



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE.

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE HUMEDALES
ARTIFICIALES PARA LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS
RESIDUALES, PROCEDENTES DE UNA VIVIENDA UBICADA EN LA
COMUNIDAD DE SAN VICENTE PERTENECIENTE AL CANTÓN
YANTZAZA”

Tesis de grado previa a la obtención del
título de ingeniero en Manejo y
Conservación del Medio Ambiente

AUTOR:

Byron Rodrigo Sarango González

DIRECTOR:

Ing. Galo Enrique Ramos Campoverde, Mg. Sc.

ZAMORA – ECUADOR

2016

CERTIFICACIÓN

Ing. Galo Enrique Ramos Campoverde. Mg. Sc.

DOCENTE DE LA MODALIDAD DE ESTUDIOS PRESENCIAL DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE DEL PLAN DE CONTINGENCIA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA, SEDE ZAMORA.

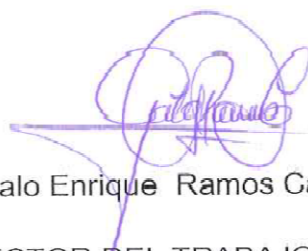
CERTIFICO:

Que el presente trabajo de titulación denominado: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES, PROCEDENTES DE UNA VIVIENDA UBICADA EN LA COMUNIDAD DE SAN VICENTE PERTENECIENTE AL CANTÓN YANTZAZA”**, desarrollado por el señor Byron Rodrigo Sarango González, ha sido elaborado bajo mi dirección y cumple con los requisitos de fondo y de forma que exigen los respectivos reglamentos e instructivos.

Por ello autorizo su presentación y sustentación.

Zamora, 07 de Noviembre de 2016

Atentamente



Ing. Galo Enrique Ramos Campoverde. Mg. Sc
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

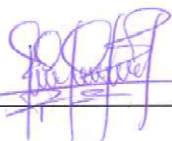
AUTORIA

Yo **Byron Rodrigo Sarango González**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

AUTOR: Byron Rodrigo Sarango González

FIRMA: _____



CÉDULA: 1900651884

FECHA: Zamora, 12 de Diciembre de 2016.

DEDICATORIA

A Dios, mis padres, mis hermanos y mi amada mujer e hijo, les dedico con mucho cariño todo el esfuerzo y trabajo puesto para la realización de este trabajo.

Byron Rodrigo Sarango González.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de Loja y docentes de la carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente de la sede Zamora quienes me han brindado sus conocimientos y me han preparado para enfrentarme al campo profesional.

En especial al Ing. Galo Enrique Ramos Campoverde, Mg. Sc., quien me supo guiar como director durante el desarrollo de este proyecto.

A la propietaria de la vivienda donde se desarrolló esta investigación quien coopero con la información y además brindando un área de terreno para la ubicación del proyecto.

Y a todas aquellas personas que de alguna u otra manera colaboraron para que este proyecto se lleve a cabo.

1 TITULO

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES, PROCEDENTES DE UNA VIVIENDA UBICADA EN LA COMUNIDAD DE SAN VICENTE PERTENECIENTE AL CANTÓN YANTZAZA”

2 RESUMEN

Esta investigación se llevó a cabo en la comunidad de San Vicente de Caney de la parroquia Chicaña, esta se desarrolló en el periodo de abril a septiembre de 2016, cuyo propósito fue el de diseñar e implementar un humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales domesticas como tratamiento natural alternativo al convencional y de bajo coste para contribuir a la disminución de contaminantes de las descargas de aguas servidas a cuerpos de agua dulce y por ende aportar al mejoramiento de la salud de la población y ambiente en general.

El desarrollo del proyecto inició con la revisión de literatura y marco legal relacionada con la temática con el propósito de fundamentar el desarrollo del estudio. Posteriormente se seleccionó y caracterizo la vivienda, a continuación se realizó un análisis de la DBO5 tomada de la descarga de agua de la vivienda y además se procedió a medir el caudal por el método volumétrico. Luego a través de ecuaciones matemáticas se calculó la población futura y posteriormente el área necesario para el humedal. El humedal, trampa de grasas y caja de distribución se construyeron de hormigón con ladrillos, luego se colocó las capas filtrantes en el humedal y finalmente se implementó la vegetación.

El porcentaje de remoción de contaminantes se obtuvo mediante la comparación del resultado del análisis del agua residual sin tratar con una tratada, obteniendo así como mejores resultados en los parámetros Solidos Suspendidos Totales y Demanda Química de Oxigeno con el 90% de remoción.

2.1 SUMMARY

This research work was carried out in Chicaña parish in San Vicente of Caney community, it was developed from April to September 2016, whose purpose was to design and implement an artificial humidity for the treatment domestic wastewater as an alternative natural to the conventional and low cost in order to contribute to the pollutants reduction from wastewater discharges to sweet water bodies and promote the improvement of the health, population and environment in general.

The project development started with the literature review and the legal framework related with the thematic in order to support the development of the study. Subsequently, the dwelling was selected and characterized, then an analysis of the BOD5 was taken from the water discharge from the dwelling and moreover it proceeded to measure the flow rate by the volumetric method. Then, through mathematical equations, the future population and the necessary area for the wetland were calculated. The wetland, greases trap and distribution box were constructed of concrete with bricks, later the filtering layers were placed in the wetland and finally the vegetation was implemented.

The contaminants removal percentage was obtained by comparing the analysis result of the untreated wastewater with a treated one, obtaining better results in the parameters Total Suspended Solids and Chemical Oxygen Demand with 90% of removal.

3 INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas a nivel mundial se ha observado un incremento en la contaminación de los cursos de agua, resultado de las descargas de las aguas residuales provenientes de los sistemas de alcantarillado de los centros urbanos y comunidades rurales, mismos que en su mayoría no reciben ningún tipo de tratamiento o no son los adecuados, afectando no solo a los ecosistemas sino también generando riesgos a la salud de las personas.

Actualmente existen métodos convencionales para el tratamiento de aguas servidas pero a costos elevados y que en la mayoría de los casos no son accesibles económicamente a las viviendas familiares o pequeñas poblaciones, pero existen también como alternativas de tratamiento de aguas servidas los tratamientos naturales que en muchos casos son poco conocidos, razón por la que se siguen vertiendo este tipo de aguas sin ningún tipo de tratamiento a los cauces de agua.

El propósito del presente proyecto es de diseñar e implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas en una vivienda, demostrando que el sistema implementado no requiere de elevados costos de construcción, es amigable con el medio ambiente y además este sistema puede ser replicable en otras viviendas e incluso para comunidades pequeñas, además que beneficia de manera directa al propietario de la vivienda y de manera indirecta a toda aquella población que está radicada en las comunidades aguas abajo como es la cabecera Parroquial de Chicaña, ya que este proyecto aporta a disminuir el nivel de contaminación del río Chicaña, contribuyendo de esta manera al derecho de vivir en un ambiente sano a las personas que se beneficiarán directa e indirectamente del proyecto.

El proyecto se ejecutó en la comunidad de San Vicente de Caney perteneciente a la parroquia Chicaña, cantón Yantzaza y provincia de Zamora Chinchipe, tuvo una duración de cinco meses y cuyo objetivo general correspondió a: Diseñar e implementar un sistema de Humedales Artificiales para la depuración de las aguas residuales procedentes de una vivienda ubicada en la comunidad de San Vicente perteneciente al cantón Yantzaza.

Los objetivos específicos del proyecto corresponden a:

- Determinar el nivel de contaminación en las aguas residuales domiciliarias procedentes de una vivienda ubicada en la comunidad de San Vicente.
- Diseñar e Implementar el sistema de Humedales Artificiales para la depuración de las aguas residuales domésticas en una vivienda ubicada en la comunidad de San Vicente.
- Determinar el porcentaje de descontaminación de las aguas residuales domesticas al pasar por el sistema de Humedales Artificiales.

4 REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 El agua, fuente indispensable para la vida

El agua es extraordinariamente abundante en la Tierra, tiene propiedades poco comunes y es tan indispensable para la vida que merece un estudio especial. Es muy probable que la vida haya surgido en las aguas de la tierra primitiva. Los organismos vivos todavía contienen entre 60 y 90% de agua y toda la vida depende íntimamente de las propiedades del agua (Audesirk, Audesirk y Byers, 2004, p. 37).

Según Monge, Gómez y Rivas, (2002) “el agua es sinónimo de vida; sin ella no podría existir, por lo menos como la conocemos. Además el agua desempeña una serie de funciones en los seres vivos, la mayoría de los productos químicos están disueltas en ella” (p. 54).

Casi todas las reacciones del cuerpo humano, así como otras muchas reacciones sobre la tierra se llevan a cabo en un ambiente acuoso, sin agua estas reacciones no se realizan o se realizarían muy lentamente. Además las plantas la transforman junto con la energía solar en crecimiento y reproducción (Rico, Pérez y Castellanos, 2008, p. 94).

Además el agua es de vital importancia en la agricultura, misma que es empleada en zonas áridas o secas con la finalidad de satisfacer las necesidades de agua de los cultivos.

4.1.1 Distribución del agua en el planeta.

Referente a la distribución del agua a nivel mundial Rico et al., (2008) sostiene:

El agua cubre alrededor del 71% de la superficie del planeta y le da ese color azul característico que se ven en las fotografías tomadas desde el espacio. A escala mundial la cantidad de agua dulce es realmente pequeña, la mayor proporción del agua del planeta aproximadamente el 97,1% del total es agua salada perteneciente a los océanos. La reserva que se sigue en magnitud 2,24% aproximadamente se hallan en los glaciares y capas de hielo, principalmente en la Antártida y Groenlandia. Y el siguiente almacén importante de agua menos del 1% del total se encuentra en los depósitos subterráneos. Si consideramos el agua de los ríos, playas, arroyos, manantiales y depósitos subterráneos, tenemos entonces que el volumen disponible para las actividades humanas es aproximadamente el 0,63% del total de agua del planeta (p. 94).

4.1.2 Usos del agua.

El agua tiene una amplia variedad de aplicaciones, es así que Ramos, Sepúlveda y Villalobos, (2003) manifiestan que:

Un cuerpo de agua puede utilizarse para fines recreativos, para mantener la vida acuática y silvestre, para el riego agrícola, para actividades industriales o bien, como abastecimiento público de agua. Es evidente que se requieren grados distintos de pureza para cada uno de estos usos (p. 36).

El agua empleada en cualquiera de estas actividades es perturbada de su estado natural, dando lugar así a la contaminación de la misma.

4.2 Contaminación del agua

La contaminación del agua se describe como “cualquier alteración de las características físicas, químicas o biológicas, en concentraciones tales que la hacen no apta para el uso deseado, o que causa un efecto adverso al ecosistema acuático, seres humanos o al ambiente en general” (Ministerio del Ambiente del Ecuador, MAE, 2015, p. 81).

Haciendo mención a lo anterior cabe recalcar que “Las principales fuentes de contaminación del agua se han agrupado de acuerdo a su procedencia y pueden ser clasificadas en cuatro grupos: urbanas, industriales, agropecuarias y naturales” (Ramos et al, 2003, p. 40). Estas fuentes generan aguas servidas producto del uso del agua en sus procesos, ya sean industriales o en usos domésticos.

4.2.1 Aguas residuales.

4.2.1.1 Definición.

Según el MAE, (2015) en el AM 097 la define como “el agua de composición variada proveniente de uso doméstico, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de otra índole, sea público o privado y que por tal motivo haya sufrido degradación en su calidad original” (p. 8).

4.2.1.2 Clasificación de las aguas residuales.

La clasificación de aguas residuales son: “aguas domesticas o urbanas, aguas residuales industriales, escorrentías de usos agrícolas y las aguas residuales pluviales” (Jiménez, de Lora y Sette, 2003).

4.2.1.2.1 Agua residual industrial.

Según el MAE, (2015) el agua residual industrial es considerada como “agua de deshecho generada en las operaciones o procesos industriales” (p. 8).

4.2.1.2.2 Agua residual agrícola.

Según Mara citado por Vinueza, (2014) se define como “los principales contaminantes que constituyen este tipo de aguas residuales se deben al arrastre

de las aguas lluvias y de riego de los productos usados en la agricultura como abonos, pesticidas, herbicidas y otros” (p. 24).

4.2.1.2.3 Agua residual pluvial.

Mara citado por Vinueza, (2014) afirma que “son aguas caracterizadas por su escasa contaminación, provienen principalmente de drenajes o de esorrentía superficial, siendo de tal manera de aportación intermitente” (p. 23). Dentro de las aguas lluvias se pueden determinar que los primeros flujos que se obtienen son generalmente muy contaminados debido al arrastre de basura y demás materiales acumulados en la superficie.

4.2.1.2.4 Agua residual doméstica.

Se define como la “mezcla de: desechos líquidos de uso doméstico evacuados de residencias, locales públicos, educacionales, comerciales e industriales” (MAE, 2015, p 8).

4.2.2 Características de las aguas residuales domésticas.

4.2.2.1 Características físicas.

Entre las características físicas medibles de las aguas residuales domesticas los principales son los siguientes:

4.2.2.1.1 Solidos totales.

Según Da Cámara citada por Delgadillo, Camacho, Pérez y Andrade, (2010) “son la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a una temperatura entre 103°C y 105°C hasta que se evapore” (p. 56).

4.2.2.1.2 Olor.

La determinación del olor es un aspecto muy importante en plantas de tratamiento de aguas residuales, especialmente cuando dichas instalaciones se encuentran cerca de centros poblados.

Delgadillo et al, (2010) manifiesta que “el olor de un agua residual fresca y bien tratada es inofensivo, razonablemente soportable, pero cuando el proceso de degradación de contaminantes se realiza en condiciones anaerobias, existe una amplia gama de olores desagradables que son liberados” (p. 53).

4.2.2.1.3 Temperatura.

Delgadillo *et al.* (2010) sostiene que “la temperatura del agua residual es mayor que la temperatura de agua para abastecimiento, como consecuencia de la incorporación de agua caliente proveniente del uso doméstico, además este parámetro es importante ya que muchos procesos biológicos dependen de la temperatura” (p. 53).

4.2.2.1.4 Densidad.

Metcalf & Eddy, (1995) definen la densidad como “la masa del agua residual por unidad de volumen (kg/m^3). De esta característica depende la formación de corrientes de densidad en fangos de sedimentación u otras instalaciones de tratamiento” (p. 72). Tanto la densidad como el peso específico dependen de la temperatura y varían en función de la concentración total de sólidos.

4.2.2.1.5 Color.

Referente al color de las aguas residuales domésticas, estas “Inicialmente son de color gris, pero a medida que avanza el tiempo se vuelven más oscuras hasta llegar a un color negro. De esta manera se puede determinar la edad de una u otra agua residual” (Romero, 2000, p. 37). Además, por los colores que presentan los contaminantes de las aguas residuales se puede rastrear las mismas a su origen.

4.2.2.1.6 Turbiedad.

Cárdenas citado por Delgadillo et al, (2010) define a la turbidez de una muestra de agua como “una medida de la pérdida de su transparencia, ocasionada por el material particulado o en suspensión que arrastra la corriente de agua” (p. 54). Este material puede consistir en arcillas, limos, algas, etc., que se mantienen en suspensión debido a la fuerza de arrastre de la corriente o a su naturaleza coloidal.

4.2.2.2 Características químicas.

En este apartado constan los parámetros químicos más importantes en la caracterización de aguas residuales, estos a su vez se subdividen en orgánicos e inorgánicos. Los parámetros químicos más empleados para caracterizar aguas residuales se detallan a continuación:

4.2.2.2.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO5).

Según la Comisión Estatal del Agua de Jalisco, (2013). “Es el parámetro que mide el contenido de materia orgánica biodegradable que posee el cuerpo de agua y la cantidad de oxígeno necesario para su descomposición” (p.11). Esta se realiza en un periodo de cinco días.

4.2.2.2 Demanda Química de Oxígeno (DQO).

La demanda química de oxígeno, es una estimación de la materia susceptible a oxidación, por un oxidante químico fuerte. Esto significa que requiere menos condiciones controladas que la DBO (CEA Jalisco, 2013, p. 11).

4.2.2.3 Grasas y Aceites.

Las grasas y aceites tienen como característica principal la insolubilidad en el agua. Están siempre en las aguas residuales domésticas, debido al uso de mantequilla y aceites vegetales en cocinas (Delgadillo et al, 2010, p. 81).

4.2.2.4 Agentes Tensoactivas.

Los tensoactivos son moléculas orgánicas grandes que se componen de dos grupos: uno insoluble en agua y otro soluble. “Los tensoactivos provienen de la descarga de detergentes domésticos, lavanderías industriales y otras operaciones de limpieza. Pueden causar la aparición de espumas en el agua de las plantas de tratamiento y/o en la superficie de los cuerpos receptores (Mendonca citado por Delgadillo et al, 2010, p. 81).

4.2.2.5 Oxígeno disuelto.

El oxígeno que contiene el agua se conoce como oxígeno disuelto y proviene de muchas fuentes, siendo la principal el oxígeno absorbido desde la atmósfera. “El oxígeno disuelto (OD) es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios así como de otras formas de vida como ser peces, anfibios, algas, etc.” (Delgadillo et al, 2010, p. 82).

4.2.2.2.6 .pH.

El pH es un para esto de gran importancia, tanto para aguas naturales como para aguas residuales. “El agua residual, con concentraciones del Ion hidrogeno inadecuadas, presenta dificultades para el tratamiento con procesos biológicos, además el efluente puede modificar la concentración del Ion hidrogeno en las aguas naturales, si esta no se modifica antes de la evacuación del agua (CEA Jalisco, 2013, p. 9). En las aguas residuales urbanas, el pH se encuentra entre 6,5 y 8,5.

4.2.2.2.7 Cloruros.

“Son unas de las sales que están presentes en mayor cuantía, en las fuentes de abastecimiento de agua y drenaje. Su alto contenido en aguas para uso industrial puede causar corrosión en las tuberías metálicas y en las estructuras” (CEA Jalisco, 2013, p. 21).

4.2.2.2.8 Alcalinidad.

Se refiere a la presencia de sustancias hidrolizables en el agua y que, como producto de hidrolisis, generan el ion hidroxilo (OH⁻), contribuyen en forma importante a la alcalinidad del medio (CEA Jalisco, 2013, p. 20).

4.2.2.2.9 Nitrógeno.

Con relación al nitrógeno Delgadillo et al, (2010) manifiesta.

En las aguas residuales, a excepción de unos pocos vertidos industriales, el nitrógeno es escaso: fundamentalmente como amonio (por hidrólisis de la urea), proteínas, aminas y escasas cantidades de nitratos. El contenido total de nitrógeno, en los análisis de aguas, está compuesto por nitrógeno

amoniacal, nitritos, nitratos y nitrógeno orgánico. Además uno de los problemas que causan la contaminación por nitrógeno es el efecto tóxico del amonio en peces y algas (p. 76).

Ademas la CEA Jalisco, (2013) manifiesta que “varios compuestos de nitrogeno son nutrientes esenciales, pero su exceso en las aguas es causa de eutrofizacion” (p. 11).

4.2.2.2.10 Fosforo.

El fosforo generalmente se encuentra en aguas naturales, residuales y residuales tratadas en forma de fosfatos. “Estas provienen de una gran cantidad de fuentes, tales como productos de limpieza, fertilizantes, procesos biológicos, etc. El fosforo es un nutriente esencial por lo que su descarga en cuerpos de agua puede estimular el crecimiento de macro y microorganismos fotosintéticos” (CEA Jalisco, 2013, p. 13).

4.2.2.2.11 Metales pesados.

Los metales existentes en las aguas residuales son originados por la actividad del hombre. “Suelen estar presentes en forma de partículas y son rápidamente incorporados a compuestos organo-metálicos o algunas fases minerales. Posteriormente pasan a formar parte de la materia en suspensión (MS) que se transporta en el agua y finalmente de los sedimentos” (Delgadillo et al, 2010, p. 80).

4.2.2.3 Características microbiológicas.

El agua puede transmitir enfermedades entéricas (intestinales) debido al contacto con desechos humanos o animales. La fuente principal de patógenos

entéricos son los excrementos y otros desechos eliminados por humanos enfermos y/o animales huéspedes (García citado por Delgadillo et al, 2010, p. 59).

Los microorganismos son especies vivientes de tamaños diminutos. No se consideran como plantas ni como animales; más bien se los califica en un tercer reino llamado protista, a continuación se detalla algunos de ellos:

4.2.2.3.1 Bacterias

La Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua, (2000) con relación a las bacteria afirma que:

Las que se encuentran con mayor frecuencia en el agua son las bacterias entéricas, que colonizan el tracto gastrointestinal del hombre y son eliminadas a través de la materia fecal. Cuando se introducen en el agua, las condiciones ambientales son muy diferentes y por consiguiente su capacidad de reproducirse y de sobrevivir se torna limitada (p. 225).

“Entre todas las bacterias, *E. coli* es considerada actualmente como el mejor indicador de contaminación fecal. También es generalizada la determinación de estreptococos (*Streptococcus*) por ser una de las bacterias más comunes en aguas residuales” (Delgadillo et al, 2010, p. 62). Cabe resaltar además que del total de coliformes fecales presentes en las heces humanas, entre el 90% y el 100% corresponden a *Escherichia Coli* (*E. coli*).

4.2.2.3.2 Parásitos.

Los parásitos microscópicos patógenos para el hombre, pueden clasificarse en dos grupos: los protozoos y los helmintos.

Los protozoos son organismos unicelulares cuyo ciclo de vida incluye una forma vegetativa (trofozoito) y una forma resistente (quiste). El estado de quiste de estos organismos es relativamente resistente a la inactivación por medio de los sistemas de tratamiento convencional de agua residual (Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua, 2000, p. 228).

Los huevos de helminto son los de mayor riesgo de transmisión, por su gran persistencia a los procesos de tratamiento convencionales y a sus largos periodos de supervivencia en el ambiente. Este grupo incluye a los nematodos, trematodos y cestodos. (CEA Jalisco, 2013, p. 35).

4.2.2.3.3 *Virus.*

Con relación a los virus la Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua, (2000) manifiesta que:

En contraste con las bacterias, los virus no se encuentran normalmente en las heces del hombre. Están presentes solamente en el tracto gastrointestinal de individuos que han sido afectados y se sabe que, aún en bajas concentraciones, tienen la capacidad de causar infección o enfermedad. Más de 140 virus patógenos pueden ser transmitidos al hombre a través del agua. Los más comunes son los virus causantes de gastroenteritis y el virus de la hepatitis. Algunos de estos virus (rotavirus, virus Norwalk) no generan una protección inmunitaria a largo plazo por lo que la infección puede repetirse varias veces a lo largo de la vida (p. 228).

4.2.3 **Tratamiento de las aguas residuales.**

Reynolds citado por Vinueza (2014) manifiesta que:

El tratamiento de aguas residuales es necesario para la prevención de la contaminación ambiental y del agua, al igual que para la protección de la salud

pública. La meta del tratamiento de aguas residuales nunca ha sido producir un producto estéril, sin especies microbianas, sino reducir el nivel de microorganismos dañinos a niveles más seguros de exposición, donde el agua es comúnmente reciclada para el riego o usos industriales (p. 25).

4.2.4 Etapas del tratamiento de aguas residuales.

4.2.4.1 Pre tratamiento.

Comprende una serie de operaciones físicas y mecánicas. El Ministerio del Ambiente del Perú, (2009) manifiesta sobre el pretratamiento que:

Tiene como objetivo la retención de sólidos gruesos y sólidos finos con densidad mayor al agua y arenas, con el fin de facilitar el tratamiento posterior. Son usuales el empleo de canales con rejillas gruesas y finas, desarenadores, trampas de grasas y en casos especiales se emplean tamices (p. 20).

4.2.4.2 Tratamiento primario.

El propósito del tratamiento primario es “remover material sólido del agua residual, esta etapa del tratamiento permite remover material en suspensión, además la mayoría de los sólidos orgánicos suspendidos se eliminan por medio de sedimentación” (Campos, 2003, p. 63). Además un tratamiento primario debería remover aproximadamente la mitad de los sólidos suspendidos del agua residual tratada y en ella interactúan procesos físicos y químicos.

4.2.4.3 Tratamiento secundario.

Referente al tratamiento secundario Campos, (2003) sostiene lo siguiente:

El tratamiento secundario consiste en la conversión biológica de los sólidos disueltos y los orgánicos coloidales en forma de biomasa, la cual posteriormente será removida por medio de sedimentación. La conversión

biológica la realizan los microorganismos que degradan los sólidos disueltos o los orgánicos coloidales, mediante la biooxidación, además en el tratamiento secundario aparece otro mecanismo de limpieza conocido como lagunas de oxidación, este método es el que más se aparece al sistema natural de autodepuración (p. 63).

4.2.4.4 Tratamiento terciario.

Según Campos, (2003) el tratamiento terciario se define como:

En la mayoría de los casos, el tratamiento secundario en combinación con el tratamiento primario es suficiente para alcanzar los estándares de calidad en el efluente para las aguas residuales municipales. Sin embargo un tratamiento adicional puede ser requerido para eliminar ciertos contaminantes. El tratamiento terciario remueve cantidades adicionales de sólidos suspendidos o nutrientes (p. 64).

El tratamiento terciario comprende una serie de técnicas que pueden estar compuestos por procesos físicos, químicos y biológicos.

4.3 Los humedales.

Los humedales constituyen una forma económica de recuperar aguas contaminadas que requieren de la implementación de las mismas y un tratamiento adecuado para conseguir resultados óptimos en la descontaminación de las aguas.

Según la Convención sobre los humedales (Ramsar, 1971) estos se definen como:

Los humedales son zonas donde el agua es el principal factor controlador del medio y la vida vegetal y animal asociada a él. Los humedales se dan donde la capa freática se halla en la superficie terrestre o cerca de ella o donde la tierra está cubierta por aguas poco profundas.

Mientras que la Secretaría de la Convención de Ramsar (2010). Mantiene su concepto donde define a un humedal de la siguiente manera:

Incluye una amplia variedad de hábitat tales como pantanos, turberas, llanuras de inundación, ríos y lagos, y áreas costeras tales como marismas, manglares y praderas de pastos marinos, pero también arrecifes de coral y otras áreas marinas cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros, así como humedales artificiales tales como estanques de tratamiento de aguas residuales y embalses.

4.3.1 Humedales artificiales, una forma de tratar aguas residuales.

Según Delgadillo et al., (2010) con relación a los humedales artificiales sostienen que:

Los humedales artificiales son sistemas de fitodepuración de aguas residuales. El sistema consiste en el desarrollo de un sistema de macrófitas enraizadas sobre un lecho de grava impermeabilizado. La acción de las macrófitas hace posible una serie de complejas interacciones físicas, químicas y biológicas a través de las cuales el agua residual es depurada progresiva y lentamente (p. 7).

Además Aquaberry (2013) afirma que “la vegetación que se implanta en los humedales artificiales es la misma que coloniza las zonas húmedas naturales; macrófitas acuáticas (plantas acuáticas) como carrizos, aneas, juncos, etc”.

4.3.2 Clasificación de humedales artificiales.

Los humedales artificiales pueden ser clasificados según el flujo de agua que contengan en los siguientes:

4.3.2.1 *Humedales de flujo superficial (SFS).*

Según Delgadillo et al. (2010) los sistemas de flujo superficial “son aquellos donde el agua circula preferentemente a través de los tallos de las plantas y está expuesta directamente a la atmosfera”. Una desventaja de este sistema es la proliferación de vectores como mosquitos y otros insectos.

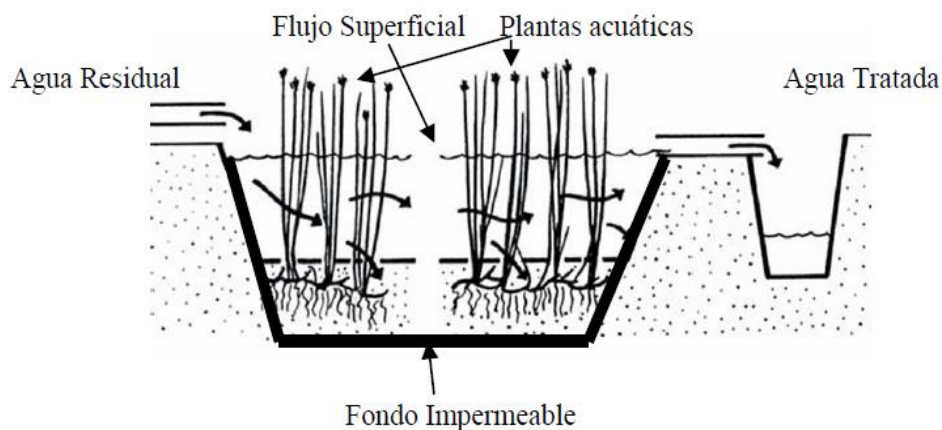


Figura 1: *Humedal Artificial de flujo superficial.*

Fuente: (Mena , Rodriguez, Núñez y Villaseñor, 2008).

4.3.2.2 *Humedales de flujo subsuperficial (SFSS).*

Delgadillo et al. (2010) describen a este tipo de humedales como los sistemas que se caracterizan porque la circulación del agua en los mismos se realiza a través de un medio granular (subterráneo), con una profundidad de agua cercana a los 0,6m (p. 9).

Además a los humedales de flujo subsuperficial los clasifica en dos tipos en función del flujo de entrada del agua al sistema:

4.3.2.2.1 Humedales subsuperficiales de flujo vertical (SFSSV).

Según Delgadillo et al. (2010) se define como:

Este tipo de humedales reciben las aguas residuales de arriba hacia abajo a través de un sistema de tuberías, las aguas se infiltran verticalmente a través de un sustrato inerte (arenas, gravas) y se recogen en una red de drenaje ubicada en el fondo del humedal, la vegetación emergente también se planta en este medio granular, adicionalmente para favorecer las condiciones aerobias del medio poroso se suele colocar un sistema de aireación con chimeneas que son tubería cribadas con salidas al exterior (p. 10).

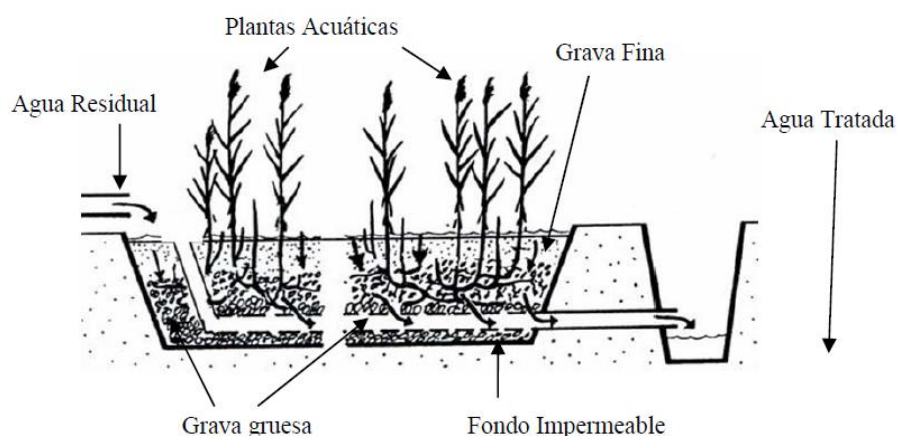


Figura 2: Sistema de Flujo subsuperficial vertical.

Fuente: (Mena et.al, 2008).

4.3.2.2.2 Humedales subsuperficiales de flujo horizontal (SFSSH).

El agua ingresa de forma permanente al sistema, el agua es aplicada en la parte superior de un extremo y recogida por un tubo de drenaje en la parte opuesta inferior. Según (Aquaberri, 2013). “El agua residual se trata a medida que fluye lateralmente a través de un medio poroso en contacto con las raíces de la vegetación, pero se mantiene cierto nivel de encharcamiento por debajo del sustrato, gracias a una tubería flexible ubicada en el drenaje”.

Además Cooper et al. Citado por ONU-HABITAT, (2008) manifiesta que:

Durante este trayecto, las aguas residuales entran en contacto con una red de zonas anaeróbicas, aeróbicas y anóxicas. Las zonas aeróbicas se encuentran alrededor de las raíces y rizomas de la vegetación del humedal que liberan oxígeno en el substrato. Durante el paso de las aguas residuales a través de la rizosfera, éstas se limpian mediante degradación microbiológica y diferentes procesos físicos y químicos (p. 7).

También Hoffmann, Platzer, Winker y von Muench, (2011) manifiesta que:

En los SFSSH se debe llenar totalmente con grava o piedra una longitud de 50 cm en todo el ancho de entrada y salida. Esta capa no contribuye al proceso de filtración, pero si a la distribución. Su función es proteger el área de entrada, distribuyendo efectivamente el agua que entra en el humedal y evitando su acumulación en la superficie, mientras que en la salida esta asegura que la arena del lecho filtrante se mantenga dentro del humedal y que no se pierda con el efluente.

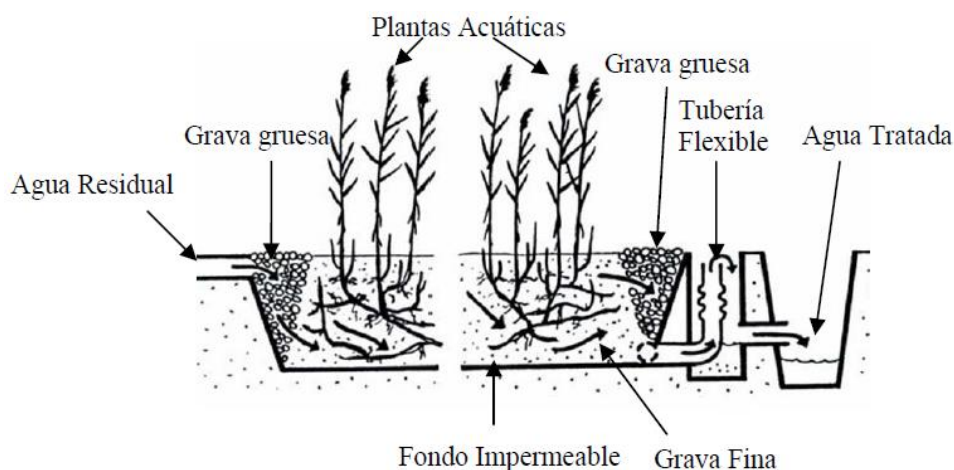


Figura 3: Sistema de flujo subsuperficial horizontal.

Fuente: (Mena et.al, 2008).

4.3.3 Elementos de los humedales artificiales.

Los humedales artificiales están compuestos por tres elementos que son: agua, sustrato, y la mayoría plantas emergentes. Estos componentes pueden ser manipulados de acuerdo a las exigencias del diseño del humedal. Además Mena et. al, (2008) sostienen que existen otros componentes importantes de los humedales, como las comunidades de microorganismos y los invertebrados acuáticos, que aparecen de forma espontánea durante su uso (p. 8).

4.3.3.1 Agua.

La hidrología es el factor de diseño más importante en un humedal construido porque reúne todas las funciones del humedal y porque es a menudo el factor primario en el éxito o fracaso del humedal. (Ayala y Gonzales, 2008). Generalmente son las que provienen de una población después de haber sido modificadas por diferentes usos.

4.3.3.2 Sustrato.

El sustrato sirve de soporte a la vegetación, permitiendo la fijación de la población microbiana, que va a participar en la mayoría de los procesos de eliminación de los contaminantes. (Red Madrileña de Tratamientos Avanzados para Aguas Residuales, 2013), además de acuerdo a Delgadillo et al. (2010) “está constituido principalmente por el suelo, arena, grava, roca, sedimentos y restos de vegetación que se acumulan en el humedal debido al crecimiento biológico y la principal característica de este medio es que debe ser lo suficiente permeable para permitir el paso del agua sobre él”.

4.3.3.3 Vegetación.

Según (Ayala y Gonzales, 2008) “el mayor beneficio de las plantas es la transferencia de oxígeno a la zona de la raíz. Su presencia física en el sistema (los tallos, raíces, y rizomas) permite la penetración a la tierra o medio de apoyo y transporta el oxígeno de manera más profunda, de lo que llegaría naturalmente”.

4.3.3.4 Microorganismos.

Mena et.al, (2008) sostiene que los microorganismos son importantes por lo siguiente:

Muchas transformaciones de los nutrientes y del carbono orgánico en humedales son debidas al metabolismo microbiano y están directamente relacionadas con el crecimiento de los microorganismos. Éstos incluyen, principalmente, bacterias, hongos, y protozoarios. En general, los procesos microbiológicos por los cuales los microorganismos depuraran el agua residual en el humedal se debe a que estos utilizan los nutrientes y el carbono tanto como fuente de energía como para la formación de nueva biomasa microbiana (p. 10).

4.3.4 Especies utilizadas en humedales artificiales

“Las plantas emergentes que frecuentemente se encuentran en la mayoría de los humedales para aguas residuales incluyen espadañas, carrizos, juncos, y juncos de laguna” (Mena et al, 2008, p. 10).

4.3.4.1 *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.

4.3.4.1.1 Descripción.

Conocido comúnmente como carrizo, esta es una fanerógama perteneciente a la familia de las Gramíneas actualmente Poaceae, es una planta perenne, con un rizoma rastrero con capacidad para crecer en la superficie buscando agua, suele habitar suelos húmedos y orillas de cursos de agua y lagunas (CABI, 2015).

Esta especie puede alcanzar los 4 m de altura y 2 cm de diámetro, presentando una gran inflorescencia al final del tallo. Además puede soportar bastante bien niveles moderados de salinidad en el agua y en el suelo (CABI, 2015).



Foto 1: Especie *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud

Fuente: (Campos, s.f.)

4.3.4.1.2 Taxonomía.

Según CABI (2015) su descripción taxonómica esta descrita de la siguiente manera:

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Genero	Phragmites
Especie	Australis
Nombre Científico	<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.
Nombre Vulgar	Carrizo

4.3.4.1.3 Distribución y hábitat.

Se encuentra presente en todo el mundo. “En muchos lugares presenta comportamientos invasivos. Vive en marismas, lagunas y bordes de ríos, formando densas poblaciones, desde el nivel del mar hasta los 1000 metros de altitud, frecuenta las aguas más o menos profundas, propias de lagunas o cursos de aguas lentas” (Menéndez, 2005).

4.3.4.1.4 Reproducción.

Según CABI, (2015) “La reproducción del carrizo se efectúa usualmente por propagación vegetativa; por rizomas, aunque también se pueden producir estolones”. Además “existe la propagación por semilla, misma que hay que tener

en cuenta que gran parte de las semillas que produce la planta no son viables” (Curt, s.f.).

Así mismo Curt, (s.f.) manifiesta que:

Debido a que hay diferencias de comportamiento entre poblaciones de la especie, se recomienda que el material vegetal se obtenga a partir de poblaciones naturales de la zona, a fin de asegurar su adaptación al lugar. Los rizomas se fraccionan convenientemente (que tengan varias yemas) y se implantan en el sustrato o fango del humedal en primavera

4.4 Otras investigaciones realizadas en la temática

Estudios realizados por Quipuzco (2002) con *Phragmites australis* para el tratamiento de aguas residuales domésticas expresan que los resultados obtenidos en el pantano horizontal posee una notable capacidad de eliminación de los SST (97,2%) y que estos fueron probablemente removidos por filtración, seguido por degradación aeróbica en la superficie o anaeróbica dentro de la matriz del suelo.

Otra investigación realizada por Bernal et al. (2003) en un estudio denominado Humedales Artificiales para tratamiento de aguas residuales en la Corporación Universitaria de la Costa realizada en Colombia se observó que en los últimos meses la eficiencia de remoción del DBO5 llega a valores por encima del 80%, teniendo en cuenta que las especies sembradas aun no cubrían el 100% del área superficial del humedal, además expresaba que se espera que las eficiencias de remoción sean mayores y más estables en tanto que la población vegetal aumente por repoblamiento.

En otro estudio realizado por Romero, Colín, Sánchez y Ortiz, (2009) sobre la evaluación de la remoción de la carga orgánica mediante Humedales artificiales, donde se expone acerca de los resultados que obtuvieron del parámetro Nitrógeno amoniacal que la concentración de este parámetro antes de la entrada de agua residual al sistema de tratamiento fue de 58.69 mg/l y al final del tratamiento se presentó una remoción del 73.85 %, con una concentración de 15.35 mg/l.

Un último estudio realizado por Lara Borrero y Vera Puerto (2005) quienes manifiestan acerca de los coliformes fecales, que en su investigación se puede observar que el humedal tiene un buen comportamiento en la eliminación de contaminación fecal, obteniendo una eficiencia de aproximadamente 69%. Quienes además manifiestan que los rendimientos aumentan a partir del tercer mes y que esto podría indicar que el sistema necesita estabilizarse para alcanzar valores altos de remoción como ocurrió a partir del cuarto mes.

4.5 Marco legal referente al tema de estudio

El marco legal constituye las bases sobre la cual las distintas acciones o actividades pueden desarrollarse y se requiere del estricto cumplimiento de las mismas para mitigar los impactos generados por cualquier actividad. Además cabe mencionar que la legislación de nuestro país nos proporcionan las bases legales suficientes que resguardan el desarrollo de la presente investigación.

A continuación se presentan las principales normas que rigen de acuerdo al tema planteado.

4.5.1 Constitución de la República del Ecuador.

La Asamblea Constituyente (2008) en la Constitución de la República del Ecuador menciona en los siguientes artículos que:

Art. 14 Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay* (...), p. 24.

Art. 32.- La salud es un derecho que garantiza el Estado, cuya realización se vincula al ejercicio de otros derechos, entre ellos el derecho al agua, la alimentación, la educación, la cultura física, el trabajo, la seguridad social, los ambientes sanos y otros que sustentan el buen vivir (...), p. 29.

Art. 314.- El Estado será responsable de la provisión de los servicios públicos de agua potable y de riego, saneamiento, energía eléctrica, telecomunicaciones, vialidad, infraestructuras portuarias y aeroportuarias, y los demás que determine la ley (p. 149).

Según la carta magna de nuestro país en los artículos antes mencionados resalta el derecho de la población de vivir en un ambiente sano, realizando obras de saneamiento para las actividades que produzcan alteraciones a las condiciones naturales del agua.

4.5.2 Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamientos del Agua.

En este apartado se menciona sobre las descargas de aguas residuales a los cursos de agua, además quien es el ente encargado de prestar los servicios de saneamiento, señalado en los siguientes artículos:

Artículo 37.- Servicios públicos básicos. Para efectos de esta Ley, se considerarán servicios públicos básicos, los de agua potable y saneamiento ambiental relacionados con el agua. La provisión de estos servicios presupone el otorgamiento de una autorización de uso. El saneamiento ambiental en relación con el agua comprende las siguientes actividades: Alcantarillado sanitario: recolección y conducción, tratamiento y disposición final de aguas residuales y derivados del proceso de depuración (...) p. 12

Artículo 80.- Vertidos: prohibiciones y control. Se consideran como vertidos las descargas de aguas residuales que se realicen directa o indirectamente en el dominio hídrico público. Queda prohibido el vertido directo o indirecto de aguas o productos residuales, aguas servidas, sin tratamiento y lixiviados susceptibles de contaminar las aguas del dominio hídrico público.

La Autoridad Ambiental Nacional ejercerá el control de vertidos en coordinación con la Autoridad Única del Agua y los Gobiernos Autónomos Descentralizados acreditados en el Sistema Único de Manejo Ambiental.

Es responsabilidad de los Gobiernos Autónomos Municipales el tratamiento de las aguas servidas y desechos sólidos, para evitar la contaminación de las aguas de conformidad con la ley.

Artículo 81.- Autorización administrativa de vertidos. La autorización para realizar descargas estará incluida en los permisos ambientales que se emitan para el efecto. Los parámetros de la calidad del agua por ser vertida y el procedimiento para el otorgamiento, suspensión y revisión de la autorización, serán regulados por la Autoridad Ambiental Nacional o acreditada, en coordinación con la Autoridad Única del Agua.

Los Gobiernos Autónomos Descentralizados en el ámbito de su competencia y dentro de su jurisdicción emitirán la autorización administrativa de descarga prevista en esta Ley con sujeción a las políticas públicas dictadas por la Autoridad Ambiental Nacional (Asamblea Nacional, 2014, pp 18-19).

4.5.3 Acuerdo Ministerial 061.

Según el Ministerio del Ambiente del Ecuador en el AM No. 061 menciona lo siguiente sobre el tratamiento de aguas residuales.

Art. 211 Tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales.- La Autoridad Ambiental Competente en coordinación con la Agencia de Regulación y Control del Agua, verificará el cumplimiento de las normas técnicas en las descargas provenientes de los sistemas de tratamiento implementados por los Gobiernos Autónomos Descentralizados (MAE, 2015, p. 47).

4.5.4 Acuerdo Ministerial 097-A.

Una vez reformado el libro IX del texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente entro en vigencia el Acuerdo Ministerial 097-A y en ella se encuentra la tabla de limites máximo permisibles para descarga a cuerpos de agua dulce.

4.5.4.1 Límites de descarga a cuerpos de agua dulce.

El Ministerio del Ambiente del Ecuador establece en su Tabla 9 del AM 097-A, lo siguiente:

Tabla 1: *Límites de descarga a cuerpos de agua dulce, parámetros de las descargas de aguas residuales domésticas de centros poblados.*

Parámetro.	Limite Max. Permisible (mg/l)
DBO	100
DQO	200
SST	130
Nitrógeno Amoniacal (NH ₃ -N)	30
Nitrógeno Orgánico	50
Grasas y Aceites	30
SAAM	0,5
pH	6-9
Temperatura	Condición natural \pm 3
Sulfatos	1000
Coliformes totales	-
Coliformes Fecales.	2000

Fuente: (MAE, 2015, p. 21).

5 MATERIALES Y METODOS

5.1 Materiales y equipos.

Todos los materiales empleados para el desarrollo del proyecto se detallan a continuación.

Herramientas y equipos

- GPS
- Cámara fotográfica.
- Cronómetro
- Laptop
- Recipiente aforado.
- Materiales de construcción.

Materiales de laboratorio

- Guantes
- Mascarilla
- Termómetro
- Peachimetro.

Materiales de Oficina

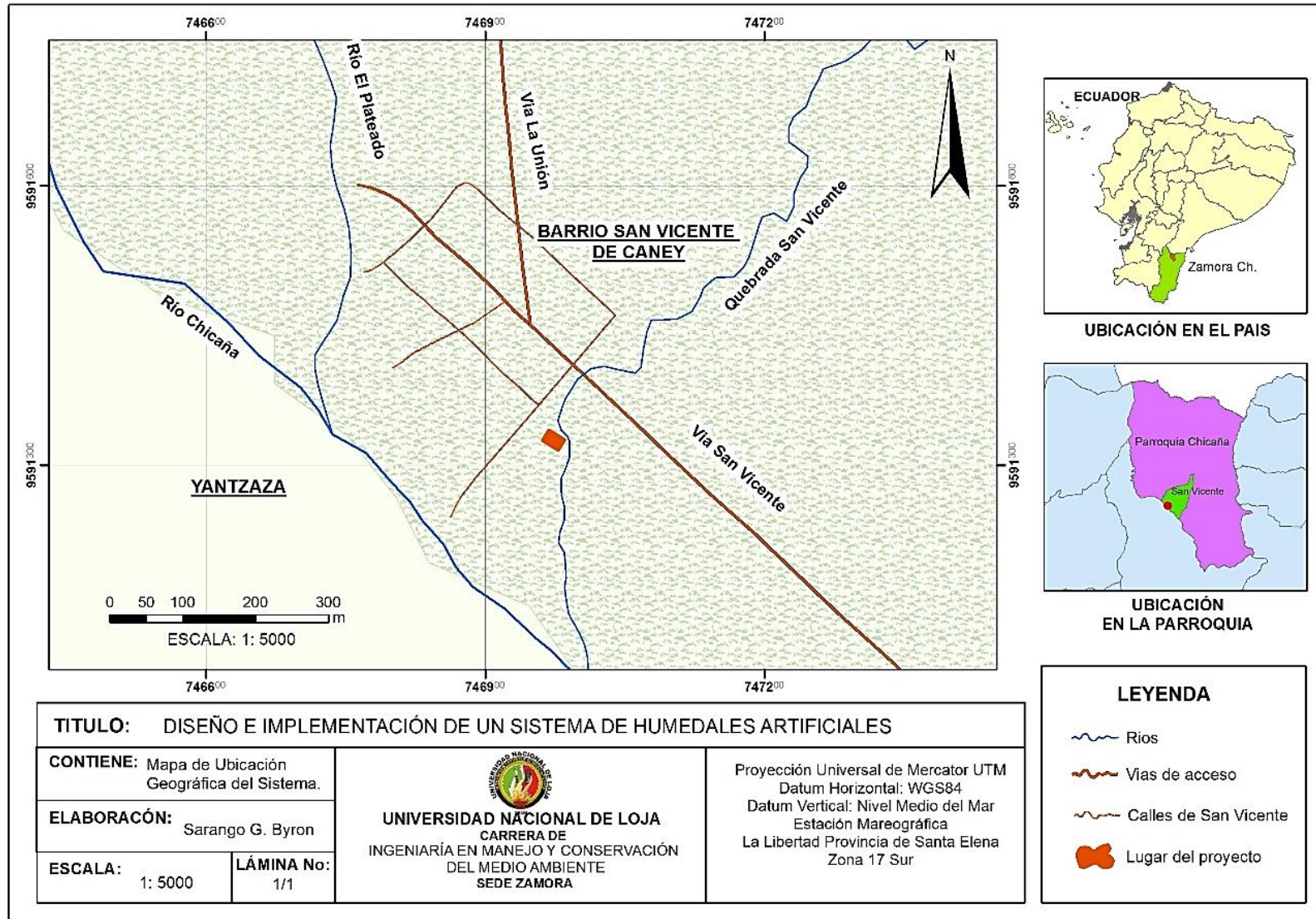
- Hoja de Custodia
- Etiquetas Esfero Libreta de apuntes

5.2 Información referente al área de estudio.

5.2.1 Ubicación política y geográfica del proyecto.

La comunidad de San Vicente de Caney está localizada en la parroquia Chicaña, perteneciente al cantón Yantzaza y provincia de Zamora Chinchipe. Los límites geográficos de la comunidad son: al norte con los barrios Ankuash y El Plateado, al sur con la cabecera parroquial de Chicaña, al este con Chicaña y Guambime y al oeste con Kukush y Yantzaza, (GAD Parroquial de Chicaña, 2011)

La comunidad está situada a una distancia de 20 km de la ciudad de Yantzaza, cuyas coordenadas UTM son: 747168 y 9591910 en X e Y respectivamente y una altura aproximada de 920 msnm.



Mapa 1: Ubicación geográfica del proyecto

5.2.2 Clima.

El sector posee dos climas: en un 76.70% ecuatorial meso térmico semi húmedo y el 23.30% clima tropical magnético húmedo, donde su temperatura anual promedio oscila entre los 18 °C y los 23 °C.

Los vientos normales son de Norte – Sur y una velocidad aproximada de 15 a 20 km/h, además de que su precipitación oscila entre los 1750mm y 3000mm aproximadamente (GAD Parroquial de Chicaña, 2011).

5.2.3 Hidrografía.

La comunidad de San Vicente se encuentra ubicada en la Microcuenca del del mismo nombre. El río Chicaña es la principal arteria hídrica que atraviesa la comunidad, este se encuentra ubicado al Oeste de la comunidad misma que se desplaza desde las alturas de hasta desembocar en el río Zamora, además en su trayecto y cerca de la comunidad se articulan la quebrada San Vicente y el río El Plateado (GAD Parroquial de Chicaña, 2011).

5.2.4 Tipo de Suelos.

La geología del suelo de la comunidad de San Vicente está representada por dos tipos de rocas que son las intrusivas y las metamórficas y referente a la taxonomía se puede encontrar suelos arenosos, pardos y rojizos que pertenecen a la clasificación del orden entisol (Universidad Nacional de Loja, 2013).

5.3 Tipo de investigación.

La presente investigación es de tipo experimental donde se manejará dos variables de estudio.

Enfoque	Cuantitativo
Alcance	Correlacional
Hipótesis	H0: El % de depuración de las aguas residuales procedentes de una vivienda ubicada en la comunidad de San Vicente dependerá del diseño e implementación de un sistema de humedales artificiales.
Variables	Dependiente: El % de depuración de las aguas residuales procedentes de una vivienda ubicada en la comunidad de San Vicente. Independiente: Diseño e implementación de un sistema de humedales artificiales.

5.4 Metodología para el primer objetivo específico. “Determinar el nivel de contaminación en las aguas residuales domiciliarias procedentes de una vivienda ubicada en la comunidad de San Vicente”.

La metodología para dar cumplimiento al primer objetivo se basó en:

5.4.1 Recolección de información.

La recolección de la información se realizó con el propósito de obtener datos generales de la vivienda, para ello se desarrolló las siguientes acciones:

5.4.1.1 Entrevista.

La entrevista se la realizó al propietario de la vivienda, la misma que sirvió para recolectar información detallada de la misma. (Ver Anexo 2)

Luego de haber recolectado la información necesaria sobre la vivienda y continuar con la recolección de la muestra se procedió de la siguiente manera:

5.4.2 Caracterización física, química y microbiológica de las aguas residuales procedentes de la vivienda, mediante análisis de laboratorio.

La recolección de las muestras de las aguas residuales de la vivienda seleccionada fue guiado bajo el siguiente protocolo de muestreo.

5.4.2.1 *Parámetros analizados.*

Los parámetros que se analizaron se establecieron de acuerdo a la normativa legal vigente, MAE (2015) donde establece en la Tabla 12 los parámetros a monitorear sobre las descargas de agua residuales de centros poblados a cuerpos de agua, mismos que son los siguientes:

Caudal, DBO, DQO, SST, Nitrógeno Amoniacal (NH₃-N), Grasas y Aceites, pH, Temperatura, Sulfatos, Coliformes Fecales.

5.4.2.2 *Selección del lugar de muestreo.*

La selección del lugar de muestreo se realizó mediante un recorrido por el área de la vivienda en el cual se identificó el punto exacto de vertimiento de las aguas residuales en el cuerpo receptor, a continuación se procedió a realizar la toma de la muestra.

5.4.2.3 *Tipo de recipientes utilizados.*

Los recipientes empleados para la recolección de las muestras correspondieron a envases plásticos y vidrio ambar, mismos que fueron otorgados por el laboratorio

Gruentec que fue donde se analizaron las muestras. La primera muestra estuvo comprendida por cinco envases para los diferentes análisis y de estos uno correspondió a un frasco ámbar y así mismo la misma cantidad para la segunda muestra.



Foto 2: Recipientes empleados para la recolección de las muestras.

5.4.2.4 Tipo de muestra.

Se trabajó un solo tipo de muestras que corresponden a las muestras simples.

5.4.2.5 Número y cantidad de muestras a tomar.

Se tomaron dos muestras de 1500 ml, una antes y la otra después del tratamiento, comprendidas por cinco envases para la primera muestra y cinco envases para la segunda, cinco envases debido a que por políticas del laboratorio algunos parámetros a analizar deben estar en frascos específicos para los

diferentes parámetros y estéril en el caso del microbiológico, además los frascos fueron otorgados por el laboratorio. Posteriormente estas muestras fueron enviadas al laboratorio para realizar los respectivos análisis físico-químicos y microbiológicos.

5.4.2.6 Toma de la muestra.

Para la determinación de los parámetros a analizar en el laboratorio, la toma de las muestras consistieron en llenar los recipientes con el agua residual, estos no se llenaron completamente de modo que se dejó un espacio de aire después de colocar la tapa. Se tomó esta medida debido a que las muestras fueron congeladas como técnica de preservación durante su transporte.

Cabe recalcar que la toma de la muestra para el envío al laboratorio se la realizó al final, luego de la implementación del sistema, con excepción del caudal y DBO que se midieron al inicio con el fin de utilizar esta información en el diseño. Esto se realizó con el propósito de que los resultados de laboratorio de las muestras no varíen en el tiempo.

5.4.2.6.1 Parámetros a analizar in situ.

a. Medición del Caudal

La medición del caudal de la descarga se realizó aplicando el método volumétrico, para ello fue necesario un balde aforado y un cronometro, esta resultado de dividir el volumen de agua que se recogió en el recipiente entre el tiempo que transcurrió en coleccionar dicho volumen.

El caudal se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$Q = V/T$$

Q = Caudal (l/s)

V = Volumen (litros)

T = Tiempo promedio de las repeticiones.

El resultado se lo expresará en l/s.

Con respecto a la medición del caudal, esta se la realizó en cuatro periodos por tres días con el fin de obtener un promedio, las horas de medición fueron: (07H45, 12H00, 16H15 y 20H00).

b. Medición del pH.

Para realizar esta medición primeramente se procedió a purgar el envase, seguidamente se recogió una cantidad de agua residual procedente de la vivienda en un envase y finalmente se introdujo el peachimetro para la respectiva medición.

c. Medición de la temperatura.

Para esta medición se utilizó el frasco con el agua residual, luego se procedió con ayuda de un termómetro a determinar su temperatura, el proceso consistió en introducir el termómetro en el recipiente por un lapso de 10 segundos y observar cuanto marca la columna numérica del termómetro.



Foto 3: *Medición del caudal y toma de la muestra.*

5.4.2.7 Etiquetado de las muestras.

Luego de haber tomado cada una de las muestras se procedió a colocar su respectiva etiqueta (Ver Anexo 1) con el propósito de evitar confusiones al momento del envío al laboratorio.

5.4.2.8 Envió al laboratorio.

Tras haber tomado las muestras, se procedió a almacenarlo en un cooler con el fin de mantener las muestras a bajas temperaturas y así evitar alteraciones en los resultados y finalmente fueron transportadas rápidamente al laboratorio Gruentec ubicada en la ciudad de Yantzaza.



Foto 4: *Etiquetado y almacenado de la muestra.*

5.4.2.9 Análisis de resultados.

Los resultados de las muestras devueltas por el laboratorio, fueron analizados y comparados con la tabla 9: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, contenidas en el Acuerdo Ministerial 097-A establecidos por el (MAE, 2015, p. 39).

5.5 Metodología para el segundo objetivo específico. “Diseñar e Implementar el sistema de Humedales Artificiales para la depuración de las aguas residuales domésticas en una vivienda ubicada en la comunidad de San Vicente”.

Para el diseño e implementación del sistema de tratamiento de las aguas residuales, se procedió de la siguiente manera:

5.5.1 Diseño del sistema de humedales artificiales.

El diseño que se ha planteado para el sistema de tratamiento de aguas residuales de la vivienda cuenta con los siguientes procesos: Pretratamiento y Tratamiento primario y además un tratamiento secundario que es el humedal en sí.

Para el cálculo de las dimensiones del humedal se tomó en consideración el caudal y la concentración del DBO_5 , datos obtenidos anteriormente, además aspectos como:

5.5.1.1 *Periodo de diseño.*

Se refiere al lapso durante el cual una obra o estructura puede funcionar sin necesidad de ampliaciones. El Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN, 1992), establece un período de diseño que será de por lo menos 15 años (p. 128).

5.5.1.2 *Población de diseño*

Se refiere a la estimación de la población con la que se diseñó el sistema, para su determinación, para ello se consideró:

5.5.1.2.1 *Población actual*

Esto consistió en determinar el número total de personas que habitan la vivienda seleccionada.

5.5.1.2.2 *Tasa de crecimiento*

La determinación de este valor se la obtuvo de la tasa de crecimiento anual 2001 - 2010 del Instituto Nacional de estadísticas y Censos (INEC), se tomó el valor correspondiente a la parroquia Chicaña.

5.5.1.2.3 Determinación de la población futura.

Es la cantidad de habitantes proyectada en n años, con la que se diseñó el sistema, para su cálculo se utilizó el método Malthus que está dada por la siguiente formula.

$$Pf = Pa (1 + i)^n$$

Donde:

Pf = Población futura.

Pa = Población actual.

i = Tasa de crecimiento.

n = Periodo de diseño.

5.5.1.3 Estimación del caudal de diseño.

5.5.1.3.1 Dotación de agua

Según el INEN (1992) es “el volumen el promedio de agua potable consumido diariamente por cada habitante” (p. 182), esta se calcula empleando el caudal medido en campo mediante la siguiente formula:

$$D = \frac{Q \times \frac{1000l}{1m^3}}{Pa}$$

D= Dotación de agua potable en litros/hab/dia

Q= Caudal medido en campo en m^3/dia

Pa = población actual.

5.5.1.3.2 Caudal de diseño

Se considera como el caudal necesario para atender la demanda al final del período de diseño (INEN, 1992, p. 38). Para su cálculo se empleó la fórmula:

$$Q_D = \frac{P \times D \times R}{86400}$$

Q_D = Caudal de diseño en m^3/dia

P= población de diseño.

D= dotación de agua potable.

R= coeficiente de retorno (0,8)

5.5.1.4 La constante de reacción de primer orden.

Delgadillo et al, (2010) manifiesta que este valor es necesario para el cálculo del área superficial y propone su cálculo mediante la siguiente formula: (p. 32).

$$K_T = K_{20}(1,06)^{(T-20)}$$

K_T = Constante de reacción de primer orden

K_{20} = 1,104 d^{-1}

T= Temperatura del agua residual medido.

5.5.1.5 Cálculo del área superficial.

5.5.1.5.1 Profundidad del humedal

Tomando en cuenta la afirmación de Cooper et al., citado por ONU-HABITAT, (2008) que “la mayoría de los humedales FH de Europa presentan una profundidad de lecho de 60cm” (p. 21) y la de Delgadillo et al, (2010) quienes también

manifiestan que “los sistemas de flujo subsuperficial, poseen una profundidad de agua cercana a los 0,6 m” (p. 9). Se consideró una profundidad de 0,6 metros.

5.5.1.5.2 Coeficiente de porosidad.

Para fines del diseño la porosidad del medio filtrante considerada se tomó de valores tabulados preestablecidos por Crites y Tchobanoglous citado por Vinueza, (2014) donde manifiesta un coeficiente de porosidad de 35% para los materiales empleados en humedales artificiales, (arena con grava específicamente) cuyo tamaño oscila los 16 mm (p. 45).

5.5.1.5.3 Área superficial requerida.

El cálculo del área superficial se realiza en función al parámetro contaminante que se desea disminuir o remover, generalmente los diseños se realizan para disminución de la DBO₅ (Delgadillo et al, 2010, p. 32). Esta se calculó mediante la fórmula siguiente:

$$A_s = \frac{Q(\ln C_o - C_e)}{K_T \times y \times n}$$

A_s = Área superficial, m^2

Q = Caudal de diseño, m^3/dia

C_o = Concentración de DBO₅ en el afluente, mg/l

C_e = Concentración de DBO₅ en el efluente, mg/l

K_T = Constante de reacción de primer orden

y = Profundidad, m

n = Coeficiente de porosidad, (0.35).

5.5.1.6 Tiempo de retención hidráulica.

Es el tiempo necesario para la depuración del DBO_5 y se calculó con la fórmula siguiente:

$$TRH = \frac{As \times y \times n}{Q}$$

As = Área superficial en m^2

y = Profundidad en metros

n = Coeficiente de porosidad en porcentaje.

Q = Caudal de diseño, m^3/dia

5.5.1.7 Calculo de las dimensiones del humedal artificial.

Para el cálculo de las dimensiones del largo y ancho del humedal se propuso una pendiente del 1%, se consideró esta pendiente tomando en cuenta los documentos publicados por la EPA citado en Vinueza, (2014) y una conductividad hidráulica de $9750,4 m^3/m^2/dia$ tomados de la fuente de Crites y Tchobanoglous citado por Vinueza, (2014) con relación al material de arena con grava y una porosidad efectiva del 35% (p. 45).

5.5.1.7.1 Calculo del ancho del humedal.

Para calcular el ancho del humedal se partió de la Ley de Darcy obteniendo la siguiente fórmula.

$$W = \frac{1}{h} \left[\frac{Q \times As}{m \times K_s} \right]^{0,5}$$

W = ancho del humedal.

Q = Caudal de diseño, m^3/dia

As = Área superficial en m^2

m = pendiente del humedal, (1%)

h = altura del humedal en metros

Ks = conductividad hidráulica, ($9750,4 m^3/m^2/dia$)

5.5.1.7.2 *Calculo del largo del humedal*

Para calcular el largo del humedal se empleó la siguiente formula

$$L = \frac{As}{W}$$

5.5.1.8 **Relación Largo: ancho de 3:1**

Para asegurar el funcionamiento óptimo del sistema se analizó las medidas con la relación L: W de 3:1 que es la recomendada para profundidades de 0,6 m (Vinuesa, 2014, p. 46).

$$L = 3W$$

$$As = LW$$

Por consiguiente $As = 3W^2$

De esta última se obtuvo la siguiente fórmula para calcular el nuevo ancho.

$$W = \sqrt{\frac{As}{3}}$$

Y para el cálculo del largo del humedal la siguiente:

$$L = 3W$$

5.5.1.9 Diseño del pretratamiento y tratamiento primario.

Estos constan de un sedimentador y una trampa de grasas colocadas en serie, estas tienen una dimensión de 30 cm de ancho, 40 cm de largo y una profundidad de 75 cm cada una, además se colocó una rejilla de un centímetro de separación entre la trampa de grasas y el sedimentador y otra de 0,5 cm de separación colocada al inicio de la tubería que transporta el agua de la trampa de grasas al humedal. Estas dimensiones se las tomo al tratarse de un caudal mínimo y a criterio del investigador.

Además en la salida del humedal se construyó una caja de distribución del agua tratada con unas dimensiones de 40 cm de largo por 30 cm de ancho y una profundidad de 70 cm.

Toda la tubería empleada como codos, tapones y tés son de tubería Pvc con un diámetro de 75 mm.

5.5.2 Construcción del sistema de humedales artificiales.

Con los datos obtenidos mediante los cálculos de las dimensiones del humedal se procedió con la implementación del sistema.

Para la construcción del sistema se siguió en el siguiente proceso:

5.5.2.1 Selección del lugar.

La selección del lugar se los realizó en base a los siguientes criterios.

- Superficie plana.

- No presencia de aguas de escorrentías.
- Lugar sin riesgos de deslizamientos o inundaciones.

5.5.2.2 Retiro de material.

Del lugar seleccionado se procedió a retirar todo el material existente como: tierra y cobertura vegetal, esta se realizó en base a las medidas del humedal calculado anteriormente.

5.5.2.3 Impermeabilización.

La impermeabilización del humedal se la realizó en base a concreto, tomando en cuenta una pendiente de 1 %, la utilización del concreto se empleó al tratarse de una laguna para tratar aguas servidas de una población mínima.

5.5.2.4 Construcción de las paredes

Todas las paredes del humedal se construyeron con ladrillos, además se construyó el sedimentador, la trampa de grasas y el distribuidor de agua tratada.

Además se procedió a la construcción de una tapa de concreto de 90cm de largo, 60cm de ancho y un espesor de 8 cm, esta sirvió para cubrir el sedimentador y trampa de grasas y evitar así el ingreso de basuras a los pozos y además controlar la expansión de malos olores de estos.

5.5.2.5 Colocación de los sistemas de entrada y salida del agua residual.

Luego de la impermeabilización, se continuó con la colocación de los sistemas de entrada y salida de estas, la entrada constó de un tubo Pvc perforado cada 10

cm que se extendió por todo el ancho de la piscina a 10 cm por debajo de la superficie.

El drenaje consto de un tubo Pvc perforado colocado al otro extremo, en la parte inferior, que atravesó todo el ancho del lecho, misma que recogerá el agua tratada, además este se conectó a un tubo vertical colocado fuera de la piscina que se utilizara para regular el nivel de agua del humedal.

5.5.2.6 Colocación de las capas filtrantes

Las material filtrante consto de: una capa de 25 cm gravilla, una capa de 25 cm de grava y la última una capa de 15 cm de una mezcla de materia orgánica y tierra.

Además se siguió las recomendaciones realizadas por ONU-HABITAT, (2008) quien manifiesta que “las partículas de los lechos en las zonas de entrada y salida midan entre 40 y 80 milímetros de diámetro con el fin de minimizar las obstrucciones y asimismo deben extenderse desde la parte superior a la parte inferior del sistema” (p. 24).

5.5.2.7 Obtención de las plantas (Carrizo)

Las plantas se las obtuvieron de una colonia de la misma especie ubicada en el cantón Saraguro, de estas se extrajeron los rizomas y se las transportó hacia la comunidad de San Vicente, al sitio donde se implementó el proyecto, esto se lo realizó en gavetas, con suficiente tierra y agua para evitar que se marchiten hasta su respectivo trasplante.

5.5.2.8 Implementación de la vegetación.

Luego de haber colocado las capas, seguidamente se procedió con el trasplante de los rizomas de la especie seleccionada (carrizo), la siembra se la realizó en zig-zag a una distancia de 45cm cada fila.

5.6 Metodología para el tercer objetivo específico. “Determinar el porcentaje de descontaminación de las aguas residuales domesticas al pasar por el sistema de Humedales Artificiales”

Para determinar el porcentaje de descontaminación del sistema empleado y dar cumplimiento al tercer objetivo se procedió de la siguiente manera:

5.6.1 Operaciones de mantenimiento y monitoreo de la adaptabilidad de los individuos.

El proceso de monitoreo se realizó luego de la implementación del sistema, en ella se desarrollaron las siguientes actividades:

- Una cerca, con el propósito de evitar la intervención de animales herbívoros que se pudiesen alimentar de las plantas.
- Se realizó una limpieza de las malezas encontrados en el sistema de humedales, esto se realizó cada 15 días.

Además para realizar el monitoreo de la especie empleada en el humedal se empleó la matriz de monitoreo y control (Ver anexo 3).

5.6.2 Toma de la muestra.

Para la toma de la muestra se siguió el mismo protocolo empleado para el primer objetivo, con la excepción del lugar de muestreo, puesto que en este caso se la realizó en la salida del sistema, tras haber pasado las aguas servidas por todos los procesos de depuración.

5.6.3 Determinar el porcentaje de descontaminación.

Para determinar el porcentaje de depuración de las aguas tratadas se empleó el indicador:

Eficiencia de remoción (%) = (contaminante de entrada – contaminante de salida) / (contaminante de entrada)*100. Tomada del trabajo de investigación realizado por Lin *et al*, citado por (Scavo, Rodríguez y Luque, s.f., p 5).

Además para comprobar la hipótesis se empleó el Chi cuadrado, para lo cual se aplicó la siguiente formula:

$$X_2 = \sum \left(\frac{f_o - f_e}{f_e} \right)^2$$

Donde:

X_2 = Chi cuadrado

f_o = Frecuencia observada

f_e = Frecuencia esperada

6 RESULTADOS

6.1 Resultados para el primer objetivo específico “Determinar el nivel de contaminación en las aguas residuales domiciliarias procedentes de una vivienda ubicada en la comunidad de San Vicente”

6.1.1 Recolección de información.

6.1.1.1 Entrevista.

Los resultados de la entrevista exponen que la familia de la vivienda seleccionada corresponde a Uwijint González y está conformada por siete integrantes, sobre las actividades realizadas por estas personas destacan el lavado de ropa, el uso en la cocina y el aseo personal. En cuanto a la hora de mayor consumo manifestaron que es por las mañanas y además se obtuvo un consumo promedio de 47 m³ mensuales. Posteriormente se informó que no se realiza ninguna actividad para dar tratamiento a los vertidos de las agua servidas y que estas se vierten directamente a la quebrada San Vicente.

6.1.2 Resultado de la caracterización física, química y microbiológica del agua residual procedente de la vivienda.

6.1.2.1 Parámetros analizados in situ.

Estos parámetros se los midió en el sitio y hora de muestreo y corresponden a:

6.1.2.1.1 Caudal.

Cuadro 1: Resultados de la medición del caudal del agua residual doméstica.

Día \ Hora	M1	M2	M3	M4	PROMEDIO CAUDAL
	07H45	12H00	16H15	20H00	(l/s)
Día 1	0,01	0,04	0,01	0,03	0,02
Día 2	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02
Día 3	0,03	0,05	0,01	0,02	0,03
PROMEDIO TOTAL DEL CAUDAL MEDIDO					0,02 l/s
M= muestreo (se realizó durante la primera semana de abril)					

El resultado del cuadro anterior expone los datos acerca de las mediciones del caudal que se realizó por cuatro periodos durante tres días, estos valores muestran la evolución experimentada por el caudal durante el transcurso del muestreo, obteniendo que 0,05 l/s corresponde al caudal máximo y 0,01 l/s correspondiente al caudal mínimo. Todos los valores obtenidos se los promedio para obtener un caudal representativo que corresponde a 0,02 litros por segundo.

6.1.2.1.2 pH y Temperatura.

Cuadro 2: Resultado de la medición del pH y temperatura del agua residual doméstica.

Parámetro	Unidad	Resultado	Límite máximo permisible
pH	----	6,5	6-9
Temperatura	°C	21	Condición natural \pm 3

El resultado del cuadro 3 muestra el valor correspondiente al pH, mismo que presenta un valor de seis coma cinco correspondiente a ligeramente ácido, por lo que se deduce que este parámetro se encuentra dentro del rango establecidos en la tabla 9 del AM 097-A, referente a la temperatura el resultado del vertimiento revela un valor de 21 °C y la temperatura del cuerpo receptor 18°C, por tal razón se concluye que este parámetro también se encuentra dentro del rango establecido en la normativa vigente para descargas a cuerpos de agua dulce.

6.1.2.2 Resultados de los parámetros analizados ex situ.

De la primera muestra enviada al laboratorio para el análisis únicamente de la demanda bioquímica de oxígeno se obtuvo como resultado una concentración de 150 mg/l que fue el valor con el que se diseñó el sistema.

Y una vez construido y ya en funcionamiento el sistema, se procedió a enviar la muestra tomada antes del mismo para la realización de los análisis que se detalla a continuación:

Cuadro 3: *Resultados de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos antes del tratamiento.*

Parámetro	Unidad	Resultado	Límite Máx. Permisible.
Parámetros Físicos.			
SST	mg/l	720	130
Parámetros Químicos			
DBO ₅	mg/l	574	100

DQO	mg/l	1700	200
Nitrógeno Amoniacal (NH ₃ -N)	mg/l	1	30
Sulfatos	mg/l	1,4	1000
Grasas y Aceites	mg/l	27	30
Parámetros Microbiológicos.			
Coliformes Fecales	NMP/100ml	110000	2000

Los resultados de los análisis de laboratorio expuestos en el cuadro 4 demuestran que los parámetros Sólidos Suspendidos Totales (SST), demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) están sobre el límite máximo permisible de descarga a cuerpos de agua dulce según la tabla 9 del AM 097-A establecidos por el MAE (2015). Mientras que los parámetros Nitrógeno Amoniacal, Sulfatos, Grasas y Aceites si se encuentran dentro del límite máximo permisible.

Referente al resultado del análisis microbiológico este presenta una concentración fuerte con un valor de > 110000 NMP/100ml que sobrepasa el valor del límite permisible que corresponde a 2000 NMP/100ml, en consecuencia se deduce que los coliformes fecales están sobre el límite permisible y es el parámetro con mayor valor de contaminación.

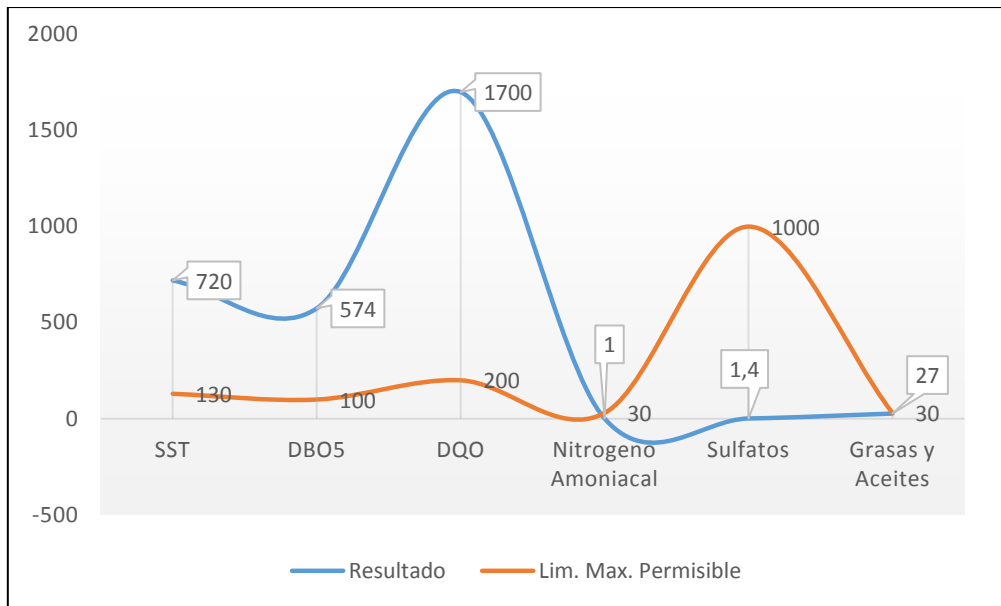


Figura 4: Resultado del análisis de agua residual antes del tratamiento.

En la figura anterior se puede observar el resultado del análisis físico y químico realizado a la muestra sin tratamiento comparada con el límite máximo permisible para descarga a cuerpos de agua dulce establecidos por la normativa. En ella se ilustra con mayor detalle los parámetros que sobrepasan el valor de contaminación permitido y que necesitan ser reducidos al límite, estos parámetros son: los SST, DBO5 y la DQO. Mientras que los parámetros Nitrógeno Amoniacal, Sulfatos, Grasas y Aceites están dentro de los límites máximos de contaminación permitidos y por lo tanto no se necesita remediar o no son prioritarios.

6.2 Resultados para el segundo objetivo específico. “Diseñar e Implementar el sistema de Humedales Artificiales para la depuración de las aguas residuales domésticas en una vivienda ubicada en la comunidad de San Vicente”.

6.2.1 Cálculos necesarios para el diseño del sistema de humedales artificiales.

6.2.1.1 Aspectos que se consideraron para los cálculos del diseño del humedal.

Cuadro 4: Aspectos considerados para los cálculos de las dimensiones del humedal.

ASPECTOS	UNIDADES	VALOR
Periodo de diseño	Años	15
Población actual	Habitantes	7
Tasa de crecimiento poblacional	%	1,59
Caudal medido en campo	$m^3/día$	1,73

En el cuadro 5 se evidencian algunos aspectos que se consideraron para el diseño del humedal, entre ellas tenemos el periodo de diseño o tiempo de vida útil del sistema correspondiente a 15 años, la población correspondiente a la familia que es de 7 habitantes, la tasa de crecimiento correspondiente a la parroquia Chicaña que presenta un valor de 1,59% según el INEC y el caudal medido en el campo correspondiente a 1,73 $m^3/día$.

6.2.1.2 Cálculo de la población de diseño.

$$Pf = Pa (1 + i)^n$$

$$Pf = 7 \text{ hab } (1 + 1,59\%)^{15 \text{ años}}$$

$$Pf = 7 \text{ hab } (1 + 0,0159)^{15 \text{ años}}$$

$$Pf = 7 \text{ hab } (1,0159)^{15 \text{ años}}$$

$$Pf = 7 \text{ hab } (1,267)$$

$$Pf = 8,87 \text{ hab}$$

$$Pf = 9 \text{ habitantes.}$$

Con el desarrollo de la ecuación anterior y tomando en cuenta un crecimiento poblacional de 1,59 % obtenido del INEC (2001-2010) para la parroquia Chicaña se obtuvo una población futura correspondiente a 9 habitantes.

6.2.1.3 Estimación del caudal de diseño.

6.2.1.3.1 Cálculo de la dotación de agua.

$$D = \frac{Q \times \frac{1000l}{1m^3}}{Pa}$$

$$D = \frac{1,73 \text{ m}^3/\text{dia} \times \frac{1000l}{1m^3}}{7 \text{ hab}}$$

$$D = \frac{1730 \text{ litros}/\text{dia}}{7 \text{ hab}}$$

$$D = 247,14 \text{ litros}/\text{hab}/\text{dia}$$

Con relación a la dotación de agua, esta se la calculo mediante la aplicación de la formula anterior, tomando como referencia el caudal medido en el campo y la población actual. Como resultado de este cálculo se obtuvo el valor correspondiente a la dotación de agua que es de 247,14 *litros/hab/dia*.

6.2.1.3.2 Cálculo del caudal de diseño.

$$Q_D = \frac{P \times D \times R}{86400}$$

$$Q_D = \frac{9\text{hab} \times 247,14 \text{ litros/hab/dia} \times 0,8}{86400}$$

$$Q_D = \frac{1779,408}{86400}$$

$$Q_D = 0,021 \text{ litros/seg}$$

Este es el valor con el que se diseñó el sistema y se la obtuvo mediante la aplicación de la fórmula anterior, tomando como datos la población futura, la dotación de agua calculada anteriormente y además el coeficiente de retorno. El resultado obtenido mediante el cálculo corresponde a 0,021 *litros/seg*.

6.2.1.4 Constante de reacción de primer orden.

$$K_T = K_{20}(1,06)^{(T-20)}$$

$$K_T = 1,104 \text{ d}^{-1} (1,06)^{(21-20)}$$

$$K_T = 1,104 \text{ d}^{-1} (1,06)^1$$

$$K_T = 1,104 \times 1,06$$

$$K_T = 1,17$$

El resultado de la constante de reacción de primer orden sirve para el cálculo del área superficial requerida para el humedal, con el desarrollo de esta fórmula se

obtuvo un valor de uno coma diez y siete que será empleada en la formula siguiente.

6.2.1.5 Cálculo del área superficial.

6.2.1.5.1 Área superficial requerida.

$$As = \frac{Q(\ln C_0 - C_e)}{K_T \times y \times n}$$

$$As = \frac{1,81 m^3 / \text{día} (\ln 150 \text{mg/l} - \ln 75 \text{mg/l})}{1,17 \text{ día} \times 0,6 \text{ metros} \times 0,35}$$

$$As = \frac{1,81 m^3 \text{ día} \times 0,69315}{0,2457 \text{ m/día}}$$

$$As = \frac{1,2546 m^3 \text{ día}}{0,2457 \text{ m/día}}$$

$$As = 5,11 m^2$$

Del cálculo del área superficial requerida se llegó a obtener como resultado un valor de cinco coma once metros cuadrados, esta se la calculo tomando en consideración el resultado de la DBO5 analizado anteriormente en el laboratorio, el resultado de la constante de reacción del primer orden del día, una profundidad de 0,6 metros y un coeficiente de porosidad de 35% que representa al material empleado como sustrato según Crites y Tchobanoglous citado por Vinueza, (2014).

6.2.1.6 Tiempo de retención hidráulica.

$$TRH = \frac{As \times y \times n}{Q}$$

$$\text{TRH} = \frac{5,11 \text{ m}^2 \times 0,6 \text{ metros} \times 0,35}{1,81 \text{ m}^3/\text{dia}}$$

$$\text{TRH} = \frac{1,0731 \text{ m}^3}{1,81 \text{ m}^3/\text{dia}}$$

$$\text{TRH} = 0,6 \text{ días.}$$

Según los resultados de la formula anterior se deduce que el tiempo de retención hidráulica para el área del humedal calculado es de cero coma seis días que representa a catorce horas y media aproximadamente.

6.2.1.7 Cálculo de las dimensiones del humedal artificial.

6.2.1.7.1 Cálculo del ancho del humedal

$$W = \frac{1}{h} \left[\frac{Q \times A_s}{m \times K_s} \right]^{0,5}$$

$$W = \frac{1}{0,6m} \left[\frac{1,81 \text{ m}^3/\text{dia} \times 5,12 \text{ m}}{0,01 \times 9750,4 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}} \right]^{0,5}$$

$$W = \frac{1}{0,6m} \left[\frac{9,2672 \text{ m}^2/\text{dia}}{97,504 \text{ m}/\text{dia}} \right]^{0,5}$$

$$W = \frac{1}{0,6m} [0,095044 \text{ m}]^{0,5}$$

$$W = \frac{1}{0,6m} \times 0,308292$$

$$W = 0,51 \text{ metros.}$$

El resultado obtenido con el desarrollo de la formula anterior expresa el ancho total del humedal y este representa un valor de cero coma cincuenta y un metros, pero este valor no es el auténtico, puesto que hay que verificar si se cumple la relación largo-ancho que es necesario para el buen funcionamiento del sistema.

6.2.1.7.2 Calculo del largo del humedal.

$$L = \frac{As}{W}$$

$$L = \frac{5,11 \text{ m}^2}{0,51 \text{ m}}$$

$$L = 10,02 \text{ metros.}$$

Con el cálculo del ancho del humedal también se calcula el largo del mismo que es el que se calculó con esta fórmula, pero este valor tampoco muestra el largo verdadero puesto que hay que verificar si se cumple la relación largo-ancho.

Cuadro 5: Resultados de los cálculos de la relación largo-ancho.

Dimensiones	Unidad	Valor
Largo del humedal	M	10,02
Ancho del humedal	M	0,51

El cuadro 6 expresa los resultados de los valores obtenidos sobre las dimensiones del largo y el ancho del humedal, con estos resultados se deduce que no se cumple la relación largo-ancho de tres a uno recomendada por el autor Vinuesa, (2014). Con estos antecedentes y para el buen funcionamiento del

sistema se procedió a calcular las dimensiones del ancho y largo con la relación recomendada.

6.2.1.7.3 *Calculo de las dimensiones del humedal con la relación largo-ancho de 3 a 1.*

$$W = \sqrt{\frac{As}{3}}$$

$$W = \sqrt{\frac{5,11 \text{ m}^2}{3}}$$

$$W = \sqrt{1,7033}$$

$$W = 1,31 \text{ metros.}$$

El resultado de esta fórmula expresa la dimensión del ancho que será la empleada en la construcción del humedal y calculado ya con la relación de tres a uno, este valor corresponde a uno coma treinta y un metros.

$$L = 3W$$

$$L = 3 \times 1,31 \text{ m}$$

$$L = 3,93 \text{ metros}$$

El resultado de esta fórmula arroja el valor verdadero correspondiente al largo total del humedal, este valor es de tres coma noventa y tres metros.

6.2.1.8 Diseño del humedal artificial.

Cuadro 6: Resultado de las dimensiones calculadas para el diseño del humedal.

Medidas internas	Unidad	Medidas
Ancho	M	1,31
Largo	M	3,93
Profundidad	M	0,6
Espesor de pared	M	0,1
Pendiente	%	1

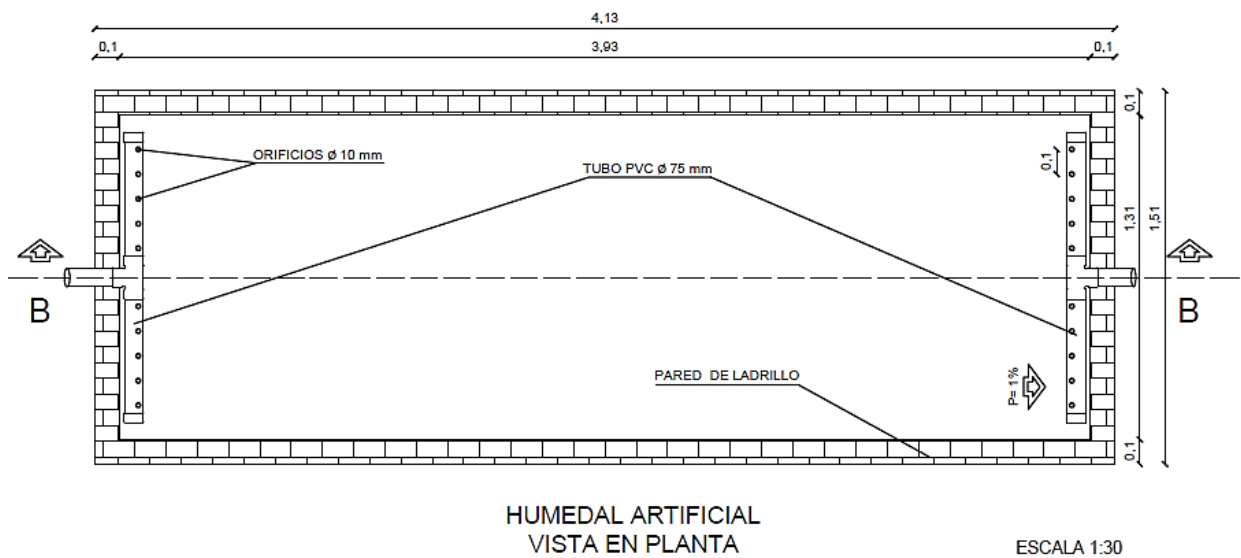


Figura 5: Humedal artificial vista en planta.

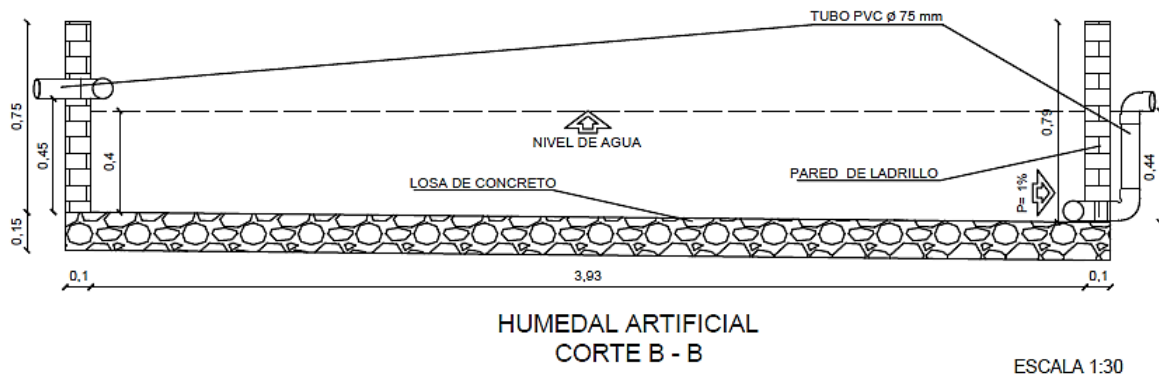
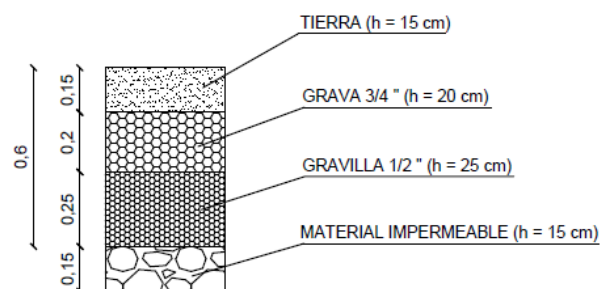


Figura 6: Humedal artificial, corte B – B.

El resultado del cuadro 7 muestra las dimensiones internas del humedal, mismo que consta de una longitud de 1.31 metros de ancho, 3.93 metros de largo, 0.6 metros de profundidad, una pendiente del 1 % y un espesor de pared de 0.1 metros. Sumado este último a las dimensiones internas se obtuvo las dimensiones externas que corresponden a 4.03 metros de largo por 1.51 metros de ancho.

Cabe recalcar que los cálculos se los realizó tomando una profundidad de 0.6 metros, pero para evitar el ingreso de malezas y aguas de escorrentías se construyó 0.15 metros sobre la superficie del suelo quedándonos un total de 0.75 metros.



**LAMINAS DE INFILTRACIÓN
DEL SISTEMA**

ESCALA 1:20

Figura 7: Detalle de las capas filtrantes del humedal.

En la figura siete se puede apreciar el tipo de sustrato empleado como medios filtrantes en el humedal, estos materiales están comprendidos por una capa de 0,25 metros de altura de gravilla con un diámetro aproximado de media pulgada, a continuación una capa de 0,2 metros de grava con un diámetro de tres cuartos de pulgada aproximadamente y finalmente en la superficie esta una capa de 0,15 metros de altura que corresponde a tierra y material orgánico.

6.2.1.9 Diseño del pretratamiento y tratamiento primario.

Cuadro 7: Dimensiones para el diseño del sedimentador y trampa de grasas.

Medidas internas	Unidad	Medidas
Ancho	m	0,4
Largo	m	0,7
Profundidad	m	0,75
Espesor de pared	m	0,1

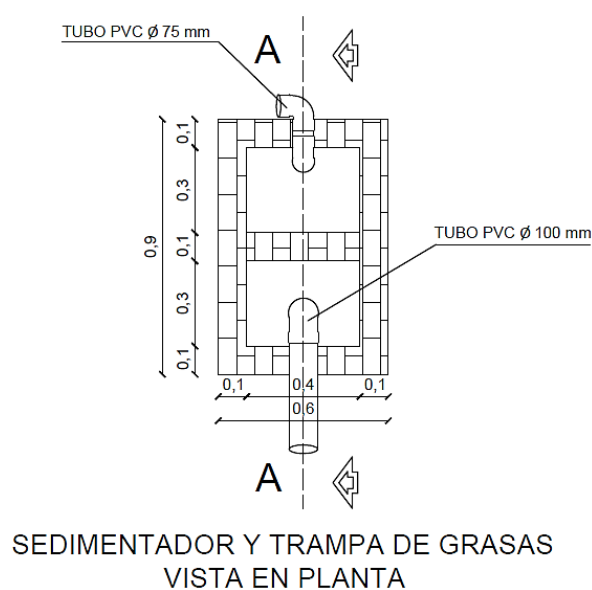


Figura 8: Sedimentador y Trampa de grasas vista en planta.

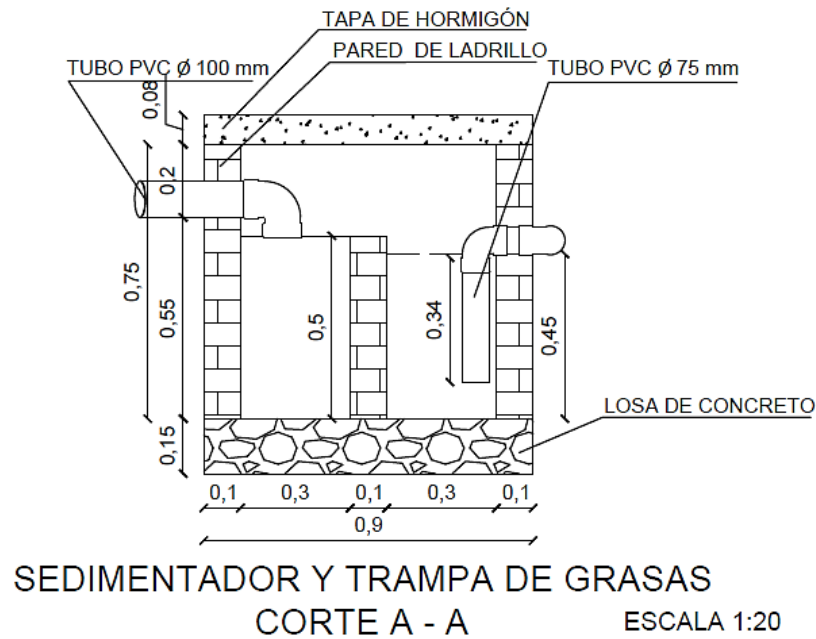


Figura 9: Sedimentador y Trampa de grasas corte A – A.

En el cuadro 8 se puede apreciar las dimensiones propuestas para el sedimentador y trampa de grasas, mismos que corresponden a un largo de 0,7 metros, un ancho de 0.3 metros, una profundidad de 0.75 metros y un espesor de paredes de 0.1 metros.

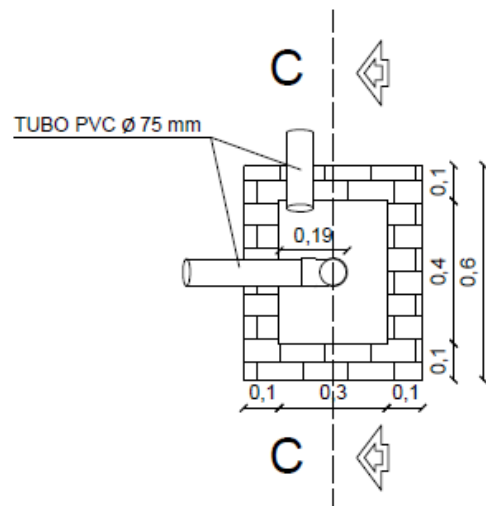
El largo está dividido en dos cámaras de 0.3 metros cada una por una pared de 0.1 metros de espesor y 0.5 metros de altura, que separa al sedimentador de la trampa de grasas. Tomando en cuenta el espesor de las paredes podemos apreciar las dimensiones externas que correspondientes a 0.6 metros de ancho por 0.9 metros de largo.

6.2.1.10 Diseño de la caja de distribución.

Cuadro 8: Dimensiones para el diseño de la caja de distribución.

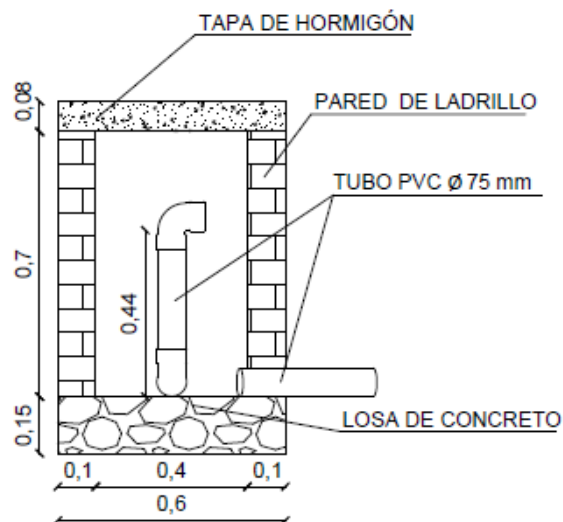
Medidas internas	Unidad	Medidas
Largo	m	0,4

Ancho	m	0,3
Profundidad	m	0,7
Espesor de pared	m	0,1



CAJA DE DISTRIBUCIÓN
VISTA EN PLANTA

Figura 10: Caja de distribución, vista en planta.



CAJA DE DISTRIBUCIÓN
CORTE C - C

Figura 11: Caja de distribución, corte C-C.

En el cuadro 9 se puede apreciar las medidas internas de la caja de distribución del agua tratada, estas constan de un largo de 0,4 metros, una ancho de 0,3 metros y una profundidad de 0,7 metros, a las medidas internas se les sumo el espesor de pared que es de 0,1 metros para obtener las medidas externas que son de 0,6 metros de largo y un ancho de 0,5 metros.

6.2.2 Construcción del sistema de humedales artificiales.

A continuación se presenta un registro fotográfico sobre las actividades realizadas durante el proceso de construcción del sistema.

6.2.2.1 Impermeabilización del área de construcción del sistema.



Foto 5: *Impermeabilización del área.*

En la foto se puede visualizar un conjunto de imágenes que muestran el proceso realizado para la impermeabilización de toda el área donde se construyó el sistema.

En el cual primeramente se realizó el retiro del material vegetal y posterior la tierra del área seleccionada para así obtener la profundidad calculada anteriormente, luego se procedió al empedrado del piso tomando en cuenta la pendiente del 1% para finalmente obtener una losa de 0,15 metros que sirvió de base para la construcción de paredes y como una capa impermeabilizante.

6.2.2.2 Construcción de paredes de las distintas cajas



Foto 6: *Construcción de paredes de las distintas cajas.*

En el conjunto de imágenes se observa las diferentes paredes que conforman todo el sistema de tratamiento de aguas residuales, en ella se aprecia la trampa de grasas y la rejilla que está compuesta por una malla de 1cm x 1cm de separación, misma que fue empleada para evitar que ingresen los sólidos suspendidos al humedal, además está la caja de distribución y el humedal que ocupa la mayor cantidad de área.

6.2.2.3 Colocación del sistema de entrada y salida del agua residual.



Foto 7: Colocación del sistema de entrada y salida del agua residual.

En la fotografía se observa el resultado de la colocación de la tubería en la entrada y salida del humedal, en la misma se realizó perforaciones con una separación de 10 centímetros cada agujero y un diámetro de 10mm, estas tuberías se colocaron horizontalmente y nivelados con el propósito de que el agua residual se disperse por todo el ancho de la piscina. La tubería de la entrada está colocada a una altura de 0,45 metros y a la salida en el lado opuesto está colocada en la parte inferior, sobre la losa.

En la tubería se colocó tapones en los extremos para garantizar que el agua pase por las perforaciones realizadas mas no por los extremos de la misma y además los agujeros se colocaron de manera horizontal con vista a la tubería de salida colocada al lado opuesto.

6.2.2.4 Colocación de las capas filtrantes en el humedal.



Foto 8: Colocación de las capas filtrantes.

Este conjunto de fotografías muestran el resultado de la colocación de las capas filtrantes en el humedal, para ello primeramente se colocó en los extremos de entrada y salida del agua residual una barrera de 40 centímetros de piedra de 10 centímetros de diámetro aproximadamente, esto para evitar en atascamiento de las aguas en la entrada y garantizar el libre paso del mismo en la salida.

Luego se procedió a la colocación de las capas de gravilla, grava y tierra respectivamente, con las alturas de las capas y diámetro de los materiales detalladas en el plano del diseño.

6.2.2.5 Implementación de la vegetación en el humedal.



Foto 9: Implementación de la vegetación en el humedal.

En esta foto se muestra la vegetación ya establecida en el humedal, presentando un total de 21 plantas colocadas en zig – zag y una distancia de 47 cm cada fila como se muestra con más detalle en la figura siguiente.

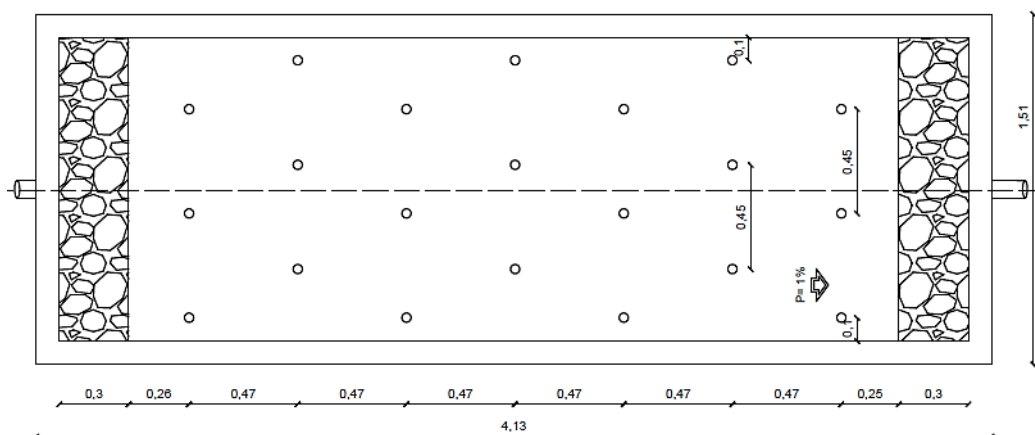


Figura 12: Distancias entre las plantas sembradas en el humedal.

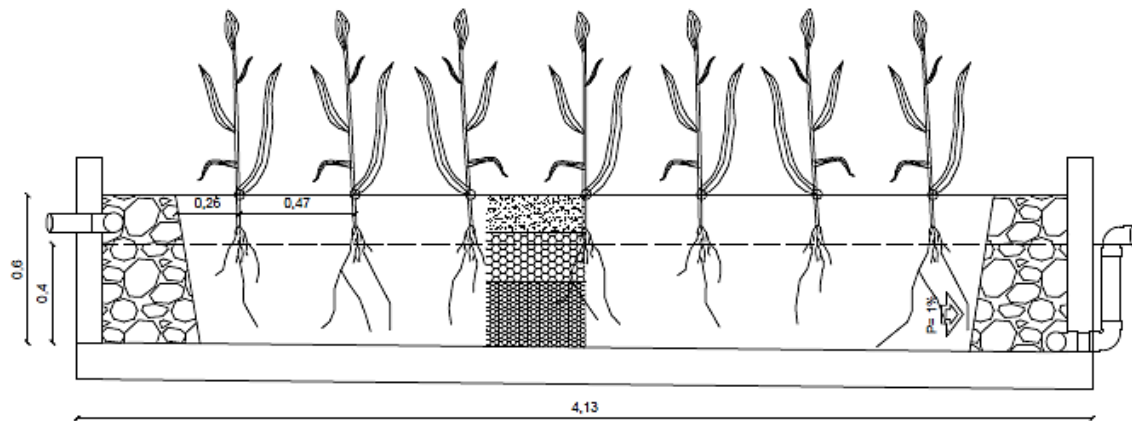


Figura 13: *Distancia de siembra, corte transversal.*

En esta figura vista transversalmente se puede apreciar la colocación de las piedras en la entrada y salida del humedal, las capas filtrantes, la vegetación plantada y la altura del nivel de agua que está representada con líneas entre cortadas, verificando así que el nivel de agua se encuentra por debajo de la superficie de la última capa que es la de tierra.

6.3 Resultados para el tercer objetivo específico. “Determinar el porcentaje de descontaminación de las aguas residuales domesticas al pasar por el sistema de Humedales Artificiales”

6.3.1 Operaciones de mantenimiento y monitoreo de la adaptabilidad de los individuos.

Según los resultados de las actividades de monitoreo y mantenimiento realizadas a las plantas y humedal, no existió presencia de plagas que afecte a la vegetación plantada en el humedal, tampoco existió la muerte de alguna planta, por lo que no fue necesario el remplazo de estas como se planteó en las actividades de mantenimiento en caso de que se diera y finalmente con relación a la presencia de malezas, en el monitoreo del cuatro de Junio del 2016 se realizó la primera

limpieza y la segunda se llevó a cabo el 23 de Julio del 2016, en las demás fechas de monitores no existió la presencia de malezas o estaban demasiado pequeñas para llevar a cabo la limpieza, concluyendo así que esta especie se adaptó fácilmente al humedal artificial construido.

6.3.2 Toma de la muestra para el análisis final.

Los resultados de la muestra tomada luego de haber pasado el agua residual por el tratamiento se expresan a continuación:

Cuadro 9: Resultado del análisis de agua residual tratada.

Parámetro	Unidad	Resultado sin tratamiento	Resultado con tratamiento
Parámetros Físicos.			
SST	mg/l	720	72
Parámetros Químicos			
DBO ₅	mg/l	574	133
DQO	mg/l	1700	170
Nitrógeno Amoniacal (NH ₃ -N)	mg/l	1	1,3
Sulfatos	mg/l	1,4	0,51
Grasas y Aceites	mg/l	27	3,6
Parámetros Microbiológicos.			
Coliformes Fecales	NMP/100ml	110000	110000

Los resultados del cuadro 11 expresan la remoción que han sufrido los parámetros analizados como: los Sólidos Suspendidos Totales, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Sulfatos, Grasas y aceites, mismos que han disminuido su concentración y están bajo los límites permisibles. Mas no así para el parámetro Nitrógeno Amoniacal que aumento el valor de concentración pero sigue estando bajo el límite permisible y los coliformes fecales que se mantienen en la misma cantidad de concentración, deduciendo que no existe remoción alguna de este parámetro y permanece sobre el limite permisible establecido en el AM 097-A del MAE (2015).

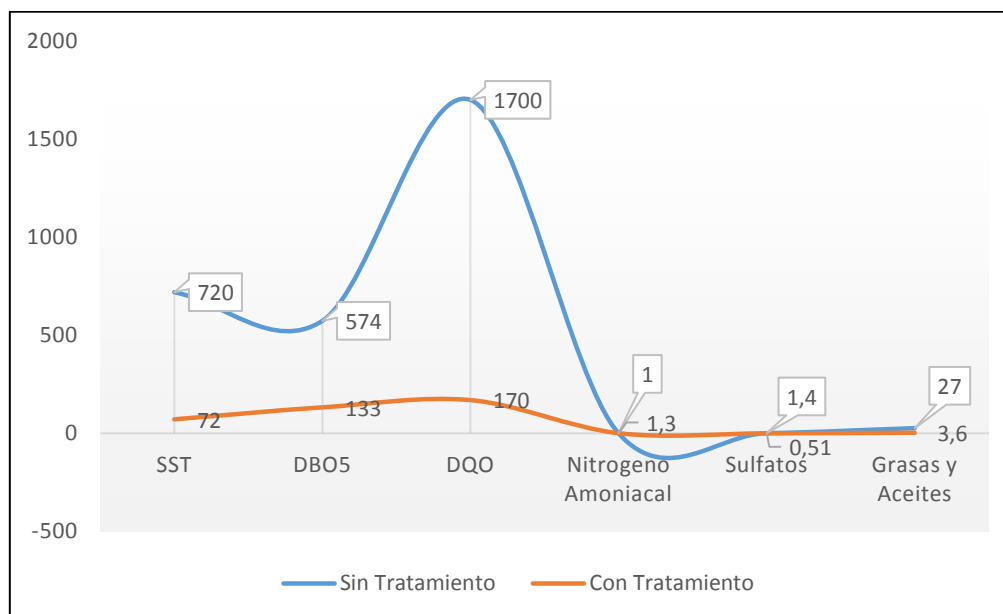


Figura 14: Resultado del agua residual tratada.

En la figura 14 se ilustra con mayor detalle los resultados obtenidos del agua residual con y sin tratamiento, obteniendo así que los Sólidos Suspendidos Totales con tratamiento presentan un valor de 72 mg/l reduciendo 648 mg/l de la muestra sin tratamiento que fue de 720 mg/l. Seguidamente esta la DBO5 que exhibe un valor de 133 mg/l reduciendo 441 mg/l de la muestra sin tratamiento que presento un valor de 574 mg/l. Luego está la Demanda Química de Oxígeno que presenta

un valor de 170 mg/l reduciendo 1530 mg/l de la muestra inicial. Con relación al Nitrógeno Amoniacal, este parámetro aumento su valor de concentración en 0,3 mg/l del valor inicial que fue de 1 mg/l. a continuación se presenta los Sulfatos con un valor de 0,51 mg/l de la muestra tratada reduciendo 0,89 mg/l de la muestra sin tratar y finalmente el parámetro Grasas y Aceites que presenta un valor de 3,6 mg/l reduciendo 23,4 mg/l de la muestra inicial sin tratamiento. Así mismo se obtuvo el valor de los coliformes fecales, mismo que mantuvo el nivel de contaminación luego del tratamiento realizado y presentando un valor que sobrepasa el límite máximo permisible.

6.3.3 Determinar el porcentaje de descontaminación.

Esta se realizó según el trabajo de investigación realizado por Lin *et al*, citado por (Scavo et al (s.f., p 5). Asi para los Sólidos Suspendedos Totales se tiene que:

$$\text{Eficiencia de remocion (\%)} = \frac{\text{Cont. de entrada} - \text{Cont. de salida}}{\text{Contaminante de entrada}} * 100$$

$$\text{Eficiencia de remocion (\%)} = \frac{720\text{mg/l} - 72\text{mg/l}}{720\text{mg/l}} * 100$$

$$\text{Eficiencia de remocion (\%)} = 90\%$$

El porcentaje de remoción para la Demanda Bioquímica de Oxigeno corresponde a:

$$\text{Eficiencia de remocion (\%)} = \frac{\text{Cont. de entrada} - \text{Cont. de salida}}{\text{Contaminante de entrada}} * 100$$

$$\text{Eficiencia de remocion (\%)} = \frac{574\text{mg/l} - 133\text{mg/l}}{574\text{mg/l}} * 100$$

$$\text{Eficiencia de remocion (\%)} = 76,83\%$$

Con relación a la Demanda Química de Oxígeno se tiene lo siguiente:

$$\text{Eficiencia de remocion (\%)} = \frac{\text{Cont. de entrada} - \text{Cont. de salida}}{\text{Contaminante de entrada}} * 100$$

$$\text{Eficiencia de remocion (\%)} = \frac{1700\text{mg/l} - 170\text{mg/l}}{1700\text{mg/l}} * 100$$

$$\text{Eficiencia de remocion (\%)} = 90\%$$

A continuación se presenta el porcentaje de remoción del Nitrógeno amoniacal.

$$\text{Eficiencia de remocion (\%)} = \frac{\text{Cont. de entrada} - \text{Cont. de salida}}{\text{Contaminante de entrada}} * 100$$

$$\text{Eficiencia de remocion (\%)} = \frac{1\text{mg/l} - 1,3\text{mg/l}}{1\text{mg/l}} * 100$$

$$\text{Eficiencia de remocion (\%)} = -30\%$$

Referente a la remoción de los Sulfatos se obtuvo lo siguiente:

$$\text{Eficiencia de remocion (\%)} = \frac{\text{Cont. de entrada} - \text{Cont. de salida}}{\text{Contaminante de entrada}} * 100$$

$$\text{Eficiencia de remocion (\%)} = \frac{1,4\text{mg/l} - 0,51\text{mg/l}}{1,4\text{mg/l}} * 100$$

$$\text{Eficiencia de remocion (\%)} = 63,57\%$$

Con relación a la remoción de las grasas y aceites se obtuvo lo siguiente:

$$\text{Eficiencia de remocion (\%)} = \frac{\text{Cont. de entrada} - \text{Cont. de salida}}{\text{Contaminante de entrada}} * 100$$

$$\text{Eficiencia de remocion (\%)} = \frac{27\text{mg/l} - 3,6\text{mg/l}}{27\text{mg/l}} * 100$$

$$\text{Eficiencia de remocion (\%)} = 86,67\%$$

Finalmente el porcentaje de remoción de los coliformes fecales corresponde a:

$$\text{Eficiencia de remocion (\%)} = \frac{\text{Cont. de entrada} - \text{Cont. de salida}}{\text{Contaminante de entrada}} * 100$$

$$\text{Eficiencia de remocion (\%)} = \frac{110000\text{mg/l} - 110000\text{mg/l}}{110000\text{mg/l}} * 100$$

$$\text{Eficiencia de remocion (\%)} = 0\%$$

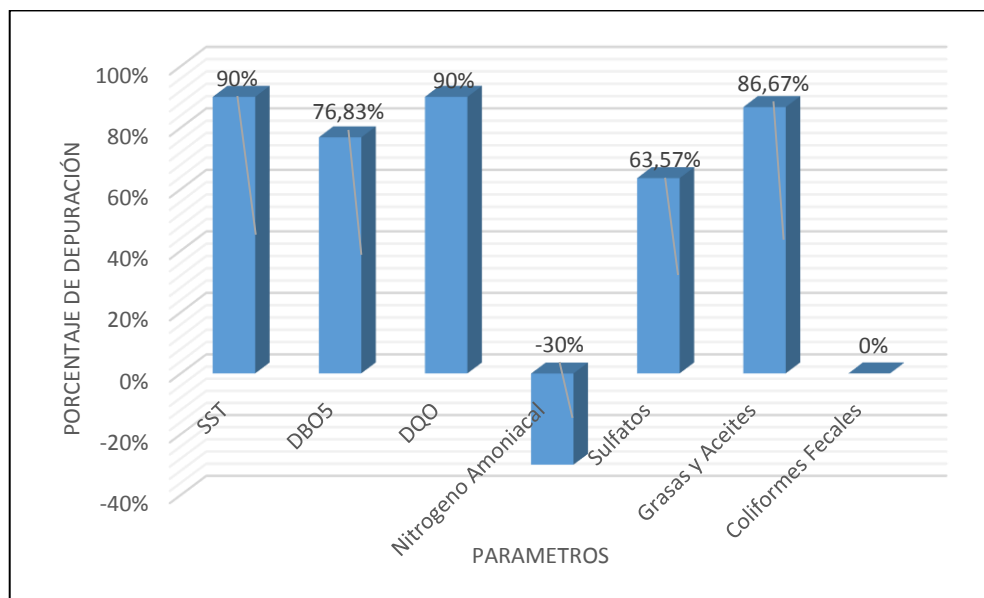


Figura 15: Resultado del porcentaje de remoción.

En la figura anterior se exhiben los porcentajes de depuración de cada parámetro tras haber realizado el tratamiento, obteniendo así un 90% de remoción en los SST y DQO, 86,67% de remoción en las Grasas y aceites, 76,83% de

remoción en la DBO5, 63,57% de remoción en los sulfatos, 0% de remoción en los Coliformes fecales y un aumento del 30% en el parámetro Nitrógeno Amoniacal.

6.3.4 Análisis de costo del humedal implementado.

A continuación se presenta un resumen de costos necesarios para la realización de este proyecto.

Cuadro 10: Costo del humedal.

RUBRO	ACTIVIDAD/ RECURSO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO U.	COSTO T.
MATERIALES DE CONSTRUCCION	Cemento	Unidad	6	8,25	49,50
	Ladrillo	Unidad	260	0,27	70,20
	Tubo Pvc 2"	Unidad	2	4,00	8,00
	Codo 2"	Unidad	4	0,50	2,00
	Codo 4"	Unidad	1	0,75	0,75
	Te 2"	Unidad	2	0,75	1,50
	Pega tubo	Unidad	1	1,00	1,00
	Arena fina	Metro cubico	1	15,00	15,00
	Piedra	Metro cubico	1	10,00	10,00
	Grava 3/4"	Metro cubico	2	10,00	20,00
	Gravilla 1/2"	Metro cubico	2	10,00	20,00

MANO DE OBRA	Adecuación del sitio	Jornal	1	20,00	20,00
	Construcción	Jornal	3	20,00	60,00
	Colocación de las capas y vegetación	Jornal	1	20,00	20,00
ANALISIS DE LABORATORIO	Muestras	Unidad	2	193,80	387,60
				TOTAL	685,55

El valor económico total necesario para la implementación del humedal subsuperficial de flujo horizontal con el fin de depurar el agua residual de la vivienda seleccionada corresponde a seiscientos ochenta y cinco dólares con cincuenta y cinco centavos, que es el recurso económico que se utilizó siguiendo esta metodología para contribuir a remediar en parte el daño ambiental que se viene dando al verter las aguas residuales sin tratamiento, pero el recurso para la implementación de réplicas de este proyecto se reduciría tomando en cuenta únicamente costos de construcción, el mismo que sería de doscientos noventa y siete dólares con noventa y cinco centavos, sin tomar en cuenta análisis de laboratorio.

7 DISCUSIÓN

7.1 Determinar el nivel de contaminación en las aguas residuales domiciliarias procedentes de una vivienda ubicada en la comunidad de San Vicente.

La entrevista realizada revela que los vertidos de la vivienda están siendo arrojados directamente al cuerpo receptor sin tratamiento alguno, esto a consecuencia del poco interés de la familia puesta en remediar sus aguas y la falta de recursos económicos manifestaron, además la falta de conocimiento en técnicas de depuración de fácil acceso y poco sofisticados aportan al desinterés puesto por esta familia en verter sus aguas servidas de acuerdo a la normativa legal vigente.

Referente a los parámetros analizados se tiene que la temperatura de agua residual presento un valor de 21 °C, mientras que la temperatura del cuerpo receptor un valor de 18°C, por tal razón se deduce que este parámetro se encuentra dentro del rango establecido por el MAE (2015) quien manifiesta que la temperatura del agua residual deberá estar ± 3 °C de la temperatura del cuerpo receptor. Con relación al pH este presento un valor de 6,5 el cual corresponde un pH ligeramente ácido, de igual manera este parámetro se encuentra dentro del rango establecido por la normativa.

Con relación a los SST, este parámetro presento un valor de 720 mg/l, que de acuerdo al MAE (2015) este sobrepasa el limite permisible colocándolo como uno de los parámetros a depurar.

Además el análisis de la DBO5 presento un resultado de 574 mg/l que de igual manera sobrepasa el límite máximo permisible que corresponde a 130 mg/l de acuerdo al MAE (2015). Así mismo la DQO dio como resultado un valor elevado de 1700 mg/l que sobrepasa el límite permisible expuesto en la normativa.

Los parámetros Nitrógeno Amoniacal, Sulfatos, Grasas y Aceites presentaron como resultado valores bajos de contaminación que están por debajo de los límites permisibles de cuerdo a la tabla 9 del AM 097-A establecidos por el MAE (2015), los valores bajos de contaminación en estos parámetros podría deberse a que según Mendonca citado por Delgadillo et al. (2010) expresa que la cantidad de contaminantes del agua residual dependerá de su uso precedente y que en este caso fue de aguas servidas domésticas, por lo tanto se presume que esta agua residual presenta bajos niveles de contaminantes en estos parámetros en comparación con las aguas residuales industriales o de toda la población de una comunidad.

Finalmente el resultado de los Coliformes Fecales presentó un valor elevado que corresponde a >110000 NMP/100ml, colocando a este parámetro por encima del límite permisible según la normativa vigente, la tabla 9 del AM 097-A. Este valor de contaminación presentado es debido a que en el agua residual analizado existe una mezcla entre aguas de actividades de limpieza, cocina y los sanitarios.

7.2 Diseñar e Implementar el sistema de Humedales Artificiales para la depuración de las aguas residuales domésticas en una vivienda ubicada en la comunidad de San Vicente.

Para dar solución a la problemática sobre los altos niveles de contaminación del agua residual de la vivienda se propuso una técnica de las denominadas

tecnologías naturales de depuración mediante humedales artificiales, se empleó este método en virtud de que según Delgadillo et.al, (2010) manifiesta que estos métodos suelen ser menos costosos y sofisticados en cuanto a operación y mantenimiento que los convencionales, además estos suelen ser igual de eficaces en la eliminación de contaminantes. Por otra parte, el consumo energético suele ser mínimo y su costo de mantenimiento muy bajo, requiriendo también personal menos especializado.

El sistema construido está compuesta por una trampa de grasas puesto que según Lara (1999) manifiesta que en estos sistemas se usan tratamiento preliminar, además está el humedal de flujo subsuperficial horizontal, de este tipo debido a la cercanía a la vivienda y tomando en cuenta la afirmación realizada por Lara (1999) quien expone que como el nivel de agua está por debajo de la superficie del medio granular no está expuesto, con lo que se evita posibles problemas de mosquitos que pueden llegar a presentarse en los sistemas de flujo libre, finalmente esta la caja de distribución que no es más que el lugar que distribución del agua residual tratada. Además para realizar el diseño se procedió a calcular las dimensiones del humedal y para ello se emplearon ecuaciones propuestas por Delgadillo et.al (2010) para el cálculo de humedales de flujo subsuperficial dando como resultado las medidas internas de 1,31 metros de ancho por 3,93 metros de largo y 0,6 metros de profundidad.

7.3 Determinar el porcentaje de descontaminación de las aguas residuales domesticas al pasar por el sistema de Humedales Artificiales

Referente a los Solidos Suspendidos Totales se llegó a obtener un porcentaje de remoción del 90% que es alto ya que el humedal actúa como un filtro, pero el

resultado obtenido en este proyecto es inferior al obtenido por Quipuzco (2002) quien obtuvo el 97,2% de remoción de este parámetro en su investigación, este rendimiento inferior se debe a que una de las capas de medio filtrante empleado por este autor fue de arena que es más fina que las instaladas en este estudio que fue de grava, material más grueso que el anterior, dejando espacios más grandes y produciendo una filtración inferior, lo que concuerda con Quipuzco (2002) quien manifiesta que un óptimo rendimiento de remoción depende de una buena filtración y esta a su vez de la selección del medio filtrante.

Con relación a la Demanda Bioquímica de Oxígeno en un estudio realizado por Bernal et.al (2003) se evaluó este parámetro durante cinco meses, este autor manifiesta que la eficiencia de remoción de la DBO5 fue aumentando con el tiempo mientras que las especies iban cubriendo el área superficial del humedal y en el último mes obtuvo remociones por encima del 80%. En este proyecto el porcentaje de remoción llegó hasta el 76,83%, pero también se espera obtener una mayor remoción cuando la población vegetal aumente por repoblamiento y cubra la mayor parte del área del humedal tomando en cuenta que el tiempo de evaluación en este proyecto fue de tres meses.

Con relación a la Demanda Química de Oxígeno en este estudio se obtuvo una remoción del 90% que es menor a la obtenida por Montoya, Ceballos, Casas y Morato, (2010) quienes obtuvieron una remoción de hasta el 97,39% de este parámetro en su estudio y mayor al obtenido por Quipuzco, (2002) quien obtuvo una remoción del 84,3%. Estas diferencias en remoción podría deberse a que en los humedales artificiales, la capacidad de remoción se debe a los efectos combinados entre el tiempo de retención hidráulica, la acción filtrante del sustrato

para retener sólidos suspendidos del agua y la actividad biológica del sistema, manifiesta Rodríguez y Durán de Bazúa, (2006). Cabe aclarar además que los valores obtenidos en este estudio cumplen con la norma de vertimiento a cuerpos de agua dulce establecidos por MAE (2015).

Referente al nitrógeno amoniacal, este aumento en un 30% contradiciendo así los resultados obtenidos por Romero et al. (2009) quienes obtuvieron una remoción de 73,85%. Esto podría deberse a que según Lara Borrero (1999) manifiesta que típicamente las aguas residuales municipales deben tener una alcalinidad suficiente, pero que puede ser necesaria una adición extra para lograr niveles verdaderamente bajos de amoníaco, esto se confirma con este estudio ya que el pH medido arrojó un valor 6,5 que corresponde a un pH ligeramente ácido. Además las aseveraciones realizadas por Lara Borrero y Vera Puerto (2005) afirman que las macrófitas emergentes hacen que el sustrato mantenga los procesos microbianos, al transmitir oxígeno de las hojas a sus raíces, mientras que el resto del ambiente sumergido del humedal tiende a estar desprovisto de oxígeno, por lo tanto la disponibilidad limitada de oxígeno en los Sistemas de Flujo Subsuperficial (SFS) reduce la capacidad para la remoción de amoníaco vía nitrificación biológica.

El porcentaje de depuración de los sulfatos en este estudio arrojó un 63,57% de remoción que está por debajo del obtenido por Quipuzco, (2002) quien obtuvo el 71,2% de remoción en su investigación, pero aun así este parámetro no sobrepasa el límite permisible establecido por la normativa.

Las grasas y aceites presentan una remoción de 86,67% colocando este parámetro por debajo del límite permisible establecido por el MAE (2015), se presume que presenta este valor de remoción debido a la implementación de la

trampa de grasas como tratamiento primario, que es la que retiene gran parte de grasas y material flotante, además que el agua residual de una vivienda presenta bajos niveles de grasas comparadas con de las industrias o una comunidad entera.

Referente a los coliformes fecales no hubo remoción alguna y mantuvo el mismo nivel de contaminación luego del tratamiento, además el resultado de este parámetro sobrepasa el límite permisible para descargas a cuerpos de agua dulce, contradiciendo de esta manera los resultados obtenidos por Lara y Vera (2005), quienes obtuvieron aproximadamente el 69% de depuración. Esta contradicción podría deberse a que el tiempo de retención hidráulico de este proyecto fue de 0,6 días, ya que Lara (1999) afirma que los humedales artificiales son capaces de reducir los coliformes fecales con tiempos de retención hidráulica de 3 a 7 días y que en algunos casos no era suficiente. También la contradicción podría deberse al corto tiempo de evaluación del humedal ya que Lara y Vera (2005) en su estudio manifiestan que los humedales tienen un buen comportamiento en la depuración de contaminación fecal y que el rendimiento iba en aumento al tercer mes, además manifiestan que el sistema necesita estabilizarse para alcanzar valores altos de remoción como obtuvo a partir del cuarto mes de evaluación. Del mismo modo como manifiestan estos autores, en este estudio se espera obtener mejores resultados al extender el tiempo de evaluación y lograr una mejor estabilización del sistema.

8 CONCLUSIONES

Una vez realizado el presente proyecto de investigación se ha considerado plantear las siguientes conclusiones:

- ✓ La determinación del área que ocupa el humedal depende fundamentalmente del resultado de la DBO5 realizado, razón por la cual es importante que estos resultados sean confiables.
- ✓ Los parámetros depurados en mayor porcentaje son los Solidos Suspendidos Totales y la Demanda Química de Oxígeno con el 90% de depuración, disminuyendo así su concentración por debajo de los límites permisibles.
- ✓ Las grasas y aceites también presentan un buen porcentaje de descontaminación, llegando a obtener el 86,67% de depuración con el tratamiento aplicado.
- ✓ El nivel de eficiencia en remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno presenta un porcentaje de descontaminación del 76,83%, sin embargo de acuerdo a la normativa este continua por encima el límite permisible para la descarga a cuerpos de agua dulce.
- ✓ El parámetro Nitrógeno Amoniacal sufrió un incremento del 30% de su concentración inicial, pero sigue estando por debajo del límite permisible.
- ✓ El nivel de remoción del parámetro sulfato fue de 63,57% que no es alto, pero se ha disminuido en parte y además está por debajo del límite permisible.

- ✓ El nivel de depuración de los coliformes fecales no fue el esperado ya que este parámetro no sufrió depuración alguna, permaneciendo en la misma concentración antes y después del tratamiento.

- ✓ El *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud demostró a lo largo del proyecto, ser una especie apta para el humedal; presentó un buen crecimiento, resistencia a plagas y una adecuada adaptabilidad a las condiciones climáticas de la zona.

9 RECOMENDACIONES

Una vez desarrollado el presente proyecto se ha considerado pertinente realizar las siguientes recomendaciones:

- ✓ Para que el sistema de humedales funcione correctamente durante el periodo de tiempo para el que fue diseñado, es necesario realizar operaciones de limpieza y mantenimiento.
- ✓ A las instituciones educativas como universidades se recomienda en una próxima investigación incluir un tratamiento terciario que disminuya la concentración de los coliformes fecales, puesto que con el sistema desarrollado no existió ninguna depuración de este parámetro.
- ✓ A los GADs potenciar el uso de sistemas de tratamiento con humedales en viviendas o poblaciones pequeñas por su capacidad de depuración de los parámetros físicos y químicos y además sus bajos costos de construcción y mantenimiento, pero incluir en este un tratamiento terciario para la depuración de coliformes.
- ✓ En próximas investigaciones se recomienda ampliar el número de días para el tiempo de retención hidráulica del sistema, así como también el periodo de evaluación sea superior a los tres meses, esto con el fin de obtener mejores resultados según lo manifiestan otros investigadores.

10 BIBLIOGRAFÍA

Aquaberri. (2013). *Tecnologías naturales de depuración y tratamiento de aguas*.

Obtenido de <http://aquaberri.com/Dispositivos/Humedales-Artificiales/>

Asamblea constituyente. (2008). *Constitución del Ecuador*. Montecristi.

Asamblea Nacional. (6 de Agosto de 2014). Ley Orgánica de Recursos Hídricos,

Usos y Aprovechamientos del Agua. Quito, Pichincha, Ecuador.

Audesirk, T., Audesirk, G., & Byers, B. (2004). *Biología. Ciencia y naturaleza*.

México: PEARSON EDUCACIÓN.

Ayala Fanola, R. M., & Gonzales Marquez, G. (2008). Apoyo didáctico en la

enseñanza - aprendizaje de la asignatura de PTAR. Cochabamba, Bolivia.

Bernal, F., Mosquera, D., Maury, H., González, D., Guerra, R., Pomare, A., & Silva,

M. (s.f). Humedales Artificiales para el Tratamiento de las Aguas Residuales

en la Corporación Universitaria de la Costa. *Seminario Internacional sobre*

Métodos Naturales para el Tratamiento de Aguas Residuales, 149-155.

CABI. (2015). *Invasive Species Compendium*. Obtenido de

<http://www.cabi.org/isc/datasheet/40514>

Campos Gómez, I. (2003). *Saneamiento Ambiental* (Primera ed.). San José, Costa

Rica: Universidad Estatal a Distancia.

Campos, X. (s.f.). *Xcellcampos.cat*. Obtenido de Blog at Wordpress.com:

<https://xellcampos.wordpress.com/botany/>

Comisión Estatal del Agua de Jalisco. (2013). *Operacion y Mantenimiento de Plantas de tratamiento de Aguas Residuales con el proceso de Lodos Activados*. Jalisco.

Curt Fernández de la Mora, M. D. (s.f.). *Macrofitas de interés en fitodepuración*. Recuperado el 24 de Mayo de 2016, de ciencias-marinas.uvigo.es: http://www.ciencias-marinas.uvigo.es/bibliografia_ambiental/outros/Manual%20de%20fitodepuracion/Capitulos%207.pdf

Delgadillo , O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010). *Depuracion de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba.

GAD Parroquial de Chicaña. (2011). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Parroquial de Chicaña. Yantzaza, Zamora Chinchipe, Ecuador.

Hoffmann, H., Platzer, C., Winker, M., & von Muench, E. (2011). *Revisión Técnica de Humedales Artificiales de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas grises y aguas domésticas*. Eschborn.

Instituto Ecuatoriano de Normalizacion (INEN). (1992). *Codigo Ecuatoriano de la construcción C. E. C : Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes* (Primera ed.). Quito, Ecuador.

Jiménez Beltrán, D., de Lora, F., & Sette Ramalho, R. (2003). *Tratamiento de Aguas Residuales*. España: REVERTÉ, S. A.

- Lara Borrero, J. A. (Mayo de 1999). *Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales*. Barcelona, España.
- Lara Borrero, J. A., & Vera Puerto, I. L. (2005). *Implantación y evolución de un humedal artificial de flujo subsuperficial en Cogua, Cundinamarca, Colombia*. 47-93.
- Mena, J., Rodríguez, L., Núñez, J., & Villaseñor, J. (2008). *Depuración de aguas residuales con humedales artificiales: Ventajas de los sistemas híbridos*. Madrid, España.
- Menéndez Valderrey, J. L. (26 de Noviembre de 2005). *Phragmites australis (Cav.) Trin. ex Steudel*. Obtenido de Asturnatura.com: <http://www.asturnatura.com/especie/phragmites-australis.html>
- Metcalf, & Eddy. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización* (Tercera ed.). Madrid, España: McGraw-Hill.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Acuerdo Ministerial No. 097-A*. Quito, Ecuador: Lexis.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Acuerdo No. 061*. Quito.
- Ministerio del Ambiente del Perú. (2009). *Manual para Municipios Ecoeficientes*. Lima: ENOTRIA S. A.
- Monge Nájera, J., Gómez Figueroa, P., & Rivas Rissi, M. (2002). *Biología General*. San José, Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia.

Montoya, J. I., Ceballos, L., Casas, J. C., & Morato, J. (2010). Estudio Comparativo de la Remoción de Materia Orgánica en Humedales Cosntruidos de Flujo Horizontal Subsuperficial usando tres especies de Macrofitas. *Escuela de Ingeniería de Antioquia*, 75-84.

ONU-HABITAT. (2008). *Manual de Humedales Artificiales*. Nepal.

Quipuzco Ushñahua, L. (2002). Evaluación del comportamiento de dos pantanos artificiales instalados en serie con *Phragmites australis* para el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Revista del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 5(10), 52-57.

Ramos Olmos , R., Sepúlveda Marqués, R., & Villalobos Moreto, F. (2003). *El agua en el medio ambiente: muestreo y análisis*. México, D. F.: Plaza y Valdés.

Ramsar. (1971). *Ramsar*. Recuperado el julio de 2016, de <http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/info2007sp-01.pdf>

Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua. (2000). *Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas*. Buenos Aires.

Red Madrileña de Tratamientos Avanzados para Aguas Residuales. (16 de Mayo de 2013). *Humedales artificiales como sistemas naturales de depuración de aguas residuales*. Obtenido de <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2013/05/16/131891>

- Rico Galicia, A., Pérez Orta, R., & Castellanos Zoreda, M. (2008). *Química I. Agua y oxígeno*. México.
- Rodriguez Monroy, J., & Durán de Bazúa, C. (2006). Remoción de nitrógeno en un sistema de tratamiento de aguas residuales usando humedales artificiales de flujo vertical a escala de banco. *Tecnol. Ciencia Ed.*, 21(1), 25-33.
- Romero Aguilar, M., Colín Cruz, A., Sánchez Salinas, E., & Ortiz Hernández, L. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 25(3), 157-167. Recuperado el 14 de Marzo de 2016, de http://scielo.unam.mx/scielo.php?pid=S0188-49992009000300004&script=sci_arttext
- Romero Rojas, J. A. (2000). Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y principios de diseño. *Escuela Colombiana de Ingeniería*. Santa Fé de Bogotá, Colombia.
- Scavo, M., Rodríguez, O., & Luque, O. (s.f.). Estudio de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Complementario, con pasto Vetiver (*Vetiveria Zizanioides L.*), Provenientes de una Planta de Producción de Gaseosas, en la Villa de Cura, Estado Aragua. Aragua, Venezuela.
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (2010). *Uso Racional de los Humedales*. I, 4. Gland, Suiza.
- Universidad Nacional de Loja. (Agosto de 2013). Diagnostico Participativo de la comunidad de San Vicente de Caney, Parroquia Chicaña, Canton Yantzaza. Zamora, Zamora Chinchipe, Ecuador.

Vinueza Eztevez, J. S. (Abril de 2014). Diseño de un sistema de pantanos artificiales para el tratamiento de aguas negras y grises del campo base y area de mantenimiento El Coca de la empresa el TRIBOILGAS. Quito, Pichincha, Ecuador.

11 ANEXOS

Anexo 1: Entrevista.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA AGROPECUARIA DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES.

Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente.

Sede - Zamora

Entrevista.

La presente entrevista servirá para la recolección de información acerca de la vivienda, además la información recolectada contribuirá en el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales. Proyecto que es necesario ser ejecutado para alcanzar el título de Ingeniero en Manejo y Conservación del Medio Ambiente.

A continuación se presentan las preguntas, mismas que deberán ser respondidas con la seriedad del caso:


1. ¿Cuál es el nombre de la familia?
2. ¿Cuántas personas habitan la vivienda?
3. ¿Qué actividades realizan con mayor frecuencia, relacionado al consumo de agua?
4. ¿Cuál es la hora de mayor consumo de agua?
5. ¿Cuánto es el consumo mensual de agua?
6. ¿Qué tratamiento les da a las aguas residuales?

Anexo 4.

Matriz de monitoreo y control.

Fecha. Parámetros										Observaciones
Muerte de especies (Nro.)										
Presencia de plagas.										
Actividades de limpieza.										
Observaciones.										

Anexo 5: Resultado inicial de la DBO5 para el cálculo del diseño.



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN, ESTUDIOS
Y SERVICIOS DE AGUAS Y SUELOS**

CIESSA Cia. Ltda. **LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS Y SUELOS**

ONEA Test Lab

1. INFORMACIÓN GENERAL:

# DE ORDEN: CIESSA-ONEA Test Lab-64 - 16	REMITENTE: Sr. Byron Sarango G.
PROYECTO: "Diseño e Implementación de un Sistema de Humedales Artificiales para la Depuración de las Aguas Residuales, Procedentes de una Vivienda Ubicada en la Comunidad de San Vicente Perteneciente al Cantón Yantaza.	SOLICITANTE: Sr. Byron Sarango G.
	DIRECCIÓN: Yantaza
	TELEFAX: Móvil: 0988969053

2. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA:

FECHA DE MUESTREO: 13 - 04 - 2016	MUESTRA: Agua Residual.	CANTIDAD: 2000 ml
FECHA DE ANÁLISIS: 13 - 04 - 2016	CODIGO: MA: SV01	CANTON: Yantaza
FECHA DE REPORTE: 21 - 04 - 2016	PARROQUIA: Chicaña	BARRIO: San Vicente
FECHA DE ENTREGA: 23 - 04 - 2016	PROVINCIA: Zamora Chionchipe	

Límite Máximo Permissible de Descarga a un cuerpo de Agua dulce, según TULAS

3. ENSAYOS FÍSICOS - QUÍMICOS:

3.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	RESULTADOS	LÍMITE DESEABLE	LÍMITE MAX. PERMISIBLE	MÉTODO	NORMA
Aceites y Grasas	PELUCAVISIBLE	Presencia	-	0,3 mg/l	ETAS	M S P-TULAS
Materia Flotante	MATERIAVISIBLE	Ausencia	-	-	TULAS	TULAS
Sólidos Totales	mg/l	1 393	-	1 600	AOAC 920.193	TULAS
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	1 000	-	1000	AOAC 920.193	-TULAS
Sólidos Disueltos Fijos	mg/l	60	-	-	AOAC 920.193	-
Sólidos Disueltos Volátiles	mg/l	940	-	-	AOAC 920.193	-
Sólidos Suspendidos	mg/l	390	-	100	AOAC 920.193	TULAS
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	80	-	-	AOAC 920.193	-
Sólidos Susp. Volátiles	mg/l	310	-	-	AOAC 920.193	-
Sólidos Sedimentables	ml/l	2,0	-	1,0	IMHOFF	M S P-TULAS

3.2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS:


PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	RESULTADOS	LÍMITE DESEABLE	LÍMITE MAX. PERMISIBLE	MÉTODO	NORMA
Fósforo Total	mg/l	9,90	-	10	ÁCIDO ASCÓRBICO	TULAS
Nitrógeno Orgánico	mg/l	13,9	-	-	NESSLER	-
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	8,60	-	-	TUBIDIMETRO	-
D B O ₅	mg/l	130	-	100	AOAC 973 - 44	TULAS
D Q O	mg/l	98	-	250	AOAC973 - 46	TULAS
Coliformes Fecales	NMP/100ml	3.0+03	= Remoción	> al 99,9% **	INEN 1 529-8	=TULAS

Nota:

- =TULAS Aquellos regulados con descargas de Coliformes Fecales menores o iguales a 3000 quedan exentos de tratamiento, contempla sobre el criterio de calidad en descarga a un cuerpo de agua dulce.
- INEN, OMS, USPHS e IEOS Según Normas de Límite Máx. Permissible para Agua Potable de Consumo Humano.
- Todos los resultados con el signo " - " no contempla fuente alguna sobre criterios de calidad Admisible.

NOMENCLATURA REFERENCIAL DE TERMINOLOGÍA:

- mg/l y ml/l (Miligramos por litro y Mililitros por litro) / - D B O₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días)
- N.M.P (Número más probable de bacterias por 100 mililitros) / - DQO (Demanda Química de Oxígeno)



RUC. 1191731766001

Edgar A. Ojeda Noriega, INGENIERO

ONEA Test Lab

HIDRO SANITARIO

Mg. Sc. Edgar S. Ojeda Riascos, BQF.

ONEA Test Lab

MICROBIOLOGIA

Av. Manuel Agustín Aguirre # 11-13 y Azuay, Esquina // La Prodera: Códros # 25-25 entre Alisos y Laureles// Teléfonos: 072-589913
072-102 707-584 594/Telefax:072-589 913/102 707/Celular:091549877 / E. mail: ciessa1@hotmail.com // Loja-Ecuador

Anexo 6: Resultados del análisis de laboratorio, sin tratamiento.



REPORTE DE ANÁLISIS

Cliente: Ing. Byron Rodrigo Sarango González
Jorge Mosquera y 12 de Febrero
Telf: 0988969053

Atn: Ing. Byron Rodrigo Sarango González

Proyecto: Análisis de Agua

Muestra Recibida: 15-ago-16

Tipo de Muestra: 1 Muestra de Agua

Análisis Completado: 24-ago-16

Número reporte Gruentec: 1608197-AG001

Rotulación Muestra:	SV01	Límite Máximo Permisible Tabla 2. Agua dulce Anexo 1, Acuerdo Ministerial 097-A, TULSMA b)	Método Adaptado de Referencia / Método Interno
Fecha de Muestreo:	15-ago-16		
No. Reporte Gruentec:	1608197-AG001		
Físico Químico:			
Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$ ^(1,2)	558	N/A	EPA 9050 A / MM-AG/S-02
Sólidos Suspendedos Totales mg/L ^(1,2)	720	max incremento de 10% de la condición natural	SM 2540 D / MM-AG-05
Aniones y No Metales:			
Amonio mg/L ^(1,2)	1,3	N/A	SM 4500 Norg / MM-AG-15
Amonio expresado como Nitrógeno mg/L ^(1,2)	1,0	N/A	SM 4500 Norg / MM-AG-15
Sulfato mg/L ^(1,2)	1,4	N/A	EPA 300.1 / MM-AG-37
Parámetros Orgánicos:			
Aceites y Grasas mg/L ^(1,2)	27	0,3	EPA 1664 / MM-AG/S-32
Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/L ^(1,2)	574	20	SM 5210 B, D / MM-AG-19
Demanda Química de Oxígeno mg/L ^(1,2)	1700 ^{a)}	40	SM 5220 D / MM-AG-18
Parámetros Microbiológicos:			
Coliformes Fecales NMP/100 mL ^(1,2)	>110000	N/A	SM 9223 A, B / MM-AG/S-20
Coliformes Totales NMP/100 mL ^(1,2)	>110000	N/A	SM 9223 A, B / MM-AG/S-20

Registros y Acreditaciones:

⁽¹⁾ Acreditación No. OAE LE 2C 05-008

⁽²⁾ Registro SA / MDMQ No. LEA-R-005

Los ensayos marcados con (*) no están dentro del alcance de acreditación del SAE

N/A - No Aplica

a) La muestra presenta olor a materia orgánica y sólidos color café.

b) Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y estuarios.

INCERTIDUMBRE (U):

Demanda Bioquímica de Oxígeno = 0.29; Conductividad en agua = 0.11; Amonio = 0.12;

Demanda Química de Oxígeno = 0.22; Aceites y Grasas en Aguas = 0.29; Sólidos Suspendedos Totales = 0.12;

Aniones = 0.25

Cálculo: C +/- UxC en donde: C=valor medido; U= incertidumbre.

Ing. Isabel Estrella

Gerente de Operaciones

Nota 1: Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este reporte en forma exclusiva y confidencial.

Nota 2: La toma de muestras fue realizada directamente por el cliente.

Nota 3: El cliente puede solicitar la fecha de análisis de los parámetros en caso de requerirlo.

Página 1 de 1

Anexo 7: Resultado del análisis de laboratorio, con tratamiento.



Acreditación N° OAE LE 2C 05-008
LABORATORIO DE ENSAYOS

REPORTE DE ANÁLISIS

Cliente: Ing. Byron Rodrigo Sarango González
Jorge Mosquera y 12 de Febrero
Telf: 0988969053

Atn: Ing. Byron Rodrigo Sarango González

Proyecto: Análisis de Agua

Muestra Recibida: 15-ago-16

Tipo de Muestra: 1 Muestra de Agua

Análisis Completado: 24-ago-16

Número reporte Gruentec: 1608197-AG002

Rotulación Muestra:	SV02	Límite Máximo Permisible Tabla 2. Agua dulce Anexo 1, Acuerdo Ministerial 097-A, TULSMA b)	Método Adaptado de Referencia / Método Interno
Fecha de Muestreo:	15-ago-16		
No. Reporte Grúntec:	1608197-AG002		
Físico Químico:			
Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$ ^(1,2)	943	N/A	EPA 9050 A / MM-AG/S-02
Sólidos Suspendedos Totales mg/L ^(1,2)	72	max incremento de 10% de la condición natural	SM 2540 D / MM-AG-05
Aniones y No Metales:			
Amonio mg/L ^(1,2)	1.7	N/A	SM 4500 Norg / MM-AG-15
Amonio expresado como Nitrógeno mg/L ^(1,2)	1.3	N/A	SM 4500 Norg / MM-AG-15
Sulfato mg/L ^(1,2)	0.51 ^{a)}	N/A	EPA 300.1 / MM-AG-37
Parámetros Orgánicos:			
Aceites y Grasas mg/L ^(1,2)	3.6	0.3	EPA 1664 / MM-AG/S-32
Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/L ^(1,2)	133	20	SM 5210 B,D / MM-AG-19
Demanda Química de Oxígeno mg/L ^(1,2)	170	40	SM 5220 D / MM-AG-18
Parámetros Microbiológicos:			
Coliformes Fecales NMP/100 mL ^(1,2)	>110000	N/A	SM 9223 A,B / MM-AG/S-20
Coliformes Totales NMP/100 mL ^(1,2)	>110000	N/A	SM 9223 A,B / MM-AG/S-20

Registros y Acreditaciones:

⁽¹⁾ Acreditación No. OAE LE 2C 05-008

⁽²⁾ Registro SA / MDMQ No. LEA-R-005

Los ensayos marcados con (*) no están dentro del alcance de acreditación del SAE

N/A - No Aplica

a) Debido a la naturaleza de la muestra se realiza dilución 2x.

b) Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y estuarios.

INCERTIDUMBRE (U):

Demanda Bioquímica de Oxígeno = 0.29; Conductividad en agua = 0.11; Amonio = 0.12;

Demanda Química de Oxígeno = 0.22; Aceites y Grasas en Aguas = 0.29; Sólidos Suspendedos Totales = 0.12;

Aniones = 0.25

Cálculo: C +/- UxC en donde: C=valor medido; U= incertidumbre.

Ing. Isabel Estrella

Gerente de Operaciones

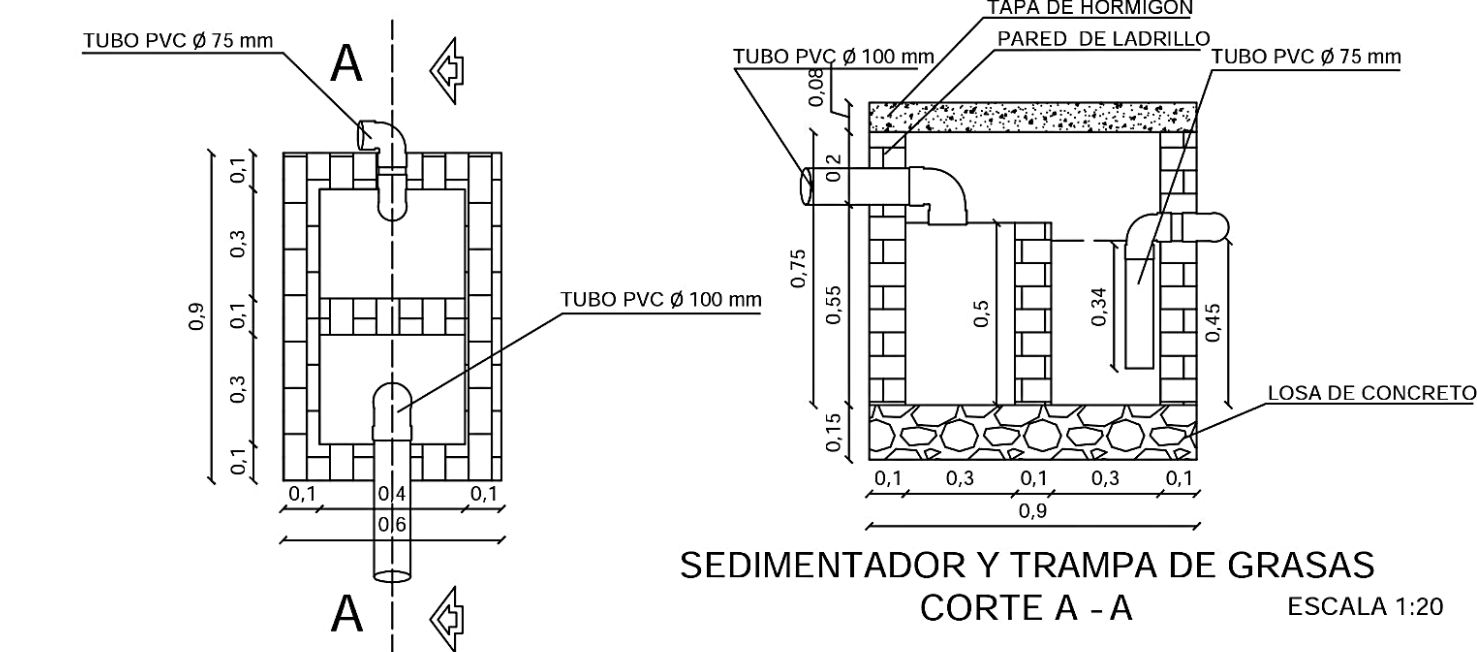
Nota 1: Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este reporte en forma exclusiva y confidencial.

Nota 2: La toma de muestras fue realizada directamente por el cliente.

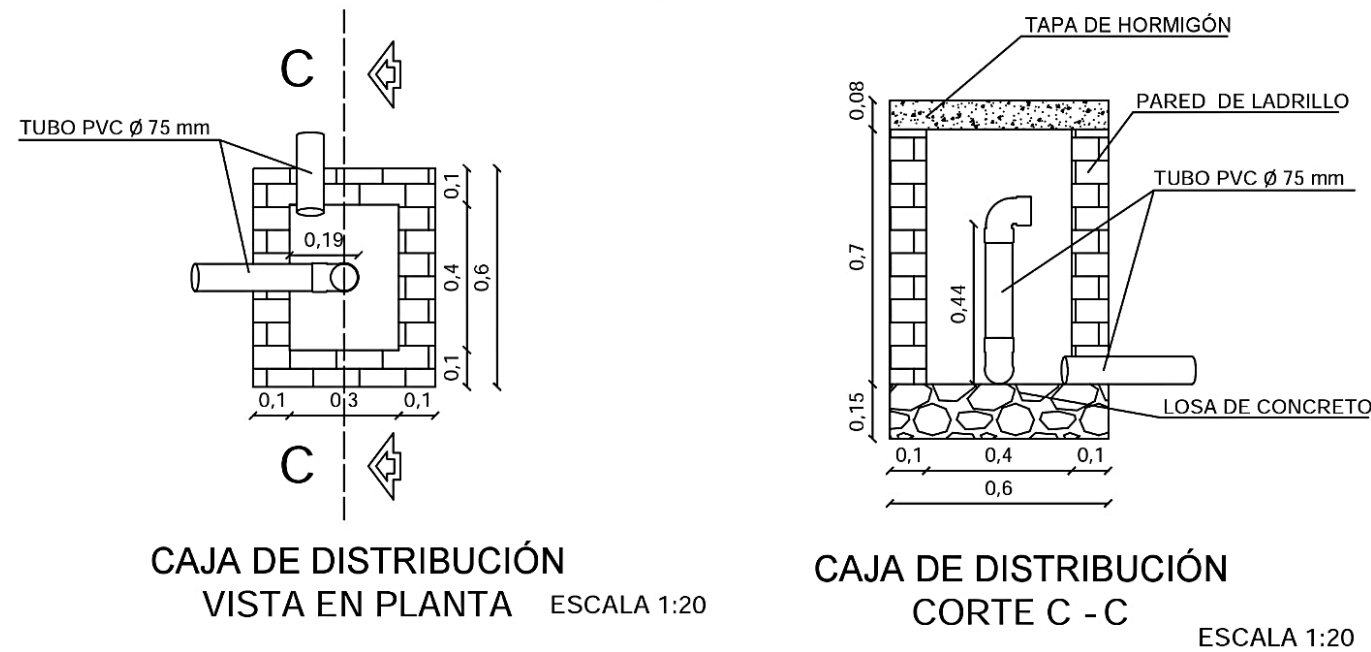
Nota 3: El cliente puede solicitar la fecha de análisis de los parámetros en caso de requerirlo.

Página 1 de 1

Anexo 8: Planos del humedal.

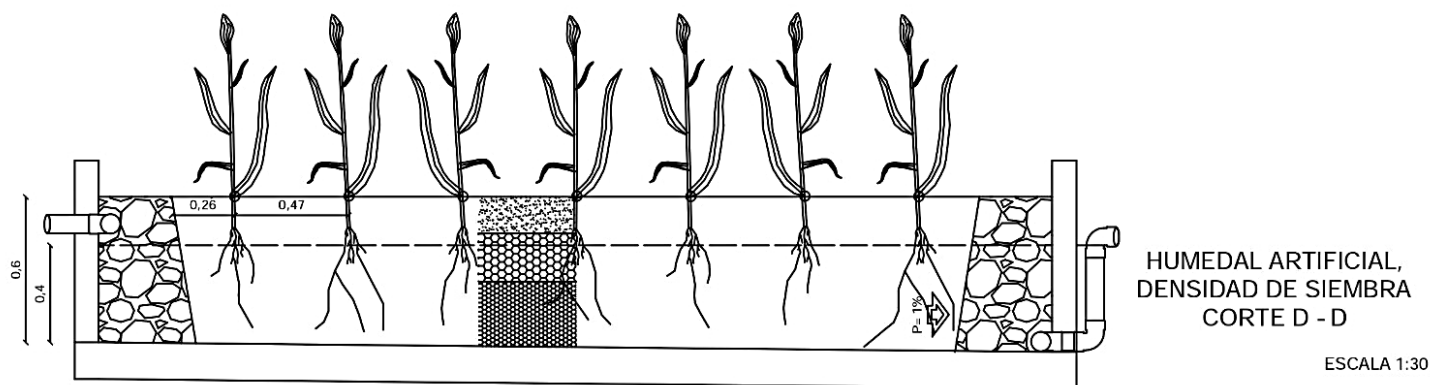
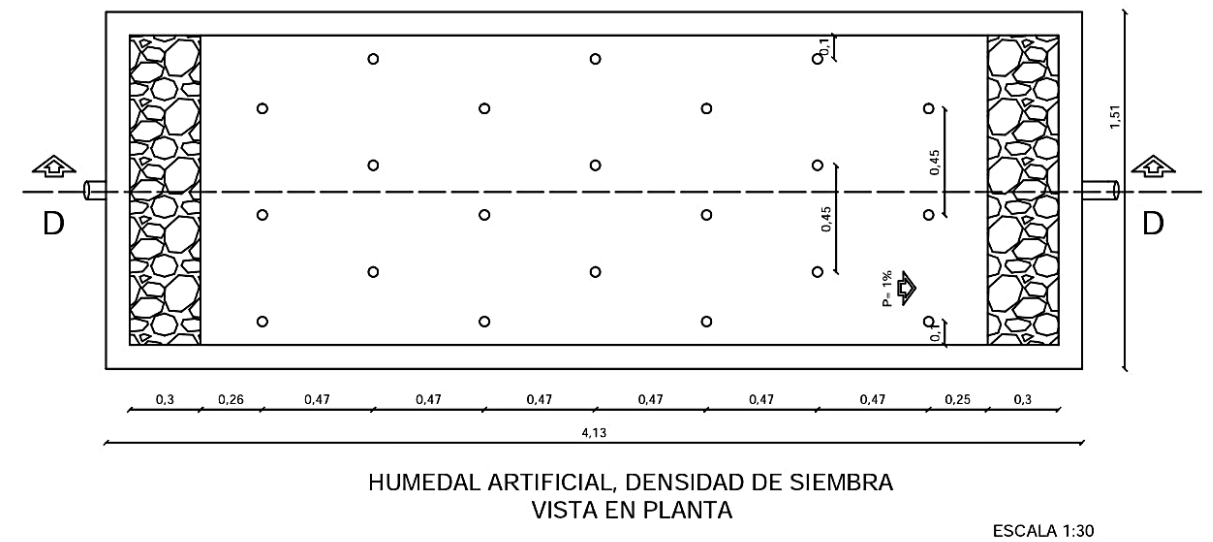
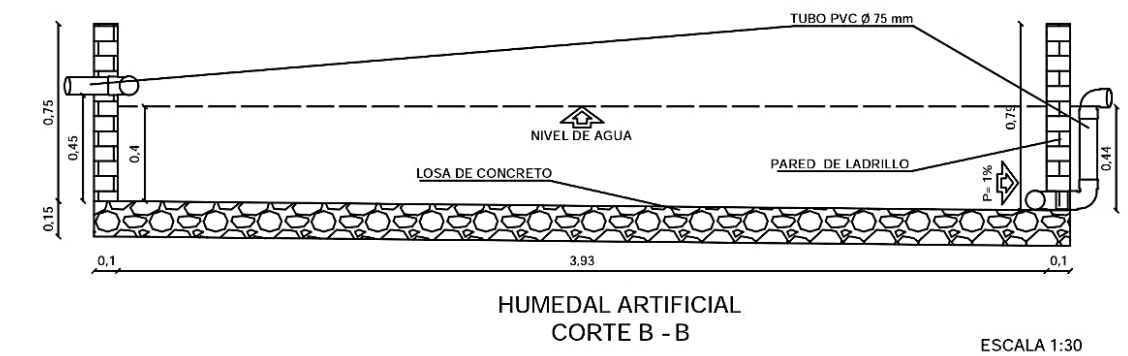
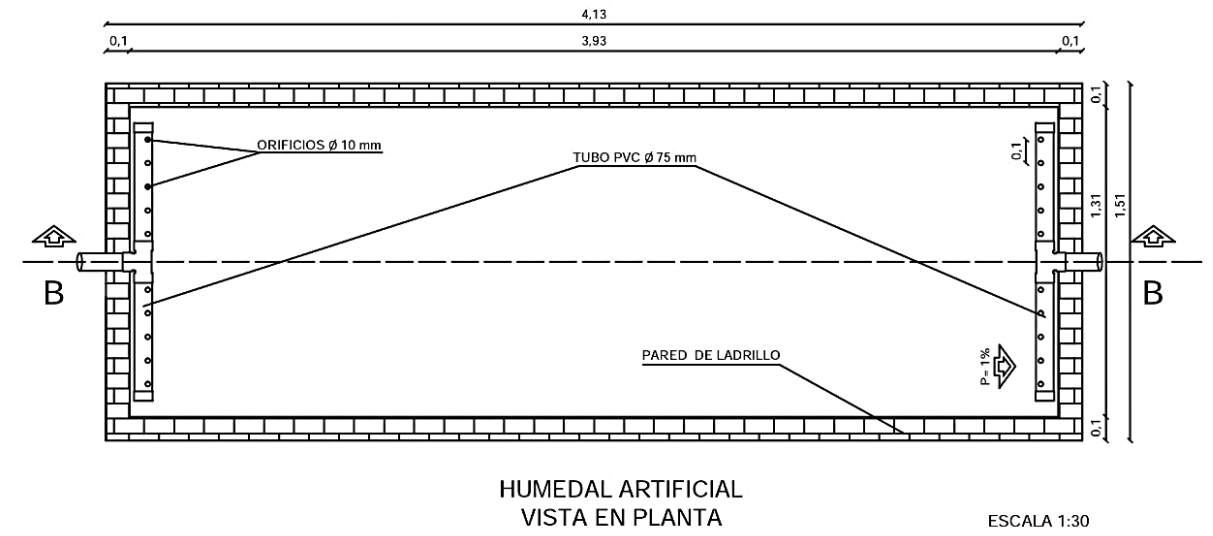



SEDIMENTADOR Y TRAMPA DE GRASAS
VISTA EN PLANTA ESCALA 1:20



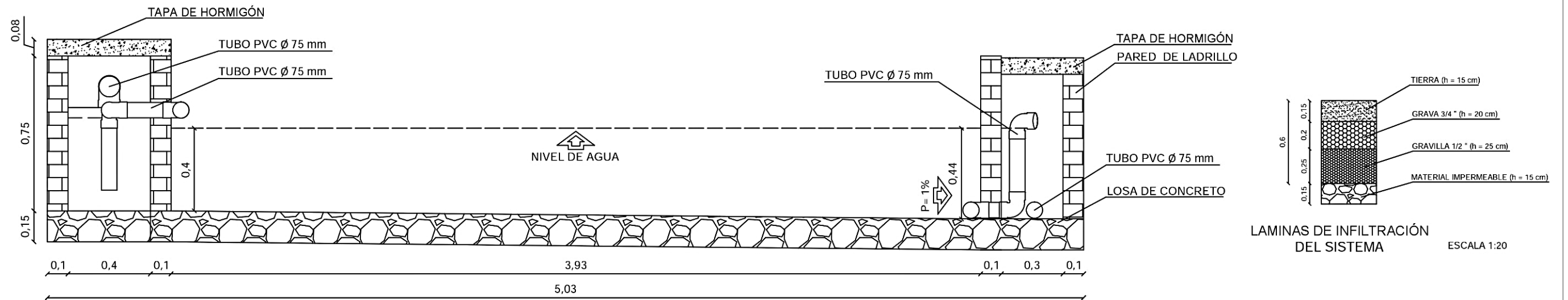
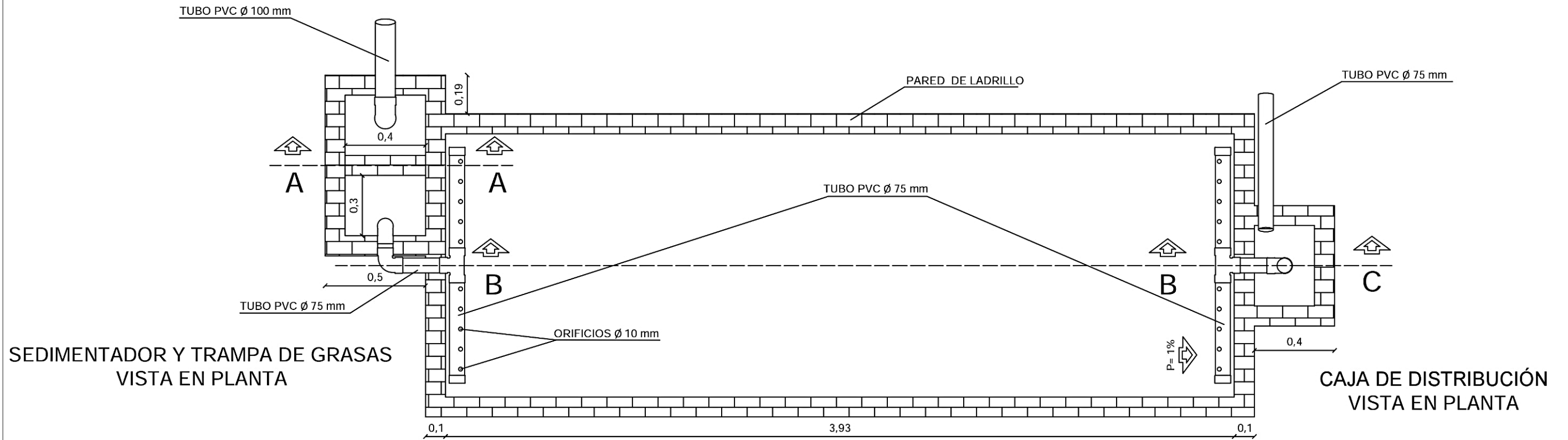
CAJA DE DISTRIBUCIÓN
VISTA EN PLANTA ESCALA 1:20


CAJA DE DISTRIBUCIÓN
CORTE C - C ESCALA 1:20



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA		
PROYECTO:	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES.	FECHA: 22/04/2016
UNL	CONTENIDO: SEDIMENTADOR Y TRAMPA DE GRASAS, HUMEDAL, CAJA DISTRIBUCIÓN, DENSIDAD DE SIEMBRA: PLANTA, CORTES Y DETALLE.	ESCALA: VER FIG.
	ELABORACIÓN: Byron Rodrigo Sarango González.	LAMINA: 1 / 2

Anexo 9: Plano del Humedal.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA		
PROYECTO: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES.		FECHA: 22/04/2016
	CONTENIDO: SISTEMA DE HUMEDALES ARTIFICIALES: PLANTA, CORTES Y DETALLE.	ESCALA: 1:20
	ELABORACIÓN: Byron Rodrigo Sarango González.	LAMINA: 2 / 2

INDICE GENERAL

Índice de contenido

PORTADA	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA.....	iii
CARTA DE AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
1 TITULO	1
2 RESUMEN	2
2.1 SUMMARY	3
3 INTRODUCCIÓN	4
4 REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
4.1 El agua, fuente indispensable para la vida	6
4.1.1 Distribución del agua en el planeta.	6
4.1.2 Usos del agua.	7
4.2 Contaminación del agua.....	7
4.2.1 Aguas residuales.....	8
4.2.1.1 Definición.....	8
4.2.1.2 Clasificación de las aguas residuales.....	8
4.2.1.2.1 Agua residual industrial.	8
4.2.1.2.2 Agua residual agrícola.....	8
4.2.1.2.3 Agua residual pluvial.	9
4.2.1.2.4 Agua residual doméstica.	9
4.2.2 Características de las aguas residuales domésticas.....	9

4.2.2.1	Características físicas.	9
4.2.2.1.1	Sólidos totales.	9
4.2.2.1.2	Olor.....	10
4.2.2.1.3	Temperatura.....	10
4.2.2.1.4	Densidad.....	10
4.2.2.1.5	Color.....	11
4.2.2.1.6	Turbiedad.....	11
4.2.2.2	Características químicas.	11
4.2.2.2.1	Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO5).....	11
4.2.2.2.2	Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	12
4.2.2.2.3	Grasas y Aceites.	12
4.2.2.2.4	Agentes Tensoactivas.	12
4.2.2.2.5	Oxígeno disuelto.....	12
4.2.2.2.6	pH.....	13
4.2.2.2.7	Cloruros.....	13
4.2.2.2.8	Alcalinidad.	13
4.2.2.2.9	Nitrógeno.....	13
4.2.2.2.10	Fosforo.....	14
4.2.2.2.11	Metales pesados.	14
4.2.2.3	Características microbiológicas.	14
4.2.2.3.1	Bacterias.....	15
4.2.2.3.2	Parásitos.....	15
4.2.2.3.3	Virus.....	16
4.2.3	Tratamiento de las aguas residuales.....	16
4.2.4	Etapas del tratamiento de aguas residuales.....	17

4.2.4.1	Pre tratamiento.....	17
4.2.4.2	Tratamiento primario.....	17
4.2.4.3	Tratamiento secundario.....	17
4.2.4.4	Tratamiento terciario.....	18
4.3	Los humedales.....	18
4.3.1	Humedales artificiales, una forma de tratar aguas residuales.....	19
4.3.2	Clasificación de humedales artificiales.....	19
4.3.2.1	Humedales de flujo superficial (SFS).....	20
4.3.2.2	Humedales de flujo subsuperficial (SFSS).....	20
4.3.2.2.1	Humedales subsuperficiales de flujo vertical (SFSSV).....	21
4.3.2.2.2	Humedales subsuperficiales de flujo horizontal (SFSSH).....	21
4.3.3	Elementos de los humedales artificiales.....	23
4.3.3.1	Agua.....	23
4.3.3.2	Sustrato.....	23
4.3.3.3	Vegetación.....	24
4.3.3.4	Microorganismos.....	24
4.3.4	Especies utilizadas en humedales artificiales.....	24
4.3.4.1	Phragmites australis (Cav.) Trin. ex Steud.....	25
4.3.4.1.1	Descripción.....	25
4.3.4.1.2	Taxonomía.....	26
4.3.4.1.3	Distribución y hábitat.....	26
4.3.4.1.4	Reproducción.....	26
4.4	Otras investigaciones realizadas en la temática.....	27
4.5	Marco legal referente al tema de estudio.....	28
4.5.1	Constitución de la República del Ecuador.....	29

4.5.2	Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamientos del Agua.....	29
4.5.3	Acuerdo Ministerial 061.....	31
4.5.4	Acuerdo Ministerial 097-A.	31
4.5.4.1	Límites de descarga a cuerpos de agua dulce.	31
5	MATERIALES Y METODOS.....	33
5.1	Materiales y equipos.....	33
5.2	Información referente al área de estudio.....	34
5.2.1	Ubicación política y geográfica del proyecto.	34
5.2.2	Clima.....	36
5.2.3	Hidrografía.....	36
5.2.4	Tipo de Suelos.	36
5.3	Tipo de investigación.....	36
5.4	Metodología para el primer objetivo específico. “Determinar el nivel de contaminación en las aguas residuales domiciliarias procedentes de una vivienda ubicada en la comunidad de San Vicente”	37
5.4.1	Recolección de información.	37
5.4.1.1	Entrevista.	37
5.4.2	Caracterización física, química y microbiológica de las aguas residuales procedentes de la vivienda, mediante análisis de laboratorio.	38
5.4.2.1	Parámetros analizados.....	38
5.4.2.2	Selección del lugar de muestreo.	38
5.4.2.3	Tipo de recipientes utilizados.	38
5.4.2.4	Tipo de muestra.	39
5.4.2.5	Número y cantidad de muestras a tomar.....	39

5.4.2.6	Toma de la muestra.....	40
5.4.2.6.1	Parámetros a analizar in situ.	40
5.4.2.7	Etiquetado de las muestras.	42
5.4.2.8	Envío al laboratorio.....	42
5.4.2.9	Análisis de resultados.....	43
5.5	Metodología para el segundo objetivo específico. “Diseñar e Implementar el sistema de Humedales Artificiales para la depuración de las aguas residuales domésticas en una vivienda ubicada en la comunidad de San Vicente”.	43
5.5.1	Diseño del sistema de humedales artificiales.....	44
5.5.1.1	Periodo de diseño.	44
5.5.1.2	Población de diseño	44
5.5.1.2.1	Población actual	44
5.5.1.2.2	Tasa de crecimiento	44
5.5.1.2.3	Determinación de la población futura.	45
5.5.1.3	Estimación del caudal de diseño.	45
5.5.1.3.1	Dotación de agua	45
5.5.1.3.2	Caudal de diseño.....	46
5.5.1.4	La constante de reacción de primer orden.	46
5.5.1.5	Calculo del área superficial.	46
5.5.1.5.1	Profundidad del humedal.....	46
5.5.1.5.2	Coeficiente de porosidad.....	47
5.5.1.5.3	Área superficial requerida.....	47
5.5.1.6	Tiempo de retención hidráulica.	48
5.5.1.7	Calculo de las dimensiones del humedal artificial.	48
5.5.1.7.1	Calculo del ancho del humedal.	48

5.5.1.7.2	Calculo del largo del humedal	49
5.5.1.8	Relación Largo: ancho de 3:1	49
5.5.1.9	Diseño del pretratamiento y tratamiento primario.....	50
5.5.2	Construcción del sistema de humedales artificiales.....	50
5.5.2.1	Selección del lugar.....	50
5.5.2.2	Retiro de material.....	51
5.5.2.3	Impermeabilización.....	51
5.5.2.4	Construcción de las paredes	51
5.5.2.5	Colocación de los sistemas de entrada y salida del agua residual.....	51
5.5.2.6	Colocación de las capas filtrantes	52
5.5.2.7	Obtención de las plantas (Carrizo)	52
5.5.2.8	Implementación de la vegetación.....	53
5.6	Metodología para el tercer objetivo específico. “Determinar el porcentaje de descontaminación de las aguas residuales domesticas al pasar por el sistema de Humedales Artificiales”.....	53
5.6.1	Operaciones de mantenimiento y monitoreo de la adaptabilidad de los individuos.....	53
5.6.2	Toma de la muestra.....	54
5.6.3	Determinar el porcentaje de descontaminación.....	54
6	RESULTADOS.....	55
6.1	Resultados para el primer objetivo específico “Determinar el nivel de contaminación en las aguas residuales domiciliarias procedentes de una vivienda ubicada en la comunidad de San Vicente”	55
6.1.1	Recolección de información.....	55
6.1.1.1	Entrevista.....	55

6.1.2	Resultado de la caracterización física, química y microbiológica del agua residual procedente de la vivienda.	55
6.1.2.1	Parámetros analizados in situ.	55
6.1.2.1.1	Caudal.....	55
6.1.2.1.2	pH y Temperatura.....	56
6.1.2.2	Resultados de los parámetros analizados ex situ.	57
6.2	Resultados para el segundo objetivo específico. “Diseñar e Implementar el sistema de Humedales Artificiales para la depuración de las aguas residuales domésticas en una vivienda ubicada en la comunidad de San Vicente”.	59
6.2.1	Cálculos necesarios para el diseño del sistema de humedales artificiales.....	60
6.2.1.1	Aspectos que se consideraron para los cálculos del diseño del humedal.....	60
6.2.1.2	Calculo de la población de diseño.....	60
6.2.1.3	Estimación del caudal de diseño.	61
6.2.1.3.1	Cálculo de la dotación de agua.	61
6.2.1.3.2	Cálculo del caudal de diseño.....	62
6.2.1.4	Constante de reacción de primer orden.	62
6.2.1.5	Calculo del área superficial.	63
6.2.1.5.1	Área superficial requerida.....	63
6.2.1.6	Tiempo de retención hidráulica.	63
6.2.1.7	Cálculo de las dimensiones del humedal artificial.	64
6.2.1.7.1	Cálculo del ancho del humedal	64
6.2.1.7.2	Calculo del largo del humedal.	65

6.2.1.7.3	Calculo de las dimensiones del humedal con la relación largo-ancho de 3 a 1.....	66
6.2.1.8	Diseño del humedal artificial.....	67
6.2.1.9	Diseño del pretratamiento y tratamiento primario.....	69
6.2.1.10	Diseño de la caja de distribución.....	70
6.2.2	Construcción del sistema de humedales artificiales.....	72
6.2.2.1	Impermeabilización del área de construcción del sistema.....	72
6.2.2.2	Construcción de paredes de las distintas cajas.....	73
6.2.2.3	Colocación del sistema de entrada y salida del agua residual.....	74
6.2.2.4	Colocación de las capas filtrantes en el humedal.....	75
6.2.2.5	Implementación de la vegetación en el humedal.....	76
6.3	Resultados para el tercer objetivo específico. “Determinar el porcentaje de descontaminación de las aguas residuales domesticas al pasar por el sistema de Humedales Artificiales”.....	77
6.3.1	Operaciones de mantenimiento y monitoreo de la adaptabilidad de los individuos.....	77
6.3.2	Toma de la muestra para el análisis final.....	78
6.3.3	Determinar el porcentaje de descontaminación.....	80
6.3.4	Análisis de costo del humedal implementado.....	83
7	DISCUSIONES.....	85
7.1	Determinar el nivel de contaminación en las aguas residuales domiciliarias procedentes de una vivienda ubicada en la comunidad de San Vicente.....	85
7.2	Diseñar e Implementar el sistema de Humedales Artificiales para la depuración de las aguas residuales domésticas en una vivienda ubicada en la comunidad de San Vicente.....	86

7.3	Determinar el porcentaje de descontaminación de las aguas residuales domesticas al pasar por el sistema de Humedales Artificiales	87
8	CONCLUSIÓN	91
9	RECOMENDACIONES	93
10	BIBLIOGRAFÍA	94
11	ANEXOS	100

Índice de Tablas

Tabla 1:	Límites de descarga a cuerpos de agua dulce, parámetros de las descargas de aguas residuales domesticas de centros poblados.....	32
----------	--	----

Índice de Cuadros

Cuadro 1:	Resultados de la medición del caudal del agua residual doméstica. ...	56
Cuadro 2:	Resultado de la medición del pH y temperatura del agua residual doméstica.....	56
Cuadro 3:	Resultados de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos antes del tratamiento.....	57
Cuadro 4:	Aspectos considerados para los cálculos de las dimensiones del humedal.....	60
Cuadro 5:	Resultados de los cálculos de la relación largo-ancho.	65
Cuadro 6:	Resultado de las dimensiones calculadas para el diseño del humedal.	67
Cuadro 7:	Dimensiones para el diseño del sedimentador y trampa de grasas. ...	69
Cuadro 8:	Dimensiones para el diseño de la caja de distribución.	70
Cuadro 9:	Resultado del análisis de agua residual tratada.	78
Cuadro 10:	Costo del humedal.....	83

Índice de Figuras

Figura 1: Humedal Artificial de flujo superficial.....	20
Figura 2: Sistema de Flujo subsuperficial vertical.	21
Figura 3: Sistema de flujo subsuperficial horizontal.	22
Figura 4: Resultado del análisis de agua residual antes del tratamiento.....	59
Figura 5: Humedal artificial vista en planta.....	67
Figura 6: Humedal artificial, corte B – B.	68
Figura 7: Detalle de las capas filtrantes del humedal.	68
Figura 8: Sedimentador y Trampa de grasas vista en planta.	69
Figura 9: Sedimentador y Trampa de grasas corte A – A.	70
Figura 10: Caja de distribución, vista en planta.....	71
Figura 11: Caja de distribución, corte C-C.....	71
Figura 12: Distancias entre las plantas sembradas en el humedal.	76
Figura 13: Distancia de siembra, corte transversal.	77
Figura 14: Resultado del agua residual tratada.....	79
Figura 15: Resultado del porcentaje de remoción.....	82

Índice de Fotografías

Foto 1: Especie <i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud	25
Foto 2: Recipientes empleados para la recolección de las muestras.....	39
Foto 3: Medición del caudal y toma de la muestra.	42
Foto 4: Etiquetado y almacenado de la muestra.	43
Foto 5: Impermeabilización del área.	72
Foto 6: Construcción de paredes de las distintas cajas.	73
Foto 7: Colocación del sistema de entrada y salida del agua residual.....	74

Foto 8: Colocación de las capas filtrantes.....	75
Foto 9: Implementación de la vegetación en el humedal.	76

Índice de Mapas

Mapa 1: Ubicación geográfica del proyecto	35
---	----