456**

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico con mucho cariño
a nuestra familia y a todos quienes aportaron positivamente
a lo largo de nuestra formación académica.

AGRADECIMIENTOS

El Autor expresa el más sincero agradecimiento al Msc. Edgar Iván Pineda, director de este Trabajo de Fin de Titulación, por haberme dado la oportunidad de participar en este proyecto, por su asesoramiento, dedicación, supervisión y por toda la confianza depositada.

A mi familia y amigos, con los que estaré siempre agradecido, porque a ellos les debo todo lo que soy. Por su guía y confianza en la realización de mis sueños. Haber llegado hasta aquí ha sido, única y exclusivamente, gracias a ustedes.

Al presidente del Gobierno Autónomo descentralizado de la Parroquia El Tambo, por la ayuda económica y la buena predisposición en llevar a cabo este proyecto.

Heraldo Alexander

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS	v
CAPÍTULO I.....	3
1.1. Introducción.....	4
1.2. Antecedentes.....	5
1.3. Objetivos.....	5
1.3.1. Objetivo General	5
1.3.2. Objetivos Específicos.....	5
1.4. Problemática.....	6
1.4.1. Aspectos sociales	6
1.4.2. Perfil epidemiológico de la parroquia El Tambo	7
1.4.3. Selección del sitio de estudio	7
1.4.4. Ubicación del sector	8
1.4.5. Vías de acceso.....	9
1.5. Justificación	9
1.6. Metodología	10
CAPÍTULO II.....	12
2.2. Enfermedades causadas por el agua.....	13
2.2.1. Enfermedades diarreicas.....	13
2.2.2. Cólera	13
2.2.3. Parásitos intestinales	13
2.3. Operaciones unitarias en el tratamiento del agua	14
2.4. Filtración.....	14
2.5. Biofiltración	14
2.5.1. Filtro aireado biológico.....	15
2.5.2. Mecanismo de aireación	15
2.5.3. Filtro lento de arena.....	15
2.5.4. Características del medio filtrante.....	16
2.5.5. Factores que influyen en la filtración.....	17

2.5.6. Hidráulica de filtración	18
2.5.7. Ventajas.....	19
2.5.8. Desventajas.....	19
2.6. Depuración de aguas negras.....	20
2.6.1. Tanque de Evapotranspiración	20
2.6.2. Funcionamiento del tanque de evapotranspiración	21
2.6.3. Procesos involucrados en la depuración	21
2.6.4. Plantas óptimas para el sistema	22
2.6.5. Volumen de aguas residuales en el sector rural	24
2.6.6. Ventajas.....	24
2.6.7. Desventajas.....	25
2.7. Depuración de aguas grises.....	26
2.7.1. Procesos para la depuración de aguas grises	26
2.7.2. Depuración utilizando biofiltros combinado con un humedal	27
2.7.3. Estimación de la cantidad de aguas grises	27
CAPÍTULO III.....	28
3.1. Tratamiento de agua	29
3.1.1. Captación.....	29
3.1.2. Filtro rápido de grava	30
3.1.3. Tanque Rompe-presión.....	31
3.1.4. Filtro biológico aireado.....	34
3.1.5. Filtro lento de arena.....	37
3.2. Unidad sanitaria.....	44
3.2.1. Descripción	44
3.2.2. Resultados	44
3.3. Depuración de aguas negras.....	44
3.3.1. Descripción y diseño	44
3.3.2. Sistema constructivo	45
3.3.3. Presupuesto.....	45
3.3.4. Resultados	46
3.4. Depuración de aguas grises.....	49
3.4.1. Descripción y diseño	49
3.4.2. Sistema constructivo	50
3.4.3. Presupuesto.....	50

3.4.4. Resultados	52
CONCLUSIONES.....	54
RECOMENDACIONES.....	55
BIBLIOGRAFÍA	56
ANEXOS	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Desarrollo de la Biocapa en el filtro de arena	16
Tabla 2. Factores a considerar en la selección de plantas	23
Tabla 3. Volúmenes producidos de agua residual en el sector rural.	24
Tabla 4. Costos directos del filtro rápido de grava	31
Tabla 5. Componentes tanque rompe-presión	32
Tabla 6. Costos directos del tanque de almacenamiento y rompe-presión.....	33
Tabla 7. Costo directo del filtro biológico aireado.....	35
Tabla 8. Componentes del filtro lento de arena	37
Tabla 9. Costo directo del filtro lento de arena	38
Tabla 10. Cálculos del TRH del filtro lento de arena	40
Tabla 11. Remoción de Gérmenes totales	42
Tabla 12. Características del prototipo de aguas negras	44
Tabla 13. Costo directo de la cámara de evapotranspiración	46
Tabla 14. Componentes de la zanja de filtración.....	49
Tabla 15. Costo directo del tanque de almacenamiento y regulación	50
Tabla 16. Costo directo de tanques de ferrocemento	51
Tabla 17. Costo directo zanja de filtración	51
Tabla 18. Costo directo total del proyecto	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Canal de riego, abastece a la comunidad de agua para su consumo.	6
Figura 2. Sólidos sedimentados del agua del canal de riego.....	6
Figura 3. Socialización con la familia seleccionada.....	8
Figura 4. Localización geográfica de la parroquia El Tambo, cantón Catamayo	9
Figura 5 Ubicación de los diferentes componentes del tratamiento de agua	29
Figura 6. Componentes filtro rápido.....	30
Figura 7. Filtro rápido.....	30
Figura 8. Columna de arena (1000ml) para calcular los espacios vacíos	39

RESUMEN

La dotación de servicios básicos en los sectores rurales debido a su ubicación y crecimiento disperso de las viviendas es difícil y en ocasiones imposible, principalmente con agua potable y con el saneamiento de sus aguas residuales.

Una de las alternativas de tratamiento de agua es la técnica de biofiltración, obteniendo resultados satisfactorios en la remoción de ciertos patógenos existentes en el agua, causantes de muchas enfermedades de origen hídrico como enfermedades diarreicas, cólera, parásitos intestinales etc. La biofiltración consiste en tratar del agua a través de una capa biológica, la población microbiana colonizada en el medio filtrante utiliza las sustancias peligrosas como fuente energía y alimento.

De igual forma el crecimiento disperso de las viviendas en el sector rural, el coste de inversión y mantenimiento para la depuración de las aguas residuales con procesos convencionales es muy elevado, por lo tanto es necesario depurar las aguas con un sistema unifamiliar, que permita disminuir la contaminación hacia los ríos, quebradas y el subsuelo, protegiendo las fuentes de agua y el subsuelo.

PALABRAS CLAVES: biofiltración, evapotranspiración, biomasa

ABSTRACT

The provision of basic services in rural areas because of its location and sprawl of housing is difficult and sometimes impossible, especially drinking water and sanitation of wastewater.

One alternative water treatment is the technique of biofiltration, obtaining satisfactory results in the removal of certain existing pathogens in water, causing many waterborne diseases like diarrhea, cholera, intestinal parasites etc. Biofiltration is to treat the water through a biological layer, the microbial population in the filter medium colonized dangerous substances used as energy source and food.

Likewise, the sprawl of housing in rural areas, the cost of investment and maintenance for the purification of waste waters with conventional processes is very high, so it is necessary to purify the waters with a family system, enabling lower pollution into rivers, streams and underground, protecting water sources and underground.

KEYWORDS: biofiltration, evapotranspiration

CAPÍTULO I
1. GENERALIDADES

1.1. Introducción.

La dotación de servicios básicos en los sectores rurales debido a su ubicación y crecimiento disperso de las viviendas es difícil y en ocasiones imposible, principalmente con agua potable y con el saneamiento de sus aguas residuales, para lo cual es necesario utilizar diferentes alternativas de tratamiento y depuración, que a su vez tengan un bajo coste de inversión, fácil construcción y mantenimiento del sistema, en lo posible se lo realice con mano de obra del sector, mejorando la calidad de vida de los usuarios.

Entre las diferentes alternativas de tratamiento de agua, los tratamientos biológicos han adquirido gran importancia debido a su remoción eficaz de contaminantes a costes menores de inversión con respecto a otros procesos de tratamiento.

Entre los principales métodos biológicos, la técnica de biofiltración se viene implementando en varios países, obteniendo resultados satisfactorios en la remoción de ciertos patógenos existentes en el agua, causantes de muchas enfermedades de origen hídrico como enfermedades diarreicas, cólera, parásitos intestinales etc. La biofiltración consiste en tratar el agua a través de una capa biológica, la población microbiana colonizada en el medio filtrante utiliza las sustancias peligrosas como fuente energía y alimento. (Arcos Serrano & Fernández Villagómez, 1993)

En la actualidad una de las grandes preocupaciones de organismos internacionales es la contaminación del medio ambiente, siendo una de las principales causas de contaminación hacia los ríos, quebradas y el subsuelo la descarga directa sin una depuración previa de las aguas residuales de los grandes y pequeños poblados.

Existen diversos procesos para la depuración de aguas negras y grises entre los principales están; los procesos físicos, químicos y biológicos. En los procesos físicos se encuentra el desbaste, tamizado, sedimentación, filtración, coagulación-floculación, etc. Entre los diferentes procesos químicos se encuentran el intercambio iónico, adsorción, desinfección, etc. Mientras que en los procesos biológicos están los sistemas aerobios, anaerobios y anóxicos.

El crecimiento disperso de las viviendas en el sector rural, el coste de inversión y mantenimiento para la depuración de las aguas residuales con procesos convencionales es muy elevado, por lo tanto es necesario depurar las aguas con un sistema unifamiliar, que permita disminuir la contaminación hacia los ríos, quebradas y el subsuelo, protegiendo las fuentes de agua y el subsuelo. Los principales procesos involucrados en la depuración de aguas negras a través de un tanque de evapotranspiración son; digestión anaerobia,

procesos aeróbicos y la evapotranspiración. Las principales ventajas son el coste de inversión, mantenimiento y la operación del sistema puede ser realizado por los usuarios.

El manejo adecuado de las aguas grises tiene efectos positivos como la mejora de las condiciones de vida de las personas, disminución de la contaminación en los cuerpos de agua cercanos, además se obtiene un gran potencial para su reutilización. Por tanto se utiliza un sistema de biofiltración combinado con una zanja de filtración para la depuración de estas aguas.

1.2. Antecedentes

La falta de agua potable en la provincia de Loja es una de las principales necesidades insatisfechas, en toda la provincia el 67.1% se abastecen de agua potable de una red pública, el cantón Catamayo seleccionado para implementar los prototipos desarrollados en este estudio, cuenta con una cobertura de agua potable por red pública del 76%, en la parroquia de El Tambo cantón Catamayo su población se abastece el 54% de agua potable, el 7% se abastece de un pozo comunitario, el 37% de la población se abastece de ríos, vertientes, acequias o canal, el 2% se abastece de agua lluvia o albarrada. Los habitantes del barrio San Bernabé se abastecen de agua a partir de un canal de riego del sector. (GADP El Tambo, 2012).

De igual manera en la provincia de Loja existe la necesidad de depurar las aguas residuales de los grandes y pequeños poblados, la provincia tiene una cobertura de alcantarillado del 59.3%, en el cantón Catamayo el 59% de la población tiene alcantarillado, es así que en el Tambo, la eliminación de las aguas servidas el 6% de su población lo realiza por medio de la red pública de alcantarillado, el 31% a través de pozo séptico, el 12% tiene pozo ciego, el 2% realiza la descarga directa al río o a una quebrada, el 18% posee letrina y el 31% no posee de estos servicios. (GADP El Tambo, 2012).

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Investigar, diseñar, construir y evaluar los sistemas de biofiltración para el tratamiento y depuración de aguas en comunidades rurales.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Diseñar los sistemas que sustenten la tecnología de tratamiento y depuración de agua.
- Construir los sistemas de tratamiento y depuración para su implementación.

- Implementar en el campo los sistemas construidos.
- Evaluar el funcionamiento de los sistemas implementados.

1.4. Problemática

En el sector de San Bernabé de la parroquia de El Tambo, sus habitantes se abastecen del líquido vital de un canal de riego que atraviesa cerca a la comunidad, sin pasar por un tratamiento previo el cual garantice la eliminación de los principales patógenos causantes de muchas enfermedades como cólera, enfermedades diarreicas, parásitos intestinales etc.



Figura 1. Canal de riego, abastece a la comunidad de agua para su consumo.

Fuente: El Autor



Figura 2. Sólidos sedimentados del agua del canal de riego.

Fuente: El Autor

De igual manera la escasa o nula depuración de las aguas residuales en el barrio San Bernabé constituye la principal fuente de contaminación del agua de ríos, vertientes y las capas freáticas del subsuelo.

1.4.1. Aspectos sociales

La gran mayoría de las familias del sector rural no tienen acceso al agua potable y transportan el agua a través de tuberías desde las vertientes, sin un tratamiento que garantice su consumo, dando lugar a enfermedades de origen hídrico. Según el GADP El Tambo (2012), los habitantes de la parroquia se abastecen el 54 % de la red pública, el 7% de pozos, el 37 % del río, vertientes o canal y el 2 % de agua lluvia o albarrada.

La gran deficiencia del tratamiento de aguas residuales de los grandes y pequeños poblados, contaminan las quebradas, capas del subsuelo, vertientes, etc.

En el lugar seleccionado para desarrollar el proyecto (parroquia del Tambo-Catamayo) la eliminación de sus aguas servidas se lo realiza por medio de la red pública de alcantarillado el 6 % de la población, el 31 % tiene pozo séptico, el 12 % conectado a pozo ciego, el 2 % descarga directa al río o quebrada, el 18 % posee letrina y el 31% no posee letrina.

El 80% de la población de la cabecera parroquial de El Tambo cuenta con alcantarillado sin embargo no posee ningún tipo de depuración antes de encausar estas aguas al río. Esta situación genera problemas de salud y sobre todo contaminación.

1.4.2. Perfil epidemiológico de la parroquia El Tambo

Las enfermedades de mayor ocurrencia que tiene la parroquia El Tambo están: La parasitosis causada por la falta de un buen servicio de agua potable, alcantarillado, letrización, saneamiento ambiental, vías carrozables polvorientas, deficientes conocimiento de higiene, entre otras, y tiene mayor ocurrencia en los niños. La gripe enfermedad viral, habitual en los meses de la época invernal. La desnutrición ocasionada por la falta de una dieta balanceada. (GADP El Tambo, 2012)

1.4.3. Selección del sitio de estudio

La selección del sitio de estudio se realiza conjuntamente con el GADP El Tambo y el director del Trabajo de Fin de Titulación, entre las familias con mayores necesidades se elige el hogar con la falta de servicios básicos; agua potable y saneamiento de sus aguas residuales, llegando a la conclusión de realizar el proyecto en la vivienda de la familia Torres-Torres, visitando el domicilio para socializar el proyecto a la familia y solicitar la apertura para el desarrollo del proyecto, el núcleo familiar es conformado por los señores: Felipe T. (80 años), Cumandá T. (45 años), José Armando T. (16 años), Luis Miguel T.(5 años), Aidé T. (27 años).



Figura 3. Socialización con la familia seleccionada.

Fuente: El Autor

1.4.4. Ubicación del sector

El Tambo es una de las parroquias rurales del Cantón Catamayo perteneciente a la provincia de Loja. Se encuentra localizada al Sur Este del Cantón Catamayo, al Norte del Río Catamayo que corresponde a la zona alta de la Cuenca hidrográfica del Río Catamayo-Chira.

En la parroquia los sectores más bajos se encuentran a 1.300 m.s.n.m, mientras que los más altos se encuentran 2.800 m.s.n.m., su temperatura varía entre 18°C y 20° C, consecuentemente esta región mantiene un clima cálido seco a cálido húmedo (GADP El Tambo, 2012). El proyecto se encuentra implantado en el barrio San Bernabé perteneciente a la parroquia del Tambo.

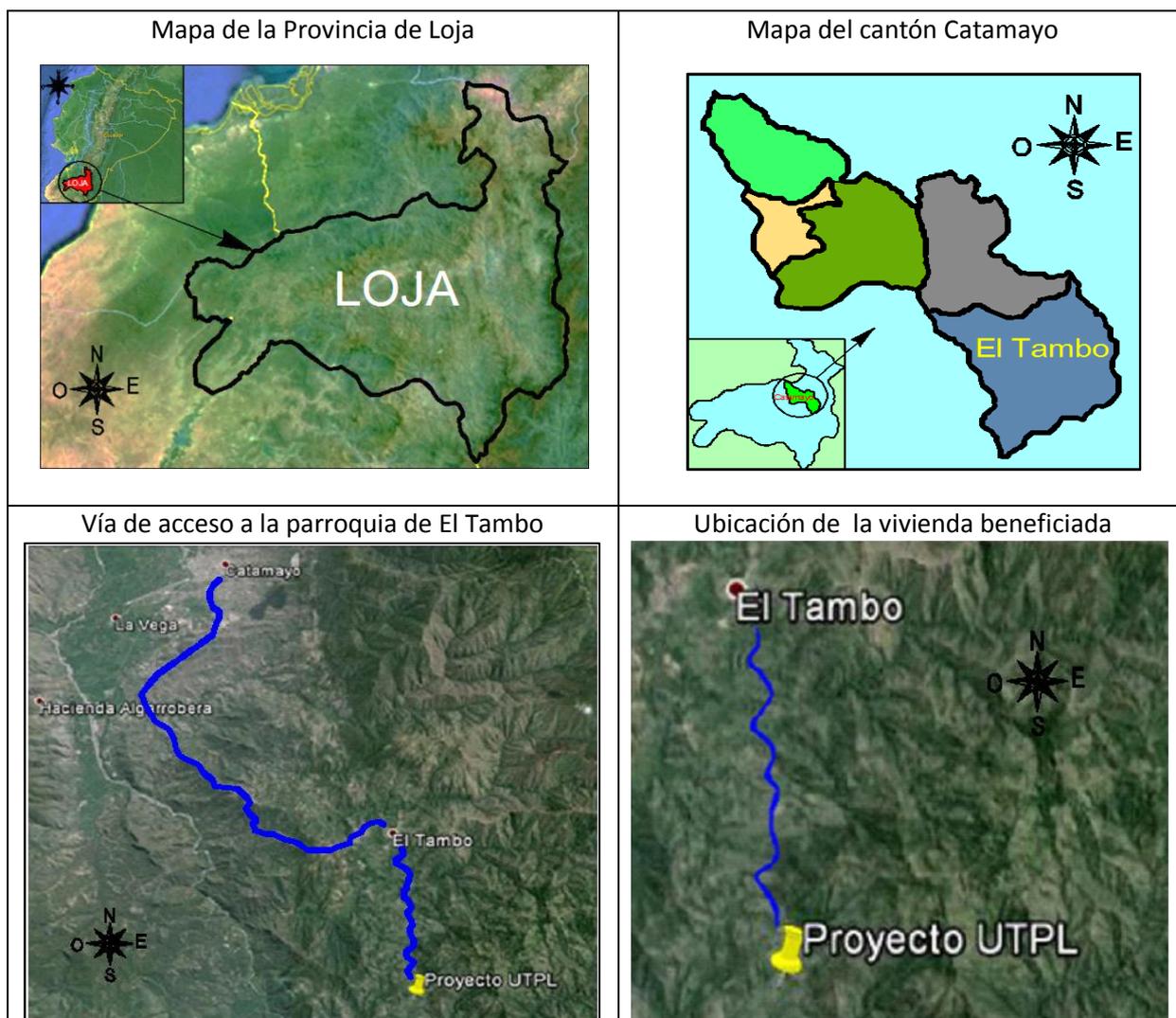


Figura 4. Localización geográfica de la parroquia El Tambo, cantón Catamayo

Fuente: Google Earth

1.4.5. Vías de acceso

Para acceder a la vivienda de la familia beneficiada, se puede realizar por dos rutas: la primera ruta con una distancia aproximada de 50 Km por la vía Loja- Catamayo- El Tambo, luego se conecta con una vía de tercer orden desde la cabecera parroquial de El Tambo hacia el barrio San Bernabé a una distancia aproximada de 8 km.

La segunda alternativa por la vía Loja- Malacatos-San Bernabé. La vía que conecta Loja- Malacatos es de primer orden tiene una distancia aproximada de 33 Km y se conecta con la vía de tercer orden desde Malacatos-San Bernabé con una distancia aproximada de 20 km.

1.5. Justificación

Con el fin de buscar la solución a estos problemas de los sectores rurales, y especialmente de la familia beneficiada, es necesario investigar y aplicar tecnologías diferentes para el

tratamiento de agua potable y la depuración de aguas residuales, entre los diversos tipos de tratamiento y saneamiento de aguas, está la biofiltración para el tratamiento de agua potable y la depuración de las aguas negras a través de una cámara de evapotranspiración, los cuales son sistemas eficientes, el coste de inversión es mucho menor comparado con los métodos convencionales y su mantenimiento puede ser realizado por los usuarios.

La biofiltración es uno de los métodos biológicos más recomendados para el tratamiento de agua, debido a su grado de remoción, mantenimiento del sistema y el coste de inversión.

De igual manera la depuración de las aguas residuales es un problema para el medio ambiente, debido a la contaminación que se realiza a través de los pozos sépticos, en varios países se ha implementado la depuración de estas aguas con un tanque de evapotranspiración, el cual es económico con respecto a los tratamientos tradicionales, no requiere un mayor mantenimiento ni mano de obra calificada para su funcionamiento pudiendo ser operado por los usuarios. Los proyectos de saneamiento descentralizados integrales tienen que procurar el buen funcionamiento de la depuración de aguas grises, por el contrario el proyecto desarrollado no tendrá el impacto esperado en la salud de las personas y en el medio ambiente, en el presente estudio se propone utilizar biofiltros combinados con un humedal para la depuración de estas aguas.

1.6. Metodología

Dada la situación actual de la familia beneficiada es necesario el estudio de diferentes métodos de tratamiento y depuración de agua, los cuales garanticen calidad, duración y el coste de inversión sea accesible, por lo tanto se propone la presente metodología para el desarrollo del presente proyecto.

- a) En el diseño de los sistemas para el tratamiento y depuración de agua se realiza como primer paso la investigación y recopilación de información, sobre biofiltración y evapotranspiración. Se realiza la búsqueda del lugar apropiado para la implantación de los prototipos y la visita técnica del lugar, posteriormente se realiza el muestreo del agua existente para su análisis físico, químico y bacteriológico.
- b) Con los resultados de los ensayos físicos, químicos y bacteriológicos del agua existente en el lugar, se analiza los métodos a utilizarse para tener una mejora en la calidad del agua, dichos métodos tienen que adaptarse a la necesidad del lugar y a la calidad del agua con la que se cuenta.
- c) Desarrollar el diseño de los prototipos utilizando la técnica de biofiltración tomando en cuenta las características físicas, químicas y bacteriológicas del agua. De igual

manera realizar el diseño del tanque de evapotranspiración para el tratamiento de las aguas negras y el diseño de la depuración de las aguas grises utilizando la técnica de biofiltración.

- d) Realizar la construcción de los prototipos en laboratorio para el tratamiento de agua utilizando la técnica de biofiltración, con los materiales que mejores resultados presenten en la calidad del agua. De igual forma construir el prototipo en laboratorio para la depuración de aguas grises.
- e) Realizar la instalación de los prototipos desarrollados para el tratamiento de agua y para la depuración de aguas grises. A su vez construir la cámara de evapotranspiración con materiales del sector y utilizar las plantas que mejor se adapten al clima del lugar (San Bernabé – El Tambo), en el cual se va a desarrollar el proyecto.
- f) Evaluar el funcionamiento de los prototipos desarrollados en el presente estudio, se realiza el muestreo del agua para realizar ensayos físicos, químicos y bacteriológicos a la entrada y salida de los sistemas para evaluar los porcentajes de remoción.

CAPÍTULO II
2. MARCO TEÓRICO

2.1. Panorama actual

La Constitución del Ecuador en sus artículos 66 y 276 "... reconocen y garantizan a las personas y colectividades el derecho al acceso equitativo, permanente y de calidad de agua, aire, suelo y a una vida digna que asegure la salud, alimentación y nutrición, agua potable, vivienda, saneamiento ambiental, educación..." Es así que organizaciones nacionales e internacionales realizan el máximo esfuerzo para lograr que la pureza del agua de consumo sea la mayor posible. Las personas que presentan mayor riesgo de contraer enfermedades de origen hídrico son los lactantes, los niños de corta edad y los ancianos. (OMS, 2006)

2.2. Enfermedades causadas por el agua

Según UNICEF, (2015) las principales enfermedades de origen hídrico que afectan a muchas personas son las siguientes:

2.2.1. Enfermedades diarreicas

Cada año en todo el mundo se dan 4000 millones casos de diarrea y 1.8 millones de personas mueren a causa de esta enfermedad, de las cuales más del 90 % son niñas y niños menores de cinco años. Esta enfermedad es ocasionada por una variedad de gérmenes presentes en el agua, entre ellos los virus, las bacterias y los protozoos.

2.2.2. Cólera

La carga de morbilidad es de unos 3 millones a 5 millones de casos y entre 100 000 y 120 000 defunciones cada año, el cólera es una infección diarreica aguda causada principalmente por la ingestión de agua y alimentos contaminados con el bacilo *Vibrio cholerae* causando diarrea, deshidratación aguda e incluso puede provocar la muerte si no se trata de inmediato.

2.2.3. Parásitos intestinales

Los parásitos intestinales afectan a más del 10% de la población en los países en desarrollo y, pueden causar desnutrición, anemia o retrasos en el crecimiento. Los niños y las niñas son especialmente vulnerables a los parásitos y, por lo general, tienen la mayor cantidad de helmintos en sus intestinos. Alrededor de 400 millones de menores en edad escolar están infectados por ascárides comunes, tricocéfalos y anquilostomas.

Estas enfermedades y la mayoría de las enfermedades de origen hídrico se pueden prevenir con la mejora de la purificación del agua, el abastecimiento de agua limpia y medidas de higiene básicas logran proteger la salud de las personas.

2.3. Operaciones unitarias en el tratamiento del agua

Según la Organización Mundial de la Salud (2004), existen diversos procesos para el tratamiento del agua entre los principales tenemos:

- a) La transferencia de sólidos: se tiene el cribado o cernido, sedimentación, flotación, filtración.
- b) Transferencia de iones: se desarrolla a través de procesos de coagulación, precipitación química, adsorción e intercambio iónico
- c) Transferencia de gases: entre los principales procesos tenemos la aereación, desinfección, recarbonatación.
- d) Transferencia de nutrientes: Este tipo de transferencia se lleva a cabo principalmente en la filtración, debido a que los mecanismos de remoción más eficientes corresponden a la actividad de los microorganismos colonizados en el proceso. Estos organismos convierten sustancias inorgánicas simples en material celular y a la vez generan oxígeno para la supervivencia de los microorganismos aerobios presentes en el tratamiento.

2.4. Filtración

La filtración consiste en la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en el agua que escurre a través de un medio poroso. La filtración usualmente es considerada como el resultado de dos mecanismos distintos pero complementarios: transporte y adherencia. Las partículas por remover son transportadas de la suspensión a la superficie de los granos del medio filtrante. Ellas permanecen adheridas a los granos, siempre que resistan la acción de las fuerzas de cizallamiento debidas a las condiciones hidrodinámicas del escurrimiento. (Vargas L. d., 2004)

En el proceso de filtración, la remoción de impurezas se lleva a cabo en varias formas y depende de varias circunstancias principalmente la calidad del agua a tratarse, la naturaleza y la composición del medio filtrante, velocidad de filtración y el tiempo de retención. (Geyer Okun, 1998)

Entre los tratamientos biológicos existentes, la biofiltración es uno de los métodos más aplicados debido a los resultados obtenidos y al bajo coste de inversión.

2.5. Biofiltración

Encontrar una manera de proveer agua limpia y segura en las zonas rurales es un paso necesario en cualquier esfuerzo para mejorar la calidad de vida de las personas y mitigar

los efectos devastadores de las enfermedades en las personas de los países en vías de desarrollo.

La filtración lenta en arena por más de 150 años, ha sido un medio eficaz para el tratamiento de agua y el control de contaminantes microbiológicos. (Esther & Balakrishna, 2008)

2.5.1. Filtro aireado biológico

En el tratamiento biológico del agua, la población microbiana colonizada en el tratamiento utilizan las sustancias peligrosas como fuente energía y alimento, los microorganismos como los protozoarios, bacterias y hongos transforman los compuestos orgánicos tóxicos mediante procesos bioquímicos y fisicoquímicos en formas moleculares estables e inorgánicas más simples. (Arcos Serrano & Fernández Villagómez, 1993) .

Un filtro aireado biológico es un bioreactor que proporciona una opción para el tratamiento de aguas en las diversas etapas, la bioactividad y la eliminación eficiente de contaminantes a través de un filtro aireado biológico son generalmente bajos debido a que la mayoría de los materiales utilizados tienen mala afinidad para el crecimiento de la biopelícula. La selección de medios es fundamental para el diseño y operación, para cumplir con los requerimientos de un efluente de calidad. La selección de medios granulares juega un papel importante en el mantenimiento de grandes cantidades de biomasa activa y diversas poblaciones microbianas. (Teng Bao, 2014)

2.5.2. Mecanismo de aireación

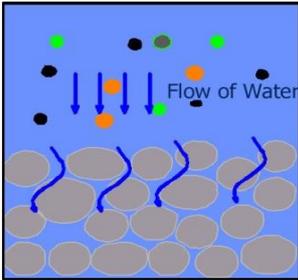
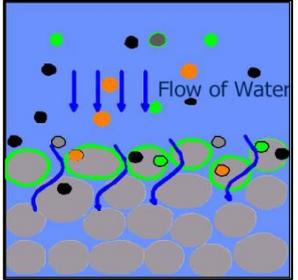
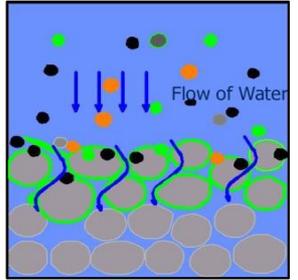
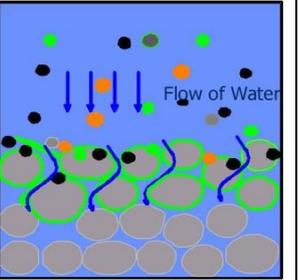
La concentración de oxígeno disuelto (OD) en el agua afecta la profundidad de la capa aerobia de la biopelícula y por lo tanto la efectividad de la misma. La concentración de oxígeno disuelto deberá ser baja como sea posible para disminuir la energía por aireación. El suministro de oxígeno puede ser por medio de difusores de aire ubicados dentro del filtro, presenta una gran eficiencia de disolución de oxígeno y ofrece un mayor contacto líquido-sólido en la superficie de la biopelícula, disminuyendo la posibilidad de la colmatación del filtro. (Castelán Rogríguez, 2015)

2.5.3. Filtro lento de arena

El funcionamiento de un biofiltro lento de arena se realiza en dos diferentes etapas, en la primera fase el agua a tratarse tiene que atravesar por diferentes tipos de granulometrías, la eliminación de los contaminantes se produce principalmente en la capa de colmatación, constituye la primera etapa del tratamiento, es una capa activa biológicamente que consta

de algas, bacterias, diatomeas y zooplancton, la cual requiere un periodo de 6 a 8 semanas para su formación. (Esther & Balakrishna, 2008)

Tabla 1. Desarrollo de la Biocapa en el filtro de arena

A partir de la operación	La formación de biocapa	Biocapa se acumula con el uso y el tiempo.	Biocapa se acumula por el material capturado.
			
<p>No existe biocapa alrededor de las partículas.</p>	<p>Biocapa sobre las partículas de arena.</p>	<p>La capa biológica se formará más rápidamente con una mayor concentración de vida acuática.</p>	<p>Presencia de algas, diatomeas y zooplancton, periodo de 6 a 8 semanas para su formación.</p>

Fuente: Esther & Balakrishna,(2008)

En la segunda etapa del tratamiento, los microorganismos contaminantes mueren por la falta de nutrientes y de oxígeno debido a la altura de la capa de arena. (Esther & Balakrishna, 2008)

2.5.4. Características del medio filtrante

Para obtener los resultados esperados es de gran importancia la elección del material filtrante adecuado, según Domínguez Fabela (2012), el medio filtrante debe cumplir los siguientes requerimientos:

- a) Elevada área superficial.
- b) Estabilidad química y biológica.
- c) Porosidad alta
- d) Un nivel adecuado de adherencia de los microorganismos.
- e) Durabilidad, resistencia mecánica a la abrasión.
- f) Capacidad de atrapar sólidos suspendidos.
- g) Bajo coste y de fácil fabricación.

Es difícil hallar un medio filtrante que cumpla con todas las recomendaciones anteriormente descritas, según Castelán Rogríguez,(2015), los principales tipos de medios de soporte pueden ser:

- a) Medio granular irregular : Entre los principales están arena, cuarzo, rocas volcánicas, coque, carbón, conchas de moluscos, piezas de plástico, piezas de corcho, piezas de madera, etc.
- b) Medio granular uniforme: Como los anillos rashing, tubos de plástico, anillos pall, etc.
- c) Medio con forma de poste: Postes de madera, ramas de árbol, etc.
- d) Medio con forma de plato: Plato de madera, plástico, corrugados, etc.
- e) Medio con forma de bloque poroso: Tubos porosos de plástico, tubos de panal, etc.

2.5.5. Factores que influyen en la filtración

Los principales factores que influyen en la filtración están el tamaño de las partículas suspendidas, temperatura del agua a filtrar, concentración de partículas suspendidas en el agua a tratarse, pH del agua (Barrientos, Tello, Pacheco, & Palomino, 2009)

En la filtración intervienen dos mecanismos distintos pero complementarios: transporte y adherencia. Primero, las partículas por remover son transportadas de la suspensión a la superficie de los granos del medio filtrante. Ellas permanecen adheridas a los granos, siempre que resistan la acción de las fuerzas de cizallamiento debidas a las condiciones hidrodinámicas del escurrimiento. Vargas L. d., (2004) recomienda tomar en cuenta los siguientes mecanismos de transporte y de adherencia.

Los mecanismos de transporte:

- a) Cernido
- b) Sedimentación
- c) Intercepción
- d) Difusión
- e) Impacto inercial
- f) Acción hidrodinámica
- g) Mecanismos de transporte combinados.

Los mecanismos de adherencia:

- a) Fuerzas de Van der Waals
- b) Fuerzas electroquímicas

c) Puente químico.

2.5.6. Hidráulica de filtración

En la filtración, las principales características hidráulicas que influyen son:

a) Carga hidráulica

Se define como carga hidráulica como la fuerza propulsora que hace que el agua se movilice de un lugar a otro debido a la presión y elevación. Los principales factores que afectan la carga hidráulica son: las dimensiones de la capa filtrante, granulometría del medio filtrante, aspectos económicos, etc. (CAWST, 2008)

b) Porosidad

Esta propiedad afecta directamente el tiempo de retención hidráulica y la cantidad de biomasa retenida en el reactor, la pérdida de carga a través del filtro disminuye con una mayor porosidad del medio. Por lo tanto se investiga un medio con mayor porosidad, mayor resistencia mecánica y mayor área específica, siendo los valores típicos en materiales granulares del orden de 0.38 a 0.48, para su cálculo se tiene la siguiente ecuación recomendada por Castelán Rogríguez, (2015):

$$\text{Porosidad} = \frac{V}{V_t} \quad \text{Ec. 1}$$

Dónde:

V: Volumen de vacíos

V_t: Volumen total

c) Tiempo de retención hidráulica

El tiempo de retención hidráulica se define como la cantidad de tiempo que pasa el agua en el tratamiento, o el tiempo que tiene contacto directo tanto con la biopelícula como con el medio filtrante, por lo tanto con un mayor tiempo de residencia hidráulica se favorece la producción de microorganismos y tiene una eficiencia de remoción más alta de contaminantes. (Castelán Rogríguez, 2015)

Para su cálculo se utiliza la ecuación propuesta por Garzón Zúñiga, (2001)

$$\text{TRH} = \frac{V_t}{Q} \quad \text{Ec. 2}$$

Dónde:

TRH: Tiempo de retención hidráulica [s]

Vt: Volumen total de agua en el tratamiento (Volumen perteneciente a la porosidad) [L]

Q: Caudal [L/s]

2.5.7. Ventajas

Según Barrientos, Tello, Pacheco, & Palomino,(2009), las principales ventajas de aplicar la biofiltración para el tratamiento de agua son las siguientes,

- La calidad física, química y bacteriológica del agua presenta una mejora simultánea.
- La eliminación de bacterias totales es igual que en los filtros rápidos.
- No se requieren compuestos químicos en el tratamiento.
- La operación y mantenimiento pueden ser llevados a cabo por mano de obra del sector.
- El proceso de filtración es llevado a cabo en su mayor parte por gravedad.

2.5.8. Desventajas

Según Martín & González, (2010) las principales desventajas de los sistemas de filtración son las siguientes:

- En zona de climas muy fríos, es necesario instalar protecciones contra el frío.
- Necesita que los filtros estén tapados para evitar la formación de algas.
- Requiere de un proceso de arranque complejo.
- No resiste períodos sin la alimentación del sistema.
- El agua con considerable turbiedad colmata los filtros, por lo que se necesita dejar sedimentar el líquido antes de ingresar al tratamiento.

2.6. Depuración de aguas negras

Las aguas negras son consideradas las provenientes de la descarga de los inodoros y urinarios, el agua negra contiene concentraciones altas de nitrógeno, materia orgánica y patógenos. (Lesikar, Melton, Smith, & O'Neill, 2005)

Los sistemas convencionales de aguas negras han demostrado ser inadecuados para resolver las necesidades sanitarias en los países en desarrollo. Estos sistemas tiene un alto coste de inversión, que su adquisición es materialmente imposible para aquellos que no pertenecen a las clases medias acomodadas. Actualmente, 90% de las aguas negras urbanas de los países en vías de desarrollo se descarga sin tratamiento alguno, contaminando ríos, lagos y costas. Es necesario estudiar tecnologías alternativas que tengan bajos requerimientos de energía, bajo coste de inversión, que su operación y mantenimiento sea realizado por los usuarios. (Esrey, 1998)

Existen diversas operaciones de depuración de agua pueden ser clasificadas en físicas, químicas y bacteriológicos. En las operaciones físicas predominan las acciones de fuerzas físicas como; el desbaste, mezclado, sedimentación, floculación, flotación, transferencia de gases y filtración. En las operaciones químicas se realiza la adicción de productos químicos para la depuración de aguas, las más comunes son la precipitación, adsorción y la desinfección. En las operaciones de los procesos biológicos la depuración se lleva a cabo debido a la actividad biológica, su principal aplicación es la eliminación de sustancias biodegradables, estas se convierten en gases y en tejido celular biológico. (Hammeken Arana & García, 2005)

2.6.1. Tanque de Evapotranspiración

El tratamiento de las aguas negras con un tanque de evapotranspiración es una técnica que combina la evaporación directa del área del tanque ejercida por la radiación solar y la transpiración de las plantas existentes en el sistema, su principal aplicación se encamina en la atención domiciliaria de las aguas negras en las zonas rurales y periurbanas. Está conformado de un tanque impermeabilizado con diferentes capas de sustrato y en la parte superior se plantan especies de vegetales de rápido crecimiento y alta demanda de agua. El sistema recibe el efluente los baños, los cuales pasan a través de procesos naturales de degradación microbiana de la materia, mineralización de nutrientes orgánicos, la evaporación y la absorción por las plantas cada módulo está dimensionado para una unidad familiar. (Galbiati, 2009)

Este tipo de tratamiento, reutiliza los excrementos y evita la contaminación directa causada por la descarga de las aguas negras en las cuencas hidrográficas y otros ecosistemas. (Esrey, 1998)

2.6.2. Funcionamiento del tanque de evapotranspiración

Para el tratamiento de aguas negras, que contienen una carga orgánica pesada y altas concentraciones de agentes patógenos, los sistemas convencionales requieren un pre-tratamiento para la reducción de la materia orgánica y los sólidos y post-tratamiento para eliminar el exceso de nutrientes y patógenos, antes de su disposición final en el suelo o en los cuerpos de agua. El tanque de evapotranspiración simplifica estos pasos, actúa como una cámara de digestión anaerobia, en su parte inferior; con el aumento de las aguas residuales en el volumen del tanque, el contenido también llena las capas superiores de la grava y arena, el agua se mueve por capilaridad hasta la capa de tierra donde las plantas absorben el agua y los nutrientes. También reduce la necesidad de post-tratamiento del efluente, ya que está dimensionado de modo que el efluente es completamente absorbido por las plantas, en condiciones normales de funcionamiento. (Galbiati, 2009)

2.6.3. Procesos involucrados en la depuración

El tratamiento de las aguas negras consta de diferentes etapas, según Brix & Arias (2011), se inicia con la etapa de la digestión anaeróbica, procesos aeróbicos y la evapotranspiración.

Digestión Anaeróbica

En este proceso los diferentes tipos de microorganismos anaerobios convierten los compuestos orgánicos complejos en compuestos más simples, se lleva a cabo en la parte inferior del tanque de evapotranspiración. Entre los compuestos orgánicos complejos principales están los carbohidratos, proteínas, lípidos, etc. estos son transformados en compuestos más simples como el agua, dióxido de carbono, metano, amoníaco, sulfuro de hidrogeno, etc.

Procesos Aeróbicos

Los procesos aeróbicos se realizan en presencia de oxígeno, los principales agentes responsables de la descomposición aeróbica son las bacterias aerobias y facultativas. En este proceso se produce la estabilización de la materia orgánica, producción de dióxido de carbono y la liberación de energía. El nitrógeno presente en el tanque en forma de nitrato es absorbido por las raíces de las plantas sembradas en el sistema.

La evapotranspiración

El agua continua su ascenso hacia la superficie e inicia la evapotranspiración en la cual se combinan dos fenómenos la evaporación y la transpiración. Esta parte del tratamiento se ve influenciada por varios factores como:

Radiación solar: En el proceso de evapotranspiración la radiación solar es la cantidad de energía disponible para evaporar cierta cantidad de agua. La ubicación y la época del año determinan la cantidad potencial de radiación que se pudiese alcanzar.

Temperatura del aire: La tasa de evapotranspiración de las plantas se controla por la radiación solar absorbida por las nubes y con el calor de la tierra aumenta la temperatura del aire, es así como en clima cálido la tasa de evapotranspiración es mayor que en un clima templado.

Humedad en el aire: En regiones áridas las plantas necesitan grandes cantidades de agua debido a la alta energía y el poder de desecación de la atmósfera. Esto no ocurre en regiones tropicales húmedas, debido a que existe una gran energía y la alta humedad del aire, en este ambiente el aire está cerca de su punto de saturación por lo tanto se reduce la evapotranspiración.

Viento: Cuando se da el proceso de evaporación el aire por encima de la superficie de evaporación se va saturando gradualmente con vapor de agua, cuando es reemplazado continuamente por aire más seco debido al viento existe un aumento en la tasa de evapotranspiración.

2.6.4. Plantas óptimas para el sistema

Los vegetales que presentan mejores resultados son las plantas con un alto consumo de agua y crecimiento rápido. Las especies que se utilizan deben ser de alta transpiración, buena tolerancia al agua con alto contenido de nitrógeno y bien adaptadas climáticamente al sector. (Antunes Amaral, 2013)

En la Tabla 2. se detallan algunas recomendaciones en la elección de las plantas para la depuración de aguas.

Tabla 2. Factores a considerar en la selección de plantas

FACTORES	COMENTARIOS
Consulte a los expertos locales	El número de científicos profesionales de humedales, profesionales y viveros de plantas se han incrementado dramáticamente en los últimos 10 años. Consultar a una persona con experiencia, local debe estar disponible en una variedad de fuentes, incluyendo agencias gubernamentales y empresas privadas.
Especies nativas	El uso de plantas que crecen a nivel local aumenta la probabilidad de supervivencia de las plantas y la aceptación por parte de los funcionarios locales.
Especies invasoras o agresivas	Las plantas que tienen un crecimiento extremadamente rápido, carecen de competidores naturales, o son alelopática * Puede desplazar a todas las demás especies y destruir la diversidad de especies. Las agencias estatales o locales pueden prohibir el uso de algunas especies.
Tolerante de alta carga de nutrientes	A diferencia de los humedales naturales, los humedales artificiales recibirán una entrada continua de aguas residuales con altas concentraciones de nutrientes. Las plantas que no pueden tolerar esta condición no sobrevivirán.
Tolerante de inundación continua	A diferencia de los humedales naturales, que pueden experimentar períodos secos periódicos u ocasionales, humedales artificiales recibirán una entrada continua de aguas residuales. Las plantas que requieren secado periódico u ocasional, como parte de su ciclo reproductivo no sobrevivirán.
Características de crecimiento	Las plantas perennes son generalmente preferidos sobre plantas anuales porque las plantas seguirán creciendo en la misma zona y no hay preocupación por las semillas se laven o se pierdan. Para las especies emergentes, plantas persistentes son generalmente preferidos sobre plantas semi o no persistentes debido a que el material de la planta de pie proporciona refugio y aislamiento añadido durante la temporada de invierno. †
La forma disponible para la siembra	Costes de obtención y la plantación de las plantas variará dependiendo de la forma del material de siembra, que puede estar disponible en una variedad de formas dependiendo de las especies de plantas. Formas vegetales enteros (por ejemplo, las plantas a raíz desnuda o conectores) suelen costar más de material vegetal parcial (por ejemplo, semillas o rizomas), pero el proveedor de plantas puede garantizar una mayor tasa de supervivencia. ‡
Tasa de crecimiento	Las plantas que crecen más lentos requerirán un mayor número de plantas, plantado más juntos, en el arranque para obtener la misma densidad de la cobertura vegetal en la estación de crecimiento inicial.
Beneficios de vida silvestre	Si el humedal se va a utilizar para el hábitat, las plantas que sirven de alimento, refugio / tapa y anidación / guardería para los animales se deberá seleccionar este.

... Continúa

La diversidad vegetal	Monocultivos de plantas son más susceptibles a plagas de insectos o enfermedades; infestaciones catastróficas afectarán temporalmente el rendimiento del tratamiento. Una mayor diversidad de plantas también tenderá a favorecer una mayor diversidad de animales.
<p>*Alelopáticos - plantas que tienen efectos nocivos sobre otras plantas mediante la secreción de sustancias químicas tóxicas</p> <p>†Perenne - sobre el suelo parte muere, pero la porción subterránea permanece latente y brotes en la próxima temporada de cultivo.</p> <p>Anual - toda planta muere y la reproducción es únicamente por semillas producidas antes del fallecimiento de la planta.</p> <p>Persistentes - porciones muertas permanecen sobre el suelo en posición vertical a través del período de latencia.</p> <p>Semi-persistente - sobre el suelo porciones muertas pueden permanecer de pie durante alguna parte del período de latencia antes de caer en mechones.</p> <p>No persistente - porciones de descomposición muertas sobre el suelo y se lava al final de la temporada de crecimiento.</p> <p>‡Planta de raíz desnuda - plántulas con tierra lavado de raíces. Penco - plántulas con tierra todavía en las raíces. Rizoma - trozo de tallo subterráneo (rizoma).</p>	

Fuente: U.S. Environmental Protection Agency,(2000)

2.6.5. Volumen de aguas residuales en el sector rural

El volumen de aguas residuales producido por persona según Miglio Toledo & Spittler Hoffmann, (2009) recomienda utilizar las siguientes cantidades para el sector rural.

Tabla 3. Volúmenes producidos de agua residual en el sector rural.

PRODUCTO	VOLUMEN PRODUCIDO (L/persona al año)	CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS	NUTRIENTES		
			N (%)	P (%)	K (%)
Orina	300-500	Bajo contenido de patógenos. Mayor contenido de hormonas y restos de medicamentos.	87	50	54
Heces	30-50	Alto contenido de patógenos	10	40	12
Aguas negras	7500- 30000	Alto contenido de patógenos	5	15	10
Aguas grises	15000-30000	Bajo contenido de patógenos proveniente de ropas, duchas y pañales contaminados con materia fecal.	3	10	34
TOTAL: kg / persona año			4-5	0.75	1.8

Fuente: Miglio Toledo & Spittler Hoffmann, (2009)

2.6.6. Ventajas

Según dos Santos Ercole, (2003) las principales ventajas de utilizar estos sistemas descentralizados son las siguientes:

- Ausencia de olores desagradables;
- En la planta superior se puede utilizar como espacios verdes, parques y jardines;
- Ausencia de problemas relacionados con la contaminación de las plantas y de las personas.
- Eficiencia en la remoción de patógenos;
- Construcción, operación y mantenimiento simple;
- Reducción de los costos de implementación y operación.

2.6.7. Desventajas

Según dos Santos Ercole, (2003) las desventajas de utilizar estos sistemas son las siguientes:

- Elevados requerimientos de área para poblaciones mayores.
- En épocas de lluvia disminuye su normal funcionamiento.
- Tiene un mejor funcionamiento en climas cálidos secos

2.7. Depuración de aguas grises

Los proyectos descentralizados integrales del saneamiento tienen que procurar el buen funcionamiento de la depuración de las aguas grises, por el contrario el proyecto no tendrá el impacto esperado en la salud de las personas y en el medio ambiente. El agua gris proveniente de las duchas, bañeras, lavamanos y máquinas para el lavado de ropa. La cantidad de aguas grises que un hogar se genera depende del número de ocupantes, su estilo de vida, edades, el uso del agua, entre otros. (Lesikar, Melton, Smith, & O'Neill, 2005)

2.7.1. Procesos para la depuración de aguas grises

Además de la materia orgánica y sólidos, las aguas grises contienen una mezcla compleja de productos químicos utilizados en las actividades comunes de la casa, como el baño, la limpieza, las aficiones y el mantenimiento del hogar. La gama de productos químicos que pueden estar presentes en aguas grises incluir; detergentes, blanqueadores, colorantes, fragancias, aromas, conservantes, pesticidas, productos farmacéuticos y productos de cuidado personal. (DEQ Graywater Advisory Committee, 2010)

Las tecnologías simples para la depuración de aguas grises son generalmente sistemas de dos etapas basado en la filtración gruesa o sedimentación para eliminar los sólidos más grandes, seguido de desinfección. Estas tecnologías proporcionan la depuración de aguas grises para materia orgánica y sólidos, se utilizan preferentemente a pequeña escala, como hogares individuales. Por lo general se usan para tratar las aguas grises provenientes de las máquinas de lavado, duchas y lavabos; para su posterior uso en el riego de jardines, parques, campos, lavado de vehículos, producción de hormigón, en la agricultura, etc. El tiempo de retención hidráulica (TRH) debe ser corto como resultado de su simplicidad. Existen diferentes procesos para la depuración de aguas grises, existen los procesos físicos, químicos y biológicos. Los sistemas físicos pueden ser divididos en filtros de arena y de membranas. Los filtros de arena se utilizan solos y/o combinados con desinfección o carbón activado y desinfección, proporcionan filtración gruesa de las aguas grises, alcanzan solamente tratamiento limitado de las diferentes fracciones presentes en las aguas grises. La depuración de agua con membranas proporciona la eliminación limitada de compuestos orgánicos, pero una excelente eliminación de los sólidos disueltos y suspendidos; el principal problema al utilizar membranas es la colmatación; por lo que el funcionamiento del sistema no es adecuado y los costes de limpieza de la membrana son elevados. En los procesos químicos para la depuración de agua gris principalmente se emplean tres tipos de procesos: el primero utiliza una combinación entre la coagulación y un filtro de arena y/o de carbono activado granular, el segundo utiliza la electro-coagulación combinada con la

desinfección, y el tercer esquema químico está basado en fotocatalítica oxidación con dióxido de titanio y UV, dando buenos resultados en un tiempo relativamente corto. De igual forma se utilizan procesos biológicos para la depuración de agua gris, procesos como reactores de película fija, contactores biológicos rotatorios, filtros anaeróbicos, reactores discontinuos, secuenciación biorreactores de membrana y filtros aireados biológicos han sido reportados. En la mayoría de casos, los procesos biológicos son precedidos por pre-tratamiento físico tal como la sedimentación o cribado y / o seguidos de desinfección. Son también combinados con filtros de arena, carbón activado, humedales o membranas. (M.Pidou et al, 2007)

2.7.2. Depuración utilizando biofiltros combinado con un humedal

Las aguas grises se canalizan a una trampa de grasas, luego se conducen a los biofiltros para después ser distribuidas a través de un humedal y finalmente se descarga el agua para su posterior uso. El biofiltro consta de un medio filtrante colonizado con microorganismos que llevan a cabo procesos de tratamiento biológicos para eliminar la materia orgánica y los nutrientes de las aguas grises. Un humedal es una zona de tierras inundadas de la profundidad del agua por lo general menos de 0.6 m que soporta el crecimiento de las plantas emergentes, generalmente se usan plantas macrófitas. (Ling, Apun, & Zainuddin, 2009)

2.7.3. Estimación de la cantidad de aguas grises

La cantidad de aguas grises de una vivienda depende del número de ocupantes, estilo de vida, edades, en la Tabla 3, se muestra una forma de estimar la cantidad de aguas grises tomando en cuenta el número de habitantes de la vivienda.

La depuración utilizando filtros para un sistema de aguas grises, depende en gran medida de la cantidad de aguas grises para ser filtrada y el tipo de contaminantes presentes. Un filtro de drenaje es una manera fácil y barata para filtrar los contaminantes del agua gris. La mayoría de filtros utilizados emplean carbón activo, celulosa, cartucho de cerámica que se deben limpiar o cambiar regularmente.

CAPÍTULO III
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Tratamiento de agua

La familia beneficiada a partir de este proyecto se abastece de agua desde de una vertiente (sin nombre) aledaña a la vivienda, luego de la captación se coloca un filtro rápido para retener los sólidos gruesos, en la Figura 5 se indica la ubicación de la vertiente, filtro rápido, tanque rompe-presión que abastece al prototipo instalado.



Figura 5 Ubicación de los diferentes componentes del tratamiento de agua

Fuente: Google Earth

3.1.1. Captación

3.1.1.1. Descripción

El manantial ubicado a una altitud de 1601 m.s.n.m. con un desnivel de 25 m hasta el tanque rompe-presión con una altitud de 1576 m.s.n.m., las dimensiones de la captación son: 1m de largo, 0.8 m de ancho y 0.5 m de altura, encontrándose la estructura en buenas condiciones, se realiza el mantenimiento adecuado a la estructura para el desarrollo del proyecto en la vivienda.

3.1.2. Filtro rápido de grava

3.1.2.1. Descripción y diseño

El filtro rápido de grava colocado después de la captación permite eliminar los sólidos gruesos en el agua, está compuesto principalmente por tres capas: una capa de grava, piedra pómez y arena.

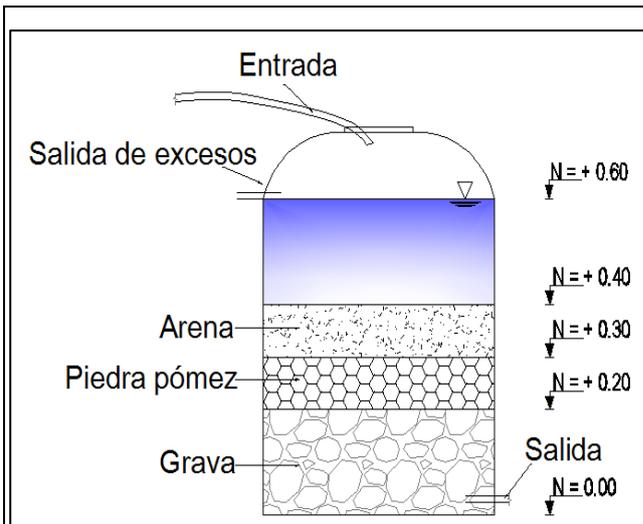


Figura 6. Componentes filtro rápido

Fuente: El Autor



Figura 7. Filtro rápido

Fuente: El Autor

El tanque de ferrocemento tiene las siguientes dimensiones: diámetro de 0.5 m y una altura de 0.7 m, espesor de la pared de 0.05 m.

El filtro consta de 20 cm de grava, 10 cm de piedra pómez, 10 cm de arena, permite la separación de los sólidos gruesos, mejorando la calidad del agua para su posterior tratamiento.

3.1.2.2. Sistema constructivo

Se utiliza un pequeño tanque de ferrocemento con capacidad de 65 litros, en la construcción se usa como encofrado un saco de yute lleno de arena, 3 aros realizados de varilla corrugada N°8 y alambre galvanizado, en el Anexo N°7 se detalla la construcción del tanque de ferrocemento.

3.1.2.3. Presupuesto

Los precios de los materiales utilizados son cotizados en el mercado el mes de junio del 2015, estos costos se deben actualizar para contar con un coste real del proyecto actualizado.

A continuación se detalla los costos directos para la construcción del tanque de ferrocemento, no incluye mano de obra.

Tabla 4. Costos directos del filtro rápido de grava

FILTRO RÁPIDO DE GRAVA					
Ítem	Parámetro	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
1	CEMENTO	kg	29.42	0.158	4.65
2	ARENA	m ³	0.09	18	1.62
3	VARILLA DE 8 mm	kg	4.74	1.4	6.64
4	ALAMBRE GALVANIZADO	kg	0.50	1.8	0.90
5	GRAVA	m ³	0.039	17	0.67
6	PIEDRA PÓMEZ	kg	10.60	0.25	2.65
COSTO TOTAL \$ =					17.13

Fuente: El Autor

El costo total es de diecisiete con 13/100 dólares.

3.1.2.4. Resultados

Los sólidos gruesos quedan atrapados en el lecho filtrante del filtro rápido por lo que se mejora la calidad del agua, para su posterior tratamiento.

a) Mantenimiento del filtro rápido

El filtro rápido colocado después de la captación debe ser monitoreado regularmente por los usuarios, su mantenimiento consiste en lavar la capa superior mensualmente para evitar la obstrucción o taponamientos con sedimentos.

Con el filtro rápido de grava instalado mejora la calidad física del agua a tratarse, eliminando los sólidos gruesos que aumentan en épocas de lluvia.

3.1.3. Tanque Rompe-presión

3.1.3.1. Descripción y diseño

Entre el filtro rápido y el tanque rompe-presiones existe un desnivel aproximado de 25 m, la construcción e instalación se detallan en el Anexo 4, en la Figura 8 se muestra el detalle del tanque rompe-presión instalado en el sitio. Su capacidad es de 180 litros, se encuentra ubicado a un desnivel de aproximadamente de 3 m hasta el sistema de biofiltración.

Tabla 5. Componentes tanque rompe-presión

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN
Válvula de flotador (A)	Dispositivo que se usa para regular el abastecimiento de agua del tanque, consta de un flotador que permite el cierre o la apertura del suministro de agua.
Entrada (B)	Se usa tubería de polietileno de ½", desde el filtro rápido hasta el tanque de rompe - presión.
Tapa (C)	Permite mantener el agua libre de contaminación de polvo, insectos, hojas etc.
Recubrimiento de concreto (D)	Este recubrimiento es de 5 cm alrededor de toda la superficie interna del tanque para evitar la corrosión del mismo.
Válvula de purga (E)	Permite purgar los sólidos sedimentados en el tanque, se recomienda purgar regularmente el tanque para evitar problemas de taponamientos.

Fuente: El Autor

3.1.3.2. Sistema constructivo

En la construcción del tanque rompe-presión, se utiliza un barril metálico recubierto su parte interna con mortero de 5 cm de espesor, su construcción se indica con más detalle en el Anexo 4.

3.1.3.3. Presupuesto

Los precios de los materiales utilizados son cotizados en el mercado el mes de junio del 2015, estos costos se deben actualizar para contar con un coste real del proyecto actualizado.

A continuación se detallan los costos directos del tanque de almacenamiento y rompe-presión, no incluye mano de obra.

Tabla 6. Costos directos del tanque de almacenamiento y rompe-presión

TANQUE DE ALMACENAMIENTO Y ROMPE PRESIÓN					
Ítem	Parámetro	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total(\$)
1	TUBERÍA ROSCABLE 1/2"	m	0.23	0.97	0.22
2	VÁLVULA DE FLOTADOR Y ACCESORIOS	U	1.00	5	5.00
3	CODO R/R HEMBRA 1/2" x 90°	U	2.00	0.5	1.00
4	BARRIL METÁLICO	U	1.00	10	10.00
5	MALLA HEXAGONAL GALLINERO	m	1.88	1.7	3.20
6	VÁLVULA DE COMPUERTA 1/2" BRONCE	U	2.00	7.5	15.00
7	TEE 1/2"	U	1.00	0.5	0.50
8	CEMENTO	kg	49.21	0.158	7.77
9	ARENA	m ³	0.12	18	2.13
10	TUBERÍA DE POLIETILENO 1/2 "	U	3.000	20	60.00
COSTO TOTAL \$ =					104.82

Fuente: El Autor

Su costo total es de ciento cuatro con 82/100 dólares.

3.1.3.4. Resultados

El tanque de rompe-presión cuenta con las siguientes dimensiones:

$$\text{Diámetro} = 0.5m$$

$$\text{Altura} = 0.75m$$

$$\text{Volumen} = \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) \times \text{Altura}$$

$$\text{Volumen} = \left(\frac{\pi (0.5)^2}{4} \right) \times 0.75 = 147.3 \text{ litros}$$

Se obtiene un volumen de almacenamiento de 147.3 litros que abastecen al posterior tratamiento de biofiltración.

a) Mantenimiento del tanque almacenamiento y rompe-presión.

Para evitar la obstrucción con sedimentos se debe abrir la válvula de purga del tanque rompe-presión mensualmente con el fin de evitar que los sólidos transiten hacia el sistema de filtración.

Con el volumen almacenado en el tanque, se abastece a la familia tanto para sus necesidades básicas como al sistema de filtración, a su vez este tanque rompe la presión existente, para evitar problemas con el prototipo del tratamiento de agua instalado.

3.1.4. Filtro biológico aireado

3.1.4.1. Descripción y diseño

El prototipo desarrollado para el tratamiento de agua potable usando la tecnología de biofiltración, se desarrolla en laboratorio para luego ser instalado en la vivienda de la familia beneficiada, en el Anexo 5 se detalla la construcción del prototipo. En la Figura 10 se grafica el esquema del tratamiento de agua potable y a la derecha se muestra el prototipo desarrollado, puesto en marcha para la respectiva valoración y prueba de su funcionamiento. Luego de confirmar su correcto funcionamiento se traslada el prototipo al sitio de su instalación.

En el filtro biológico aireado se pretende dar el ambiente requerido para la formación de la biocapa, principal responsable del tratamiento. Como medio de soporte para la colonización de los microorganismos, se fabrican discos de arcilla debido a que reúnen características deseables como: porosidad, superficie rugosa, resistencia a la colonización microbiana, bajo coste y de fácil disponibilidad.

3.1.4.2. Sistema constructivo

Con las recomendaciones de diferentes investigaciones se desarrolla los prototipos con materiales de bajo coste, durabilidad y de fácil disponibilidad. La construcción del prototipo para el tratamiento de agua se detalla en el Anexo N°5 en el cual se explica paso a paso la construcción del prototipo.

Los principales criterios de construcción del prototipo, se toman en cuenta el tiempo de retención hidráulica, el costo de materiales y la accesibilidad a todos los materiales necesarios en el prototipo.

En la construcción del prototipo se utiliza tubería de policloruro de vinilo (PVC) de diámetro de 100mm para el filtro biológico aireado. El filtro biológico aireado está compuesto por una

bomba de aire y una entrada de agua en su parte inferior, en su interior compuesto por una columna de discos de arcilla cocidos.

3.1.4.3. Presupuesto

Los precios de los materiales utilizados son cotizados en el mercado el mes de junio del 2015, estos costos se deben actualizar para contar con un coste real del proyecto actualizado.

A continuación se detallan los costos directos del filtro biológico aireado, no incluye mano de obra.

Tabla 7. Costo directo del filtro biológico aireado

COSTO FILTRO BIOLÓGICO AIREADO					
Ítem	Parámetro	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
1	TUBERÍA DE DESAGÜE EC 100mm x3m	m	1.000	3.27	3.27
2	TUBERÍA ROSCABLE 1/2"	m	0.225	0.97	0.22
3	CODO R/R HEMBRA 1/2" x 90°	U	1.000	0.5	0.50
4	VÁLVULA DE COMPUERTA 1/2" BRONCE	U	2.000	7.5	15.00
5	NEPLO	U	5.000	0.5	2.50
6	CINTA TEFLON 19mx 0.20mm	U	3.000	1.1	3.30
7	PASTA POLIMEX	U	1.000	4.5	4.50
8	DIFUSOR DE AIRE	U	1.000	2	2.00
9	VÁLVULA DE CIERRE PLÁSTICA	U	1.000	5	5.00
10	BOMBA DE AIRE	U	1.000	15	15.00
COSTO DISCOS DE ARCILLA					
1	ARCILLA	kg	3.14	0.075	0.24
2	PIEDRA PÓMEZ	kg	0.74	0.25	0.18
3	ASERRÍN	kg	0.24	0.025	0.01
4	COCCIÓN EN HORNO ELÉCTRICO	U	1.00	25	25.00
COSTO TOTAL \$ =					76.71

Fuente: El Autor

El costo total es de setenta y seis con 71/100 dólares

3.1.4.4. Resultados

a) Tiempo de retención hidráulico

El tiempo de retención es el principal factor para el tratamiento y depuración de las aguas, en la actualidad las principales metodologías para su cálculo son dos; el método del trazador y calculando el volumen correspondiente a la porosidad. Como se explicó en el Capítulo 2 el tiempo de retención hidráulico es el tiempo que demora una partícula en a travesar desde el inicio del tratamiento hasta su salida. En este estudio se utiliza el segundo método el cual consiste en calcular el volumen de espacios vacíos y dividir este volumen para el caudal que atraviesa.

Para calcular el volumen de material filtrante en el prototipo, se llena el filtro biológico aireado con agua, se deja en saturación durante 1 día debido a la absorción que puede existir en el medio filtrante, se obtiene un volumen de espacios vacíos de 2950ml, y se registra un caudal de 1.65 L/h, se calcula el tiempo de retención hidráulico (TRH) con la fórmula descrita en el Capítulo 2.

$$TRH = \frac{V_t}{Q}$$

$$TRH = \frac{5.951}{1.65} \frac{L}{L/h}$$

$$TRH = 1.8 h$$

Se obtiene un TRH de 1.8 horas.

Con la ecuación descrita en el Capítulo 2, se calcula la porosidad en el medio filtrante.

$$Porosidad = \frac{V}{V_t}$$

$$Porosidad = \frac{5.951}{5.628} \frac{L}{L}$$

$$Porosidad = 0.52$$

b) Mantenimiento del filtro biológico aireado.

Para el correcto funcionamiento del filtro biológico aireado, se recomienda abrir la válvula de purga periódicamente, se recomienda realizar esta purga cada 15 días, la cual permite eliminar los posibles sedimentos que se puedan acumular en la parte inferior del filtro.

c) Periodo de vida útil

En la actualidad no se cuenta con una base de datos para poder estimar el periodo de vida útil para el filtro biológico aireado, sin embargo con los materiales utilizados y el correcto mantenimiento el prototipo construido se estima un periodo de vida útil de 10 a 15 años.

Con los resultados obtenidos, el tiempo de retención hidráulico es de 1.8 horas, tiempo que tiene contacto el agua a tratarse con la capa biológica colonizada en el medio filtrante (discos de arcilla), un mayor tiempo de contacto beneficia la producción de microorganismos y la remoción de contaminantes es más eficiente, siendo este tiempo limitado por el volumen mínimo requerido en el tratamiento.

3.1.5. Filtro lento de arena

3.1.5.1. Descripción y diseño

La capa filtrante está compuesta por tres partes: la primera parte consta de una capa de arena de 15 cm tamizada entre los tamices N° 40 y N° 60, la segunda capa está formada por una capa de arena de 35 cm retenida en el tamiz N° 40, una grava de separación de 5cm de espesor y finalmente se concluye con una capa de grava gruesa de 5cm, dando un total de 60 cm de espesor de capa filtrante.

En la siguiente Tabla 9 se describen cada uno de los componentes del filtro lento de arena graficados en la Figura 14.

Tabla 8. Componentes del filtro lento de arena

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN
Tapa (J)	Obstaculiza la entrada de objetos, insectos u otros materiales que puedan contaminar al biofiltro lento de arena.
Capa sobrenadante(R)	Esta capa de agua sobrenadante permite mantener vivos a los microorganismos existentes en la biocapa, esta capa tiene una altura de 70 mm en el filtro lento de arena.
Capa biológica (R)	También llamada biocapa en la cual existe presencia de algas, diatomeas y zooplancton, su periodo de formación es c Sigue... semanas, esta capa es la principal etapa de tratamiento uei agua. Se desarrolla en los primeros 5 cm de la capa de arena.
Capa de arena (K)	Es la principal capa del biofiltro en la cual se trata en agua en dos etapas la primera en la parte superior del biofiltro (biocapa) y la segunda etapa en la parte inferior de la capa en la cual los microorganismos mueren debido a la falta de oxígeno.
Capa de grava de separación (M)	Es una capa intermedia obstaculiza la mezcla entre las capas de arena y la grava.
Capa de grava (N)	Permite la salida del agua por gravedad del tratamiento para su

	posterior uso
Tubería de drenaje(S)	Consiste en una tubería perforada que permite la salida del agua ya tratada

Fuente: El Autor

3.1.5.2. Sistema constructivo

En la construcción del prototipo se utiliza tubería de policloruro de vinilo (PVC) de diámetro de 200 mm su construcción se detalla en el Anexo 5

3.1.5.3. Presupuesto

Los precios de los materiales utilizados son cotizados en el mercado el mes de junio del 2015, estos costos se deben actualizar para contar con un coste real del proyecto actualizado.

A continuación se detallan los costos directos del filtro lento de arena, no incluye mano de obra

Tabla 9. Costo directo del filtro lento de arena

COSTO FILTRO LENTO DE ARENA					
Ítem	Parámetro	Unidad	Cantidad	Precio Unitario(\$)	Precio Total(\$)
1	CODO R/R HEMBRA 1/2" x 90°	U	3.000	0.5	1.50
2	TUBERÍA ROSCABLE 1/2"	m	1.173	0.97	1.14
3	TUBERÍA DE DESAGÜE EC 200mm x6m	m	1.300	8.33	10.83
4	ARENA	m ³	0.010	18	0.18
5	GRAVA	m ³	0.002	17	0.03
6	PEGA TUBO 1L	U	1.000	1	1.00
7	SILICÓN	U	3.000	3.8	11.40
COSTO TOTAL \$ =					26.07

Fuente: El Autor

El costo total es de veintiséis con 07/100 dólares.

3.1.5.4. Resultados

a) Cálculo del tiempo de retención hidráulico (TRH)



Figura 8. Columna de arena (1000ml) para calcular los espacios vacíos

Fuente: El autor

Como primer paso se llena una probeta 1000ml con el material utilizado en el filtro lento de arena y en una segunda probeta se llena de agua con el mismo volumen. Luego se llena con agua la probeta para conocer qué cantidad de vacíos existen en un determinado volumen de medio filtrante. Se deja la probeta durante 1 día y se dan pequeñas agitaciones para permitir la salida del aire. Se calcula el volumen de agua contenido en un volumen conocido de material filtrante y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 10. Cálculos del TRH del filtro lento de arena

Arena retenida entre los tamices N°40 y N°60		
Relación entre 1000ml de arena entra un volumen de 220 ml de agua		
1000 ml de arena	=	220 ml de agua
Relación entre 1000ml de arena ocupa una altura de 3.5 cm en el filtro lento de arena		
1000 ml de arena	=	3.5 cm altura
Capa de arena en el filtro	=	15 cm
(15/3.5)cm	=	4.29 espacios
(220 x 4.29)	=	942.9 ml de agua
(1000 x 4.29)	=	4285.7 ml de arena + agua
(4285.7-942.9)	=	3342.9 ml de arena
Arena retenida en el tamiz N° 40		
Relación entre 1000ml de arena entra un volumen de 240 ml de agua		
1000 ml de arena	=	240 ml de agua
Relación entre 1000ml de arena ocupa una altura de 3.5 cm en el filtro lento de arena		
1000 ml de arena	=	3.5 cm altura
Capa de arena en el filtro	=	35 cm
(35/3.5)cm	=	10 espacios
(240 x 10)	=	2400 ml de agua
(1000 x 10)	=	10000 ml de arena + agua
(10000-2400)	=	7600 ml de arena
Grava de 1/2"		
Relación entre 1000ml de grava entra un volumen de 470 ml de agua		
1000 ml de arena	=	470 ml de agua
Relación entre 1000ml de grava ocupa una altura de 3.5 cm en el filtro lento de arena		
1000 ml de arena	=	3.5 cm altura
Capa de grava en el filtro	=	5 cm
(5/3.5)cm	=	1.43 espacios
(470x1.43)	=	671.43 ml de agua
(1000x1.43)	=	1428.6 ml de grava + agua
(1428.6-671.43)	=	757.14 ml de grava
Grava de 1/4"		
Relación entre 1000ml de grava entra un volumen de 475 ml de agua		
1000 ml de arena	=	475 ml de agua
Relación entre 1000ml de grava ocupa una altura de 3.5 cm en el filtro lento de arena		
1000 ml de arena	=	3.5 cm altura
Capa de grava en el filtro	=	5 cm
(5/3.5)cm	=	1.43 espacios
(475 x 1.43)	=	678.57 ml de agua
(1000 x 1.43)	=	1428.57 ml de grava + agua
(1428.6-678.57)	=	750 ml de grava

Fuente: El Autor

Sumar cada una de las cantidades de volumen de agua que ingresa:

Volumen de agua retenida en la arena retenida entre los tamices N° 40 y N°60 = 942.9 ml

Volumen de agua retenida en la arena retenida en el tamiz N° 40 = 2400 ml

Volumen de agua retenida en la grava de 1/2" = 1428.6 ml

Volumen de agua retenida en la grava de ¼” = 1428.57ml

Volumen total = 6719 ml

Realizar el aforo de caudal cuando el sistema se estabiliza, se obtiene un caudal de 1.65 L/h

Calcular del tiempo de retención hidráulico (TRH) con la fórmula de descrita en el Capítulo 2 donde

$$TRH = \frac{V_t}{Q}$$

$$TRH = \frac{6.719 \text{ L}}{1.65 \text{ L/h}}$$

$$TRH = 4.1 \text{ horas}$$

El tiempo de retención hidráulica es de 4.1 horas en el filtro lento de arena.

Sumando los dos tiempos de retención (filtro biológico aireado y filtro lento de arena) se obtiene el tiempo de retención del sistema (1.8+4.1) horas= 5.9 horas.

Con la ecuación descrita en el Capítulo 2, se calcula la porosidad en el medio filtrante.

$$\text{Porosidad} = \frac{V}{V_t}$$

$$\text{Porosidad} = \frac{6.719 \text{ L}}{19.39 \text{ L}}$$

$$\text{Porosidad} = 0.34$$

Según Tello Moreno, (2005) y Gleick, (1996) consideran un mínimo de tres litros por persona como la cantidad mínima diaria para recuperar la pérdida de fluidos del cuerpo en condiciones normales.

Con el caudal obtenido de 1.65 L/día se cuenta con un volumen diario de 39.6 L/día por lo que se satisfacen las necesidades diarias de la familia en cuanto al agua para beber.

b) Mantenimiento del filtro lento de arena.

Para el correcto funcionamiento del filtro lento de arena se debe realizar cada 6 meses o cuando se detecte una disminución considerable de la velocidad de filtración, el lavado de 10 cm de la capa de arena del filtro lento de arena, este lavado consiste en sacar la arena y lavar en un recipiente hasta obtener una arena limpia de sedimentos, finalmente se coloca nuevamente en el filtro lento de arena.

c) Periodo de vida útil

En la actualidad no se cuenta con una base de datos para poder estimar el periodo de vida útil para el filtro biológico aireado, pero debido a los materiales utilizados y el correcto mantenimiento el prototipo construido se estima un periodo de vida útil de 10 a 15 años.

d) Ensayos físicos, químicos y bacteriológicos del agua

De los ensayos de agua físicos, químicos y bacteriológicos del agua a la entrada y salida del sistema se obtienen los resultados descritos en el Anexo N° 8, y las gráficas en las que se describen los parámetros en los cuales el prototipo ha tenido un mejor desempeño, teniendo una remoción en el primer mes de 100 % de turbiedad, 100% de sólidos suspendidos, 93.7 % de Gérmenes Totales, 21% en Fosfatos, 15.78% en Nitrato, 15.75 % en Nitritos + Nitratos, 7.3% Magnesio, 2.74% en Calcio, los parámetros restantes se mantienen, cabe señalar que el agua con la que está siendo probado el prototipo tiene pocos parámetros que están fuera de los límites permisibles para ser una agua apta para el consumo, por lo que la formación de la biopelícula tarda más tiempo.

Los ensayos físicos químicos y bacteriológicos se realizan a partir de un muestreo realizado a la entrada, a la salida del filtro biológico aireado y en la salida del filtro lento de arena, este muestreo se realiza después de un mes de haber instalado el sistema y se toman muestras cada 30 días los meses de junio, julio y agosto del presente año. A continuación se describen los parámetros que tuvieron una mayor remoción en el sistema.

Tabla 11. Remoción de Gérmenes totales

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	LIMITE DESEABLE	LIMITE MAX PERMISIBLE	MESES	Entrada	Intermedio Filtro Biológico aireado	Salida
Gérmenes Totales	UFC/ml	Ausencia	30	Primer mes (junio)	1750	1094	110
				Segundo mes (julio)	1760	900	80
				Tercer mes (agosto)	1765	800	38

Fuente: El Autor

En la Figura 16 se grafica el parámetro correspondiente a gérmenes totales del primer mes desde la puesta en marcha del sistema, la curva tiene una tendencia a disminuir atraviesa por el sistema de filtración, teniendo una mayor remoción en la segunda parte del tratamiento, el sistema total presenta una remoción del 93.7 %.

En la Figura 17 se grafica el segundo mes desde la puesta en marcha del sistema, la curva tiene una tendencia a disminuir atravesada por el sistema de filtración, presenta una mayor remoción en la segunda parte del tratamiento muestra el mismo comportamiento que la gráfica del primer mes, el sistema total presenta una remoción del 95.5%, teniendo un mayor porcentaje de remoción con el primer mes.

En la Figura 18 se grafica el tercer mes desde la puesta en marcha del sistema, la curva tiene una tendencia a disminuir después de atravesar el sistema de filtración, presenta una mayor remoción en la segunda parte del tratamiento, muestra el mismo comportamiento que las gráficas de los meses anteriores, el sistema total presenta una remoción del 97.8%, teniendo un mayor porcentaje de remoción de los meses anteriores.

e) Desinfección

Debido a los resultados obtenidos en el porcentaje de remoción de gérmenes se procede a la desinfección del agua que consiste en colocar la mínima cantidad de cloro que es 0.3 mg/L recomendada por la norma INEN-1108. Con un volumen tratado de 39.6 L/día se obtienen los siguientes resultados:

$$39.6 \frac{L}{día} \times 0.3 \frac{mg}{L} = 11.8 \frac{mg}{día}$$

Por lo que el tratamiento requiere la colocación de 11.8 mg de cloro por día dejando reposar el lapso de 30 minutos para su consumo. Debido al volumen de almacenamiento del dispositivo de agua tratada, se procede a la desinfección en dos partes colocando 5.94 mg de cloro en cada parte.

Con los resultados obtenidos de los tres meses (junio, julio, agosto), se puede evidenciar que la formación de la biocapa se desarrolla con el pasar del tiempo, se obtienen mejores resultados de remoción en el tercer mes, por tanto es necesario desinfectar el agua a la salida del tratamiento, los primeros meses de la puesta en marcha del sistema o a su vez dar un arranque previo (inocular) al medio filtrante.

3.2. Unidad sanitaria

3.2.1. Descripción

La unidad sanitaria con la que cuenta la familia se encuentra en condiciones adecuadas para su uso, cuenta con inodoro, ducha y lavandería, las aguas están separadas tanto las aguas negras del inodoro, como las aguas grises de la ducha y lavandería

3.2.2. Resultados

Como resultado se puede decir que se cuenta con un adecuado manejo de las aguas residuales, las aguas negras del inodoro son depositadas a un pozo séptico y las aguas grises son vertidas directamente al suelo a una distancia de 10 metros de la vivienda. En este proyecto se depura las aguas negras y grises para evitar la contaminación hacia las capas freáticas o el subsuelo.

3.3. Depuración de aguas negras

3.3.1. Descripción y diseño

Los principales criterios de diseño para la construcción de la cámara de evapotranspiración son: el número de habitantes de la vivienda, requerimientos hídricos de los vegetales sembrados en el sistema y el tiempo de retención hidráulica necesario para una correcta depuración de las aguas negras.

La cámara de evapotranspiración se realiza con materiales y recursos disponibles en el sector, los vegetales se escogen teniendo en cuenta las recomendaciones descritas en el Capítulo 2, los vegetales mejor adaptados al lugar según los moradores del sector son el banano y taro. Según Galbiati, (2009) recomienda el volumen de 2 m³ por persona para su diseño.

Tabla 12. Características del prototipo de aguas negras

Principales características del sistema instalado	
Área x profundidad	10.5 m ² x 1.5m
Nº de usuarios	5
Plantas	Banano y taro
Tipo de impermeabilización	Ferrocemento

Fuente: El Autor

En el diseño de la cámara de evapotranspiración se toma en cuenta la topografía del terreno, el clima y el número de personas que habitan la vivienda.

3.3.2. Sistema constructivo

Entre los principales criterios de construcción del prototipo están los materiales accesibles al sector, arena, grava, tubería PVC, etc. Para impermeabilizar el tanque de evapotranspiración se utiliza la técnica del ferrocemento debido a que esta técnica es económica, durable y de fácil ejecución.

Para la construcción de la cámara de evapotranspiración se toma en cuenta la topografía del terreno, como primer paso se realiza la delimitación del lugar para realizar el tanque de evapotranspiración, se excava manualmente el lugar delimitado para la cámara de evapotranspiración, se reviste el tanque utilizando la técnica de ferrocemento con la finalidad de impermeabilizar la superficie del tanque y evitar la infiltración del agua contenida, se coloca la tubería perforada dentro del tanque que conducirá el agua negra hacia la cámara de digestión, esta cámara de digestión está compuesta por bloques alrededor del tubo perforado los cuales cumplen la función de proteger el tubo perforado y conformar la cámara de digestión.

Luego de haber colocado el tubo de aireación, se realiza la colocación de los diferentes estratos de piedra bola con una profundidad de 50 cm del total del tanque, 40 cm de grava, 40cm de arena y finalmente de 30 cm de tierra orgánica en la cual se sembraron plantas de alta demanda de agua como el plátano y taro, en el Anexo 6 se detalla la construcción de la cámara de evapotranspiración.

3.3.3. Presupuesto

Los precios de los materiales utilizados son cotizados en el mercado el mes de junio del 2015, estos costos se deben actualizar para contar con un coste real del proyecto actualizado. Los costos directos de la cámara de evapotranspiración, no incluye mano de obra se detallan a continuación.

Tabla 13. Costo directo de la cámara de evapotranspiración

COSTO CÁMARA DE EVAPOTRANSPIRACIÓN					
Ítem	Parámetro	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
1	ROCA	m ³	5.25	17	89.25
2	GRAVA	m ³	4.2	17	71.40
3	ARENA	m ³	4.83	18	86.91
4	TIERRA ORGÁNICA	m ³	3.15	0	0.00
5	CEMENTO	kg	699.16	0.158	110.47
6	MALLA HEXAGONAL GALLINERO	U	1	50	50.00
7	TUBERÍA PVC 100 mm	m	6	3.27	19.62
8	TUBERÍA PVC 75 mm	m	3	1.5	4.50
9	REDUCCIÓN DE PVC DE 4" a 3"	U	1	2.8	2.80
10	CODO PVC DESAGÜE DE 45° X 4"	U	2	2.6	5.20
11	CODO PVC DESAGÜE DE 90° X 3"	U	2	2.3	4.60
12	GEOTEXTIL	m ²	31.5	1.75	55.13
13	BLOQUES	U	50	0.3	15.00
COSTO TOTAL \$ =					514.88

Fuente: El Autor

Se obtiene un costo total de quinientos catorce con 88/100 dólares.

3.3.4. Resultados

a) Determinación del volumen producido de aguas residuales en el sector rural

Para determinar el volumen de las aguas residuales producidas en el sector rural, se toman los valores recomendados por Miglio Toledo & Spittler Hoffmann, (2009) resumidos en la Tabla N°3 descrita en el Capítulo 2 en la cual se describen el volumen de aguas negras y grises producidos por una persona en un año.

Recomienda un volumen de aguas grises de 15000 L/persona al año, el número de habitantes de la vivienda es de 5 personas, por lo tanto:

Volumen de aguas grises:

$$15000 \frac{L}{hab} \times \frac{1}{365} \frac{año}{días} = 41.09 \frac{L}{hab \times día}$$

$$41.09 \frac{L}{hab \times día} \times 5 hab = 205.48 \frac{L}{día}$$

Se obtiene un volumen de aguas grises de 205.48 L/día.

De igual forma recomienda un volumen de aguas negras de 7500 L/persona al año, el número de habitantes de la vivienda es de 5 personas, por lo tanto:

Volumen de aguas negras:

$$7500 \frac{L}{\text{hab}} \times \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}} = 20.55 \frac{L}{\text{hab} \times \text{día}}$$

$$20.55 \frac{L}{\text{hab} \times \text{día}} \times 5 \text{ hab} = 102.74 \frac{L}{\text{día}}$$

Teniendo un volumen de agua negras de 102.74 L/día.

b) Cálculo del requerimiento de agua en el sistema de evapotranspiración

El prototipo para la depuración de aguas negras consta en su parte superior de 2 plantas de banano, 12 plantas de taro o papa china a continuación se detalla el requerimiento de agua diario de agua de estas plantas.

Según Torres, (2012) el consumo de una hectarea de banano tiene un requerimiento mensual entre 1200 a 1300 m³/ ha teniendo en cuenta esta recomendación y el mismo autor manifiesta que el número de plantas en una hectarea es de aproximadamente de 1100 a 1850, con lo cual se obtienen los siguientes resultados:

$$\frac{1200}{1100} \frac{\frac{m^3}{ha}}{\frac{plantas}{ha}} = 1.09 \frac{m^3}{planta}$$

$$\frac{1090.9}{30} \frac{L}{planta \text{ días}} = 36.36 \frac{L}{\text{día} \times \text{planta}}$$

$$36.36 \frac{L}{\text{día} \times \text{planta}} \times 2 \text{ plantas} = 72.72 \frac{L}{\text{día}}$$

Según Mendoza Maisanche, (2014), recomienda un requerimiento de agua del taro o papa china de 1600 a 2600mm anual, se adopta un promedio de 2100mm, se obtienen los siguientes resultados:

$$1 \text{ mm} = 1 \frac{L}{m^2}$$

$$2100 \frac{L}{m^2} \times (3.5m \times 3m) = 22050 L$$

$$\frac{22050}{365} \frac{L}{días} = 60.41 \frac{L}{día}$$

Requerimiento hídrico de cada planta.

$$\frac{60.41}{12} \frac{\frac{L}{día}}{plantas} = 5.03 \frac{L}{día}$$

Requerimiento total hídrico del sistema de:

$$(72.72 + 60.41) \frac{L}{día} = 133.13 \frac{L}{día}$$

Para el cálculo del volumen de espacios vacíos existentes en la cámara de evapotranspiración se coloca un volumen de agua conocido hasta llegar al nivel superior, con el caudal y el tiempo conocido, se calcula el volumen de vacíos.

El volumen de espacios se calcula a partir de un caudal conocido en un determinado tiempo de una tubería existente obteniendo un volumen de 1800 litros.

El caudal requerido en la cámara de evapotranspiración es de 133.13 L/día.

Al dividir el caudal para el volumen de espacios se obtiene el tiempo de retención dentro de la cámara de evapotranspiración.

$$TRH = \frac{Vt}{Q}$$

$$TRH = \frac{1800}{133.13} \frac{L}{L/día}$$

$$TRH = 13.5 \text{ días}$$

c) Mantenimiento del prototipo para la depuración de aguas negras

El mantenimiento de la cámara de evapotranspiración consiste principalmente en vigilar el crecimiento de la vegetación presente en el sistema, en el inicio del funcionamiento se debe monitorear el crecimiento correcto de las plantas y realizar el reemplazo de las plantas que no tengan un crecimiento adecuado, verificar regularmente la entrada de objetos extraños al sistema.

d) Periodo de vida útil

En la actualidad no se cuenta con una base de datos suficiente para poder estimar el periodo de vida útil adecuado del sistema, sin embargo debido a los materiales utilizados y al correcto mantenimiento, el prototipo construido se estima un periodo de vida útil de 5 a 10 años.

Con los resultados obtenidos se puede decir que, el volumen diario de aguas negras en la vivienda es de 102.74 litros, y el requerimiento de agua de las plantas sembradas en el sistema es de 113.13 litros diarios, por lo que se garantiza que el agua negra a depurarse va a ser eliminada (evapotranspiración) y los nutrientes incorporados la biomasa de los vegetales.

3.4. Depuración de aguas grises

3.4.1. Descripción y diseño

Los criterios de selección para la depuración de aguas grises son: el número de habitantes de la vivienda y el tiempo de retención hidráulica necesario para una correcta depuración de las aguas grises.

a) Biofiltros de arena

b) Zanja de filtración

Tabla 14. Componentes de la zanja de filtración.

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN
Entrada	Permite la comunicación entre los biofiltros y la zanja de filtración.
Estrato de grava	En este estrato permite la salida del agua hacia la zanja de filtración, esta capa es de 25 cm.
Estrato de tierra orgánica	En este estrato permite sembrar las diferentes plantas macrófitas en la zanja de filtración, esta capa es de 25 cm.
Plantas macrófitas	Se siembran plantas macrófitas recomendadas por los habitantes del sector como totora existentes en el sitio.

Fuente: El Autor

3.4.2. Sistema constructivo

Entre los principales criterios de construcción del prototipo están los materiales accesibles al sector, arena, grava, etc. Se realiza pequeños tanques de ferrocemento que sirven para la colocación de los diferentes estratos de cada filtro.

En el tratamiento de aguas grises se construye tanques de ferrocemento en los cuales se colocan granulometrías de grava, arena y piedra pómez. El tratamiento consta de dos biofiltros, constituidos por una capa de arena, piedra pómez y grava. La segunda parte consta de una zanja de filtración en cuya superficie se siembran plantas macrófitas (totora, papa china, etc.). Para regular el caudal se coloca un tanque de almacenamiento y regulación similar al tanque de rompe-presión descrito en la Tabla 5, sin embargo el tanque utilizado no cuenta con la válvula de flotador.

3.4.3. Presupuesto

Los precios de los materiales utilizados son cotizados en el mercado el mes de junio del 2015, estos costos se deben actualizar para contar con un coste real del proyecto actualizado.

A continuación se detallan los costos directos del tanque de almacenamiento y regulación, no incluye mano de obra.

Tabla 15. Costo directo del tanque de almacenamiento y regulación

COSTO TANQUE DE ALMACENAMIENTO Y REGULACIÓN					
Ítem	Parámetro	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
1	CODO PVC DESAGÜE 2" x 90°	U	1.00	0.65	0.65
2	CODO PVC DESAGÜE 1" x 90°	U	2.00	0.6	1.20
3	BARRIL METÁLICO	U	1.00	10	10.00
4	MALLA HEXAGONAL GALLINERO	m	1.88	1.7	3.20
5	VÁLVULA DE COMPUERTA 2"	U	1.00	25	25.00
6	VÁLVULA DE COMPUERTA 1"	U	1.00	9	9.00
7	TUBERÍA PVC DESAGÜE 50 mm	U	1.00	1.32	1.32
8	CEMENTO	kg	49.21	0.158	7.77
9	ARENA	m ³	0.12	18	2.13
10	PINTURA ANTICORROSIVA	U	1.000	3.5	3.50
COSTO TOTAL \$ =					63.78

Fuente: El Autor

El costo total es de sesenta y tres con 78/100 dólares.

A continuación se detallan los costos directos de los pequeños tanques de ferrocemento, no incluye mano de obra.

Tabla 16. Costo directo de tanques de ferrocemento

COSTO TANQUES DE FERROCEMENTO					
Ítem	Parámetro	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
1	CEMENTO	kg	58.83	0.158	9.30
2	ARENA	m ³	0.14	18	2.54
3	VARILLA DE 8 mm	kg	9.48	1.4	13.27
4	ALAMBRE GALVANIZADO	kg	1.00	1.8	1.80
COSTO TOTAL \$ =					26.91

Fuente: El Autor

El costo total es de veintiséis con 91/100 dólares

A continuación se detallan el costo directo de la zanja de filtración, no incluye mano de obra.

Tabla 17. Costo directo zanja de filtración

COSTO ZANJA DE FILTRACIÓN					
Ítem	Parámetro	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
1	GRAVA	m ³	0.789	17	13.42
2	ARENA	m ³	0.029	18	0.53
3	TIERRA ORGÁNICA	m ³	0.750	0	0.00
4	PIEDRA PÓMEZ	kg	10.603	0.25	2.65
5	TUBERÍA DESAGÜE PVC 50 mm	m	5.000	1.32	6.60
7	CODO PVC DESAGÜE DE 90° X 2"	U	8.000	0.65	5.20
COSTO TOTAL \$ =					28.40

Fuente: El Autor

El costo total es de veintiocho con 40/100 dólares

Se detalla a continuación un resumen del costo total del proyecto:

Tabla 18. Costo directo total del proyecto

COSTO TOTAL DEL PROYECTO	
Parámetro	Cantidad
Prototipo para el tratamiento de agua	224.74
Prototipo para la depuración de aguas negras	514.88
Prototipo para la depuración de aguas grises	119.08
Costo de análisis de agua	523.50
COSTO TOTAL DEL PROYECTO \$ =	1382.20

Fuente: El Autor

El costo total de proyecto es de mil trescientos ochenta y dos con 20/100 dólares.

3.4.4. Resultados

a) Tiempo de retención hidráulico (TRH)

De la misma manera se realiza el cálculo de espacios vacíos en los biofiltros instalados en campo para la depuración de aguas grises, siguiendo la misma metodología se realiza el llenado con un volumen de agua conocido al primer biofiltro hasta el nivel de operación, se deja en saturación durante 1 días debido a la absorción que puede existir de los diferentes estratos usados, se obtiene un volumen de espacios vacíos de 33 litros, y se registra un caudal de 27.5 L/h

$$TRH = \frac{V_t}{Q}$$

$$TRH = \frac{33 \text{ L}}{27.5 \text{ L/h}}$$

$$TRH = 1.2 \text{ h}$$

De igual forma se realiza el cálculo del volumen de espacios vacíos en el segundo biofiltro y se obtiene un volumen de 28 litros, se registra un caudal de 22.4 L/h.

$$TRH = \frac{V_t}{Q}$$

$$TRH = \frac{28 \text{ L}}{22.4 \text{ L/h}}$$

$$TRH = 1.25 \text{ h}$$

Sumando los dos tiempos de retención obtenemos un tiempo de 2.45 horas de retención dentro de los biofiltros.

b) Mantenimiento del prototipo para la depuración de aguas grises

El mantenimiento del prototipo se recomienda realizar regularmente, en el caso del tanque de almacenamiento y regulación se recomienda extraer las grasas que se acumulen en la parte superior de este tanque cada mes. De igual forma, realizar el lavado de arena de los dos biofiltros los primeros 10 cm, luego de ser correctamente lavada se la reincorpora a los biofiltros.

c) Periodo de vida útil

Con los materiales utilizados y el correcto mantenimiento, el prototipo construido se estima un periodo de vida útil de 10 a 15 años.

La construcción del prototipo para la depuración de agua gris se detalla en el Anexo N° 7 en el cual se explica paso a paso la construcción del prototipo.

Con los resultados obtenidos el agua gris de la vivienda cuenta con un mejor manejo antes de ser vertida al suelo o al subsuelo, el tiempo de retención en los biofiltros es de 2.45 horas con lo cual se garantiza un tiempo de contacto aceptable con el lecho filtrante, mejorando la calidad en la remoción de los contaminantes.

CONCLUSIONES

El filtro rápido de grava instalado después de la captación, mejora la calidad física del agua a tratarse, eliminando el 100% de los sólidos gruesos que aumentan en épocas de lluvia.

El sistema de biofiltración tiene un costo directo de ciento sesenta y cuatro dólares americanos con setenta y cuatro centavos, por tanto el tratamiento es accesible a la economía del sector rural y la remoción de gérmenes totales es de 97.8%. Este sistema puede ser aplicado después de inundaciones o catástrofes naturales como medio paliativo.

Con los resultados obtenidos del sistema de biofiltración de los tres meses de análisis (junio, julio, agosto), los mejores resultados de remoción se presentan en el tercer mes de funcionamiento del sistema, por lo tanto se puede evidenciar que la formación de la biocapa se desarrolla con el pasar del tiempo, por lo cual es necesario desinfectar el agua a la salida del tratamiento los primeros meses de la puesta en marcha del sistema o a su vez dar un arranque previo (inocular) el medio filtrante.

En la depuración de aguas negras, el volumen diario generado en la vivienda es de 102.74 litros, y el requerimiento de agua de las plantas sembradas en el sistema es de 113.13 litros diarios, por lo que se garantiza que el agua negra a depurarse va a ser eliminada (evapotranspiración) y los nutrientes son incorporados a la biomasa de los vegetales.

El costo total en la depuración de aguas negras es de quinientos catorce dólares con ochenta y ocho centavos, su mantenimiento es mínimo y su periodo de vida útil es de aproximadamente 5 a 10 años, por tanto es viable aplicar este tipo de depuración donde las condiciones ambientales sean las adecuadas (clima cálido seco).

El agua gris de la vivienda cuenta con un mejor manejo antes de ser vertida al suelo o al subsuelo, el tiempo de retención en los biofiltros es de 2.45 horas con lo cual se garantiza un tiempo de contacto aceptable con el medio filtrante.

RECOMENDACIONES

Para un mejor desempeño del sistema de biofiltración se recomienda dar un arranque previo al medio filtrante, para proveer el ambiente apropiado a la colonización de los diferentes microorganismos necesarios en el tratamiento biológico.

Investigar detenidamente la formación de la biocapa en distintos medios filtrantes para tener una caracterización sobre su formación y crecimiento, lo que permitirá saber que parámetros benefician la formación de las biopelículas en los medios filtrantes.

La supervisión de la cámara de evapotranspiración por un período mínimo de cinco años con lo cual se obtendrá una base de datos que validen el correcto funcionamiento de esta metodología de depuración de aguas negras.

La cámara de evapotranspiración luego de haber cumplido su vida útil o de presentar una colmatación del sistema por la acumulación de lodos, realizar la construcción de una segunda cámara de evapotranspiración de las mismas características, lo que permitirá purgar los lodos acumulados en la cámara inicial pudiendo ser utilizados como abono en agricultura.

Realizar modelos físicos de la cámara de evapotranspiración, puesto que el estudio de su funcionamiento a largo plazo dará una mejor apreciación de las ventajas y desventajas de aplicar esta tecnología.

Dar a conocer a instituciones públicas o privadas estas metodologías de tratamiento y depuración de aguas ya que son viables, contribuyen en la mejora de la calidad de vida de las personas y disminuyen la contaminación del ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

- DEQ Graywater Advisory Committee. (2010). *Recommendations on Graywater Treatment, Disposal and Reuse*. Oregon.
- Antunes Amaral, A. M. (2013). *ESPÉCIES PARA PLATAFORMAS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO CAPACIDADE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO E ADAPTAÇÃO CLIMÁTICA*.
- Arcos Serrano, M., & Fernández Villagómez, G. (1993). *Procesos biológicos de tratamiento para la estabilización de residuos líquidos tóxicos*. Mexico.
- Barrientos, H., Tello, J., Pacheco, C., & Palomino, M. (2009). *Purificación de agua por medio de filtros lentos de arena en la comunidad de Kuychiro-Cusco*. Cusco.
- Brix, H., & Arias, C. A. (2011). *USE OF WILLOWS IN EVAPOTRANSPIRATIVE SYSTEMS FOR ONSITE WASTEWATER MANAGEMENT – THEORY AND EXPERIENCES FROM DENMARK*. Dinamarca.
- Castelán Rogríguez, G. (2015). *Inhibición de bacterias oxidantes de nitritos en biopelícula de biofiltro para tratamiento de aguas residuales*. México.
- CAWST. (2008). *Manual del filtro de bioarena*. Canada.
- Domínguez Fabela, L. T. (2012). *Tratamiento de aguas residuales municipales en un filtro biológico aerobio utilizando tezontle con dos diferentes tamaños de partícula*. México.
- dos Santos Ercole, L. A. (2003). *Sistema modular de gestão de águas residuárias domiciliares: uma opção mais sustentável para a gestão de resíduos líquidos*. Porto Alegre.
- Esrey, S. (1998). *Saneamiento Ecológico*. Estocolmo.
- Esther, D., & Balakrishna, P. (2008). Visualisation of the microbial colonisation of a slow sand filter using an Environmental Scanning Electron Microscope. *Electronic Journal of Biotechnology*, 1-7.
- FAO. (1990). *Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma.
- GADP El Tambo. (2012). *PDYOT*. Catamayo.
- Galbiati, A. F. (2009). *Tratamiento domiciliar de aguas negras através de tanque de evapotranspiração*. Campo Grande.
- Geyer Okun, F. (1998). *Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales*.
- Gleick, P. (1996). *Basic water requirements for human activities: meeting basic needs*. Oakland.
- Hammeken Arana, A. M., & García, E. R. (2005). *Análisis y diseño de una planta de tratamiento de agua residual para el municipio de San Andrés Cholula*. México.
- Lesikar, B., Melton, R., Smith, D., & O'Neill, C. (2005). *On-site wastewater treatment systems*. Texas.

- Ling, T.-Y., Apun, K., & Zainuddin, S.-R. (2009). *Performance of a Pilot-Scale Biofilters and Constructed Wetland with Ornamental Plants in Greywater Treatment*. Malaysia.
- M., P., A., M., T., S., B., J., & P., J. (2007). *Greywater recycling: treatment options and applications*.
- Martín, A., & González, A. (2010). *Sistema de captación, almacenamiento y purificación de agua lluvia*. México.
- Mendoza Maisanche, Á. (2014). *Elaboración de harina de pap china (Colocasia esculenta) y banano (Musa paradisiaca) como suplemento nutricional para alimentación animal*. Los Ríos.
- Miglio Toledo, R., & Spittler Hoffmann, H. (2009). *SANEAMIENTO ECOLÓGICO (ECOSAN) COMO INSTRUMENTO PARA AHORRAR AGUA EN EL TRANSPORTE DE EXCRETAS*.
- OMS. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano*. Lima.
- OMS. (2006). *Guías para la calidad del agua potable*. Suiza.
- Rojas, J. A. (2000). *Purificación del agua*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Tello Moreno, L. (2005). *El acceso al agua potable, ¿ Un derecho humano?* México.
- Teng Bao, T.-h. C. (2014). Development and application of Palygorskite porous ceramsite in a biological aerated filter (BAF). *Desalination and Water Treatment*.
- Torres, S. (2012). *Guía práctica para el manejo de banano orgánico en el valle del Chira*. Lima.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2000). *Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters*. Cincinnati.
- UNICEF. (2015). *UNICEF*. Retrieved Enero 7, 2015, from Unicef:
<http://www.unicef.org/spanish/wash/>
- Vargas, L. d. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano*. Lima.
- Vargas, L. d. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano Plantas de filtración rápida*. Lima.

ANEXOS

Anexo 1: Resultados del análisis por difracción de rayos-x de la arcilla (Indiuchu)

Mineral	Fórmula	"Mina A" La Vega (%)	"Mina B" Indiuchu (%)	"Mina C" Arcimego (%)
Cuarzo	SiO ₂	42	16	41
Caolinita	Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄	18	-	11
Illita	(K,H ₃ O)(Al,Mg,Fe) ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ [(OH) ₂ ,(H ₂ O)]	8	-	29
Dióxido	CaMgSi ₂ O ₆	3	10	-
Grupo Plagioclasas (Albita, Andesita, Anortita)	(Na,Ca)(Si,Al) ₃ O ₈	16	72	18
Phengita	Al ₃ H ₂ KO ₁₂ Si ₃	9	-	-

Fuente: Ladrillos artesanales habilitados para un uso extendido como materia prima en la industria de la construcción

Anexo 2. Composición química y propiedades físicas de la piedra pómez.

COMPONENTE	PORCENTAJE
O ₂	70.5
Al ₂ O ₃	13.5
Fe ₂ O ₃	1.1
FeO	0.1
Na	1.6
K	1.8
Ca	0.8
TiO ₂	0.2
SO ₃	0.1
MgO	0.5

Propiedades Físicas	
Dureza(escala Mohs)	5.5
Ph	7.2
Punto de ablandamiento	900°C
Peso unitario	25~60 libras/uc ³

Fuente: Balda Leon, 2003

**PLANOS Y DETALLES DE LOS SISTEMAS
DE TRATAMIENTO Y DEPURACIÓN DE AGUAS,
IMPLEMENTADAS EN EL BARRIO SAN BERNABÉ,
PARROQUIA DE EL TAMBO, CANTÓN CATAMAYO**