

# UCUENCA

## Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Carrera de Ingeniería Agronómica

### Implementación de un jardín filtrante para el control de la escorrentía superficial en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cuenca

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo

#### **Autores:**


Fausto Geovanny Arévalo Rivas

Steven Octavio Sobrevilla Quito

Bayron Patricio Suquinagua Sanango

#### **Director:**

Jorge Alejandro García Zumalacarregui

ORCID:  0000-0002-0130-1230

**Cuenca, Ecuador**

2023-03-29

## Resumen

El proyecto buscó la construcción de un humedal de flujo subsuperficial horizontal que actúe como un jardín filtrante capaz de cumplir las funciones ecológicas esperadas y embellecer el espacio desaprovechado. Se describen los aspectos para su construcción y arranque operativo, tiene como fin la cosecha de las aguas de escorrentía, el tratamiento y la reutilización de las mismas, ubicado en los predios de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, pretende renovar el área y darle un valor paisajístico a la zona. El sistema ocupa una superficie de 30 m<sup>2</sup> en la parte posterior de la cancha. Para la construcción del proyecto se procedió como primera etapa la caracterización del espacio, actividad que permitió plantear la propuesta y construir una infraestructura de bajo mantenimiento y costo. Posterior a la implementación del área del sistema de tratamiento se utilizó un medio de soporte constituido por grava, para la impermeabilización de sistema se colocó geomembrana de 750 micras. El sistema cuenta con pozo de sedimentación en la zona de alimentación para evitar el ingreso de agentes sólidos al interior del humedal. En el efluente se instaló un sifón para regular el nivel de agua dentro del sistema. El agua con la que se alimenta al sistema proviene de un canal de aguas de escorrentía, corriente que puede tener alguna instrucción de aguas residuales, además de constituir un sistema de alimentación completamente intermitente o discontinuo. Se considera importante el hecho que como resultado del trabajo se obtuvo un jardín filtrante de aspecto conservador.

*Palabras clave:* humedal horizontal de flujo subsuperficial, jardín filtrante, soluciones naturales de tratamiento, humedales construidos, tratamiento de escorrentía superficial

### Abstract

The project sought the construction of a horizontal subsurface flow wetland that acts as a filtering garden capable of fulfilling the expected ecological functions and beautifying the wasted space. The aspects for its construction and operational start-up are described; its purpose is the harvesting of runoff water, its treatment and reuse, located on the premises of the Faculty of Agricultural Sciences, it is intended to renew the area and give a landscape value to the area. The system occupies an area of 30 m<sup>2</sup> at the back of the field. The first step in the construction of the project was the characterization of the space, an activity that allowed the proposal and the construction of a low-maintenance and low-cost infrastructure. Subsequent to the implementation of the treatment system area, a gravel support medium was used and a 750-micron geomembrane was used to waterproof the system. The system has a sedimentation well in the feed zone to prevent the entry of solid agents into the wetland. A siphon was installed in the effluent to regulate the water level in the system. The water fed to the system comes from a runoff water channel, a stream that may have some wastewater instruction, in addition to being a completely intermittent or discontinuous feeding system. It is considered important the fact that as a result of the work a conservative looking filter garden was obtained.

*Keywords:* horizontal subsurface flow wetland, filter garden, natural treatment solutions, constructed wetlands, surface runoff treatment

**Índice de contenido**

Introducción .....	12
Funcionamiento.....	12
Tipos de humedales artificiales .....	13
Beneficios y limitaciones de uso de Bio-retenciones .....	15
Medio filtrante o medio de soporte.....	16
Descripción del problema.....	18
1. Objetivos.....	19
Objetivo General .....	19
Objetivos Específicos .....	19
2. Fundamentación .....	19
Fundamentación social .....	19
3. Diseño del proyecto .....	20
3.1. Metodología del proyecto.....	20
3.1.1. Metodología para el cumplimiento del objetivo específico 1 .....	20
Diseño del humedal artificial subsuperficial .....	21
El sitio asignado para la implementación del jardín filtrante .....	22
3.1.2. Metodología para el cumplimiento del objetivo específico 2 .....	23
Delimitación y adecuación del área .....	23
Construcción de infraestructura externa .....	24
Construcción de infraestructura interna .....	25
3.1.3. Metodología para el cumplimiento del objetivo específico 3 .....	27
Presupuesto de materiales .....	28
4. Resultados.....	30
4.1. Resultados del objetivo específico 1 .....	30
4.2. Resultados del objetivo específico 2 .....	30
4.3. Resultados del objetivo específico 3 .....	31
Conclusiones .....	33

Recomendaciones .....	34
Referencias .....	35
Anexos.....	37

**Índice de figuras**

Figura 1. Esquema de un humedal artificial de flujo superficial.....	13
Figura 2. Esquema de un humedal subsuperficial de flujo horizontal.....	14
Figura 3. Esquema de un humedal subsuperficial de flujo vertical.....	15
Figura 4. Diseño del humedal artificial (perfil).....	21
Figura 5. Diseño del humedal artificial (superior).....	22
Figura 6. Vista del humedal artificial (superior).....	22
Figura 7. Delimitación y adecuación del área.....	23
Figura 8. Retiro de sedimentos: A) excavación. B) Nivelación del área.....	24
Figura 9. Construcción de infraestructura externa.....	25
Figura 10. Construcción de infraestructura interna.....	26
Figura 11. A) Prueba de flujo. B) incorporación del componente vegetal.....	28
Figura 12. Jardín filtrante o humedad subsuperficial.....	30
Figura 13. Comparativa de la zona de intervención.....	31
Figura 14. Perspectiva del espacio.....	32

## Índice de tablas

Tabla 1. Propiedades típicas para diferentes medios de soporte.....	17
Tabla 2. Componente vegetal.....	27
Tabla 3. Presupuesto empleado para el proyecto.....	29

## Dedicatorias

Dedico con todo mi corazón este proyecto a mi madre, mis hermanos, también dedico a mi pequeña hija Ma. Elisa quién ha sido mi mayor motivación para nunca rendirme en los estudios y poder llegar a ser un ejemplo para ella, todos ellos han sido un pilar fundamental en mi formación académica y personal.

**Fausto Arévalo Rivas.**



Este proyecto se lo dedico a mis padres y a toda mi familia, ya que de no ser por ellos no hubiera encontrado la motivación de seguir avanzando hasta cumplir mis metas.

**Steven Sobrevilla Quito.**

Dedico este este proyecto a Dios por darme la sabiduría y el apoyo constante de mi linda familia, primordialmente mis padres Luis y María quienes confiaron en mí y junto a su apoyo incondicional llegue a forjar mi carrera, así mismo a mis hermanos quienes me brindaron ánimos para no dejarme rendir en mi trayectoria.

**Bayron Suquinagua Sanango.**

## Agradecimientos

Mi agradecimiento se dirige a Dios quién ha forjado mi camino, gracias por brindarme la vida y sabiduría para poder emprender este camino y llegar a cumplir mis sueños y mis metas. A mi familia por brindarme su apoyo constante e incondicional. A la universidad de Cuenca, por abrirme las puertas del conocimiento y hacerme un profesional de excelencia. A mi tutor Ing. Jorge Alejandro García Zumalacarregui, PhD, gracias por el apoyo y paciencia brindada para llegar a mi objetivo.

**Fausto Arévalo Rivas.**

En primer lugar, me gustaría darles las gracias a mis padres, ya que fueron ellos quienes me motivaron a seguir adelante y me apoyaron en cada uno de los momentos de mi vida universitaria; a mis compañeros por confiar en mí y permitirme formar parte del proyecto y finalmente a mi tutor por ayudarnos y formar parte de todas y cada una de las etapas de este proyecto.

**Steven Sobrevilla Quito.**

A Dios por brindarme la vida y sabiduría para poder emprender este camino y llegar a cumplir mis sueños y metas. Sobre todo, agradezco a mi familia que pudo brindarme su apoyo constante e incondicional, también agradezco a la universidad de Cuenca por abrirme las puertas del conocimiento y hacerme un profesional de excelencia, así mismo doy gracias a mi tutor Ing. Jorge Alejandro García Zumalacarregui, PhD, por el apoyo y paciencia brindada para llegar a mi objetivo. Finalmente, a mis compañeros de proyecto Fausto y Steven, quienes me brindaron su confianza y así concluir nuestro proyecto juntos.

**Bayron Suquinagua Sanango.**

## Introducción

### Definición de humedales o jardines filtrantes

Un humedal o jardín filtrante es un sistema natural en transición entre los medios acuático y terrestre, que combinan procesos físicos, químicos y biológicos para depurar los contaminantes presentes en las aguas residuales (Fernández González et al., 2006). Dentro de la naturaleza podemos encontrar sistemas de humedales naturales y en base al funcionamiento de estos se han creado los humedales artificiales, pero se diferencia de los primeros al estar diseñado, construido y manejado en su totalidad por el hombre. Sus principales componentes para la creación del humedal artificial son agua, sustrato (grava), plantas, y la población microbiana (Romero Aguilar et al., 2009).

### Funcionamiento

Los sistemas de bio retención, como los jardines de lluvia, están diseñados para funcionar mediante la captación de aguas pluviales, con el fin de mitigar el impacto de escorrentías, permitiendo su retención, mediante el uso de suelo y vegetación que sirven como filtros para su posterior evacuación de caudales. Los siguientes procesos son aquellos que se llevan a cabo dentro de este.

- Intercepción: Captación las escorrentías por las plantas y el suelo.
- Infiltración: Migración descendente de la escorrentía a través del suelo plantado y del suelo circundante.
- Asentamiento: Las partículas y sólidos suspendidos se asientan a medida que la escorrentía disminuye y se estancan en el área de bio-retención.
- Evaporación: Las delgadas películas de agua se convierten en vapor de agua por la energía de la luz solar. Los jardines de lluvia tienen áreas de encharcamiento poco profundas, entre 6 y 12 pulgadas, para facilitar la evaporación.
- Filtración: Las partículas son filtradas de la escorrentía mientras se mueve a través del mantillo y el suelo, este proceso remueve la mayoría de las partículas de escorrentía.
- Absorción: El agua es absorbida hacia los espacios entre partículas del suelo y luego es tomada por las raíces de las plantas y sus hongos asociados.
- Transpiración: Vapor de agua que se pierde a través de las hojas y otras partes de las plantas. Más del 90% del agua tomada en la zona radicular retorna al aire en forma de vapor de agua.
- Evapotranspiración: El agua se pierde a través de la evaporación de la superficie húmeda además del agua perdida por transpiración, esto puede ser maximizado

según el diseño. La relación que existe entre el suelo, las plantas y la escorrentía es lo que diferencia a los jardines de lluvia de los sistemas convencionales.

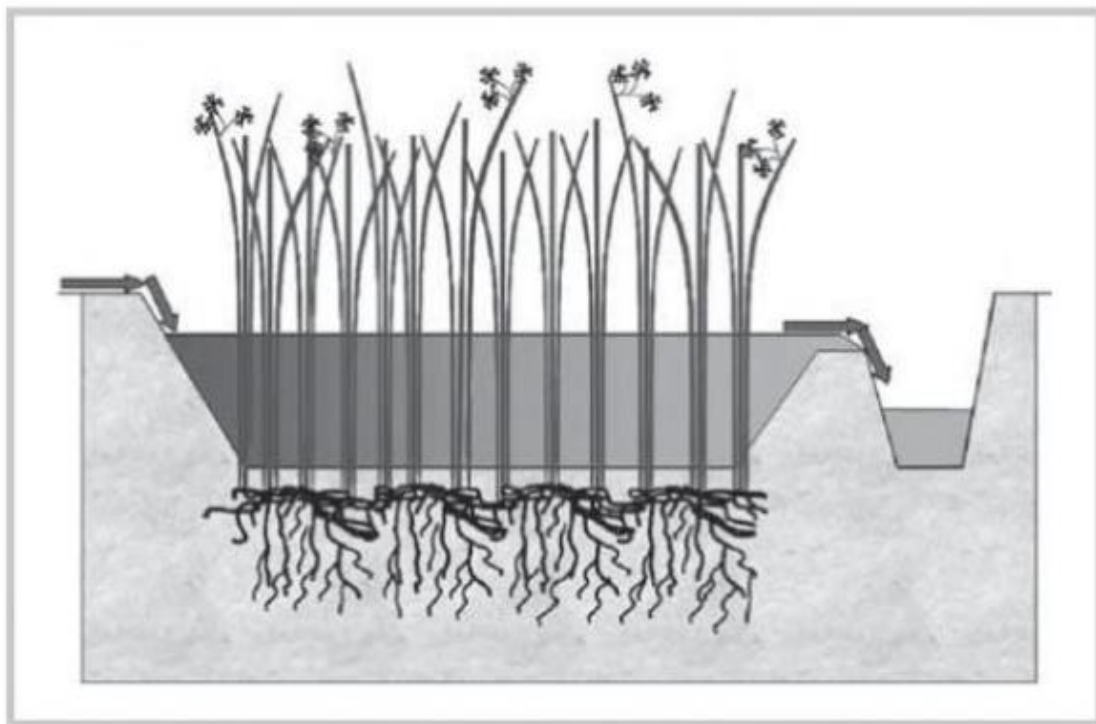
(Environmental Services Division Department of Environmental Resources the Prince George's County, Maryland, 2009)

### **Tipos de humedales artificiales**

Los humedales artificiales se pueden clasificar en base al tipo de macrófitas a emplear, teniendo así plantas arraizadas o flotantes libres, para el proyecto se optó por usar plantas fijas a un sustrato, por ende, se dispone de la siguiente clasificación.

### **Humedales artificiales de flujo superficial**

Estos tipos de sistemas se caracterizan principalmente por permitir el flujo del agua a través de los tallos de la planta, la cual está en contacto directo con el exterior; este sistema nace como una variante de las denominadas lagunas convencionales con la diferencia en las dimensiones de la profundidad y la cantidad de plantas presentes; uno de los atractivos de este tipo de jardín es la posibilidad de incluir especies animales pequeñas, como lo son los anfibios y peces.



**Figura 1.** Esquema de un humedal artificial de flujo superficial.

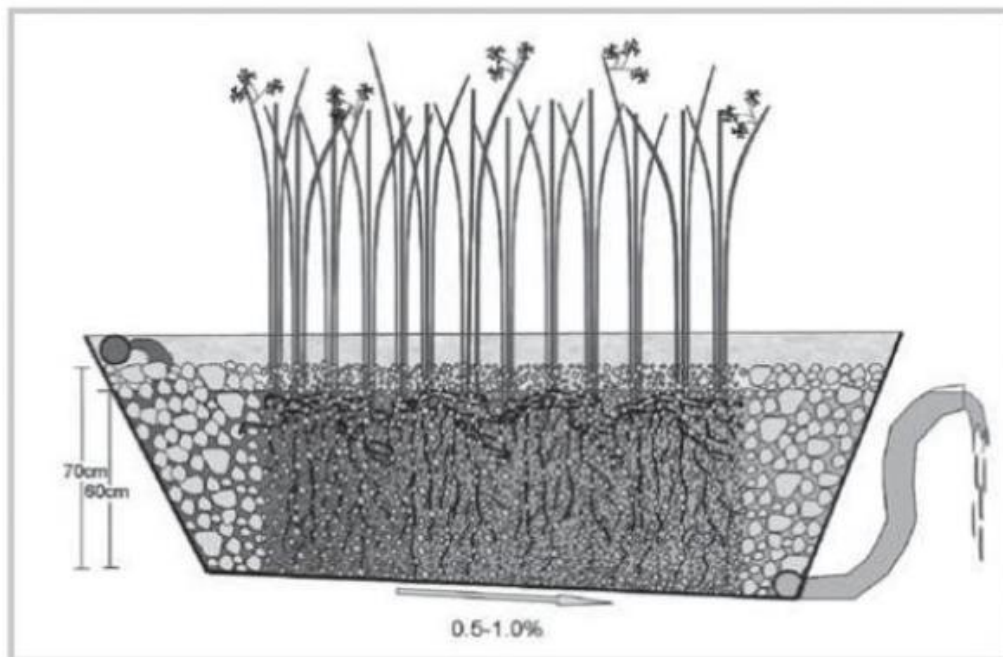
**Fuente:** (Delgadillo et al., 2010)

### Humedales de flujo subsuperficial

La principal y más notoria característica de este tipo de sistemas es el movimiento de agua a través de un medio granular subterráneo, visiblemente el flujo agua no se puede apreciar debido a las profundidades con las que se manejan este tipo de sistemas, siendo la más común de 60 cm, distancia en la cual las raíces y rizomas de las plantas entran en contacto directo con el agua; este sistema se puede sub clasificar en base a la dirección de aplicación del agua, teniendo así los siguientes sistemas.

### Humedales sub superficiales de flujo horizontal

Este tipo de sistemas fueron los escogidos para implementar en el proyecto, se basan en la colocación de una capa de material (grava) sobre una capa impermeable que la separe del contacto del exterior y evite la infiltración de agua, en dicha capa de material se siembran plantas con una tolerancia al agua moderada; el agua ingresa de manera constante en un extremo del sistema y luego de transitar por el mismo es recolectada en la parte opuesta inferior; el agua es tratada a medida que atraviesa la capa de material.



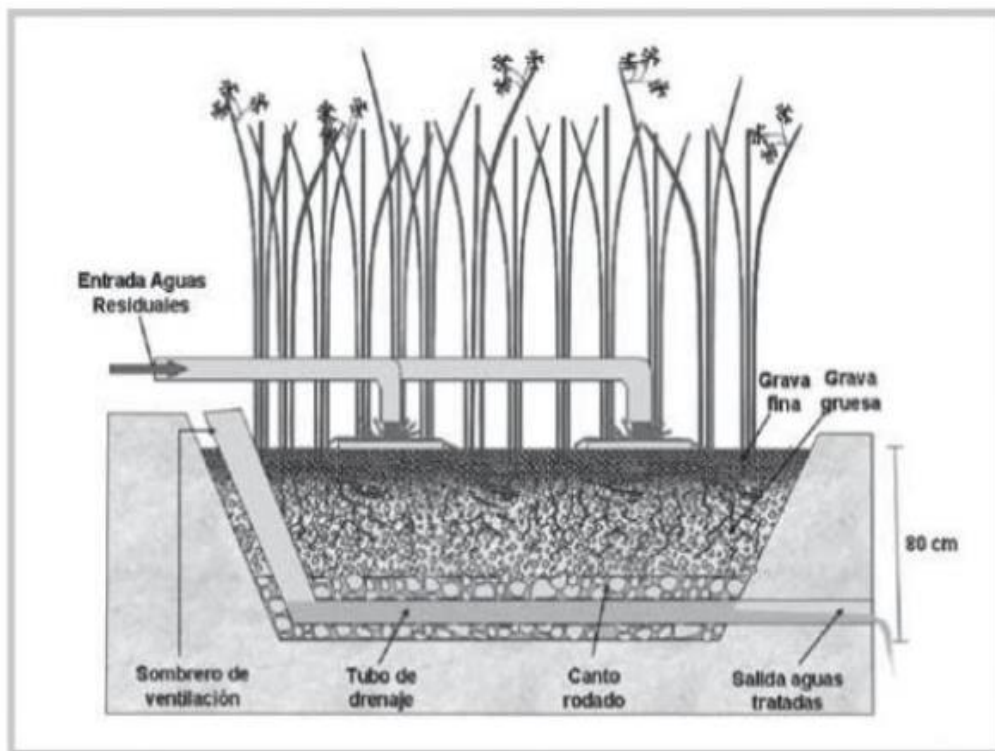
**Figura 2.** Esquema de un humedal subsuperficial de flujo horizontal.

**Fuente:** (Delgadillo et al., 2010)

### Humedales sub superficiales de flujo vertical

A diferencia del sistema anterior una carga intermitente de agua facilita procesos de saturación seguidos de periodos de insaturación, estimulando así el suministro de oxígeno,

viéndose en parte afectado por la composición de las distintas capas que son denominadas sustrato inerte; el agua es suministrada desde la parte más alta del sistema y es drenada en la parte inferior del mismo, la construcción de estos espacios debe realizarse teniendo en cuenta la forma de estimular las condiciones aerobias, para ello en determinados casos se opta por construir sistemas de aireación llamadas chimeneas, las cuales consisten en tuberías desde el interior con salida al ambiente exterior.



**Figura 3.** Esquema de un humedal subsuperficial de flujo vertical

**Fuente:** (Delgadillo *et al.*, 2010)

### **Beneficios y limitaciones de uso de Bio-retenciones**

De acuerdo con Jaime (2016), los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) contribuyen a revertir, al menos en parte, consecuencias adversas del proceso de urbanización como las inundaciones. Siendo necesario tomar muy en serio el análisis de las implicaciones hidrológicas e hidráulicas de su implantación en entornos urbanos.

Es así que, los estudios que impulsan nuevas alternativas de gestión de agua lluvia para reducir riesgos por inundaciones han ganado espacio con resultados probados y ya replicados en Colombia (Cubides, 2018).

- Disminuye los impactos de escorrentías contaminadas en todo tipo de zonas, ya sean privadas o públicas (Mah et al., 2018).
- Los sistemas de bioretención son de los más recomendados dentro de las prácticas de las BMP's como obras de bajo impacto construidas para mejorar la calidad del agua de escorrentía reteniendo los contaminantes en su lecho filtrante, para de ser el caso, la reutilización del recurso (Lau et al., 2017)
- Hay una reducción de las necesidades de riego debido al aprovechamiento de la escorrentía del sitio.
- Mantiene un espacio verde y da más vida a un patio o jardín.

### **Medio filtrante o medio de soporte**

En el tratamiento de efluentes a través de humedales construidos, el medio de soporte está directamente asociado con varias funciones, entre ellas: (1) fijación de las raíces y rizomas de la vegetación; (2) asistir en la distribución y recolección del flujo dentro y fuera del reactor; (3) medio de soporte para el crecimiento microbiano - biopelícula; (4) filtrado y mineralización de partículas (VYMAZAL y KRÖPFELOVÁ, 2008); por tal razón es importante colocar el material a manera de capas, esto debido principalmente por la distinta granulometría que pueden presentar, así como la presencia de restos vegetales debido al crecimiento biológico; el material tiene que prestar la suficiente permeabilidad para permitir el paso del agua, proporcionar almacenamiento para los contaminantes y la cualidad de que es el responsable directo de la extracción de sustancias presentes en el agua mediante interacciones físicas y químicas

Las propiedades fisicoquímicas del material utilizado como medio de soporte junto con los contaminantes confieren al sistema una condición trifásica –sólida, líquida y gaseosa–, por lo que se consideran reactores trifásicos. La capacidad de retención de partículas sólidas y la actividad biológica confieren al material filtrante un papel importante en la transformación de contaminantes. Sin embargo, tener pleno conocimiento de las características y granulometría del material filtrante es un componente que merece atención.

Factores como la textura, la composición y la disposición influyen directamente en la porosidad ( $\eta$ ) del material filtrante e interfieren en la hidrodinámica: cuanto menor es el tamaño del grano y más poli disperso, mayor es la conductividad hidráulica y menor el tiempo de detención hidráulica (TDH); sin embargo, mayor es el riesgo de obstrucción. Es decir, la porosidad depende de la unión de las partículas, su forma y su disposición, donde la presencia de partículas finas en un sistema poli disperso reducirá la porosidad debido al llenado de los poros entre las partículas grandes. Por lo tanto, la disposición de la estructura porosa influye en la hidráulica, la aireación y taponamiento del sistema (MOLLE, 2003). Parte del volumen



del filtro está ocupado por el propio medio de soporte, cuya porosidad  $\eta$  (volumen de vacíos/volumen total) puede variar significativamente. La Tabla 1 presenta porosidades típicas para algunos materiales (TODD, 1959 en García Zumalacarregui, 2018).

**Tabla 1.**

*Propiedades típicas para diferentes tipos de materiales limpios utilizados como medios de soporte.*

<b>Sedimento NO consolidado</b>	<b>Porosidad total %</b>
Arcilla	45 – 55
Limo	40 - 50
Arena uniforme	30 - 40
Gravilla	30 – 40
Mezcla de arena y grava	30 – 35
Mezcla de arena (fina y media)	30 - 35

**Fuente:** Todd (1959) en García Zumalacarregui (2018).

**Elaboración:** Grupo de trabajo, 2023.

### **Vegetación empleada**

La vegetación es un factor muy importante en la construcción de humedales artificiales, la densidad apropiada juega un papel importante para el correcto funcionamiento del sistema, es preferible utilizar plantas locales adaptadas a las condiciones del sitio. Si bien la plantación se puede hacer a partir de semillas, este método requiere mucho tiempo y un adecuado control del agua, por lo que lo más recomendable es plantar a partir de plantas jóvenes, establecidas y climatizadas a la zona, de tal manera que la planta no sufra un estrés al querer acoplarse al humedal.

Las plantas como organismos autótrofos mediante el uso de sus rizomas y raíces transfieren el oxígeno atmosférico hacia el sustrato gracias a las hojas y tallos, creando así zonas aerobias para que los microorganismos presentes realicen diversas reacciones de degradación para la materia orgánica; algunas de las actividades de las cuales se encargan las plantas dentro de un jardín filtrante son: estabilización del sustrato, limitar la canalización de flujo, controlar la velocidad de flujo, integrar nutrientes a los tejidos de la planta, intercambio de gases entre la atmósfera y los sedimentos, oxigenar espacios dentro del sustrato y dar un lugar de fijación a los microorganismos.

En cuanto a los microorganismos que se forman en el medio, presentan como su principal función el tratamiento biológico. En la zona superior del humedal crecen colonias de microorganismos aerobios y el lecho restante colonias anaerobias, conjuntamente trabajan en procesos de degradación de materia orgánica, desinfección y eliminación de nutrientes y elementos traza, algunos de los microorganismos que podemos encontrar dentro del humedal son bacterias, levaduras, hongos y protozoarios, mismos que consumen gran parte del carbono y de los nutrientes; la actividad microbiana se encarga de convertir sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas e insolubles, gracias a esto los contaminantes se convierten en gases que posteriormente son liberados en la atmósfera.

Para el proyecto se optó por colocar plantas cuya profundidad radicular no exceda los 20 cm, ya que esta distancia asegura acceso continuo al agua sin la posibilidad de entrar en contacto y causar daños a la geomembrana, las plantas escogidas fueron: *Duranta Repens* (verdes), *Duranta Repens* (moradas), *Gazania rigens*, *Dracaena trifasciata*, *Cyperus papyrus*, *Salvia officinalis*, *Pelargonium sp.*, *Zantedeschia aethiopica*, *Aerva sanguinolenta* y *Bellis perennis* las especies antes mencionadas ayudan a traslocar el oxígeno atmosférico hacia las raíces y por ende oxigenar y crear un tratamiento al agua que posteriormente será liberada por el sistema.

### **Descripción del problema**

Ante la falta de un espacio propicio para que los estudiantes tengan un momento de descanso en un ambiente acogedor y que brinde servicios ecosistémicos, surge la inquietud y por ende la búsqueda de soluciones que permitan clarificar las ideas de sostenibilidad y confort. Razón por lo que la siguiente propuesta se fundamenta en aprovechar y dar uso a superficies que se encuentran en estado de abandono y de aspecto desaliñado en el campus Yanuncay.

La propuesta se implementó en la parte posterior a la cancha de la facultad de Ciencias Agropecuarias, sitio en el cual se buscó dar un valor significativo con la ejecución de un proyecto de construcción de un jardín filtrante horizontal conocidos como humedal horizontal artificial, la misma que transformó y recuperó el área que se encontraba en desuso siendo propensa a la acumulación de basura y putrefacción de esta, generando malos olores.

Con la ejecución del proyecto se logró brindar una solución que ayude a controlar y aprovechar la escorrentía superficial presente en la zona, tratando de emular sistemas de depuración que se encuentran en la naturaleza, construidos dentro de una infraestructura rentable con impactos imperceptibles para el ambiente con una clara mejoría en el paisaje urbano que presenta la facultad (Saltos, 2020), pues es quizás una solución simple para la infraestructura verde, consistiendo en un lecho de plantas de varias especies que ayudaran

con la filtración del agua así como también en la eliminación de contaminantes presentes en el área al ser transportadas por la escorrentía. En primera instancia esta infraestructura actúa como una cuenca de infiltración para una parte del agua pluvial, y a su vez retiene ciertos elementos contaminantes presentes en el agua que ingresa al sistema, pues estas tendrán un mayor contenido de contaminantes que serán retenidas por la capacidad de filtración de las plantas presentes en el medio. El nuevo espacio tiene un objetivo principalmente estético y ecológico enfocado a las necesidades del alumnado, con el fin de conseguir un ambiente agradable para uso y disfrute del público creando así armonía entre confort y medio ambiente.

Además, se debe considerar los beneficios a futuro que se pueden obtener de este tipo de sistemas, un claro ejemplo de ello es el muestreo de la calidad de agua que ingresa y sale del mismo, aplicados a fines investigativos para determinar su eficiencia en el tratamiento de aguas provenientes de escorrentía.

## 1. Objetivos

### Objetivo General

Establecer un jardín filtrante en los predios de la Facultad de Ciencias Agropecuarias que brinde servicios ecosistémicos además de reintegrar espacios verdes a la comunidad universitaria impulsando iniciativas ecológicas y medio ambientales.

### Objetivos Específicos

- Implementar un jardín mediante el uso de distintos tipos de plantas, tales como ornamentales y medicinales de origen nativo.
- Restaurar el área y así aumentar la calidad del espacio, con el fin de potencializar un entorno adecuado para el estudiante a través de iniciativas socialmente responsables y sostenibles.
- Proveer al visitante un espacio con un escenario y ambiente armónico donde disfrute de manera tranquila y confortable.

## 2. Fundamentación

### Fundamentación social

Debido al crecimiento de la urbanización las superficies cubiertas con asfalto van en aumento que, citando a Angeoletto et al., (2015), estas superficies deterioran de forma continua los sistemas naturales mediante la pérdida de hábitats y reducción de la biodiversidad. Convirtiéndose así en un problema pues el caudal de escorrentía superficial aumenta al no tener la capacidad de infiltración natural por la impermeabilización causada.

Por tal motivo las ciudades presentan problemas debido a los cambios climáticos, pues el aumento del caudal modifica de forma importante los ciclos hidrológicos naturales en medios urbanos y periurbanos (Jaume, 2016). Provocando así un deterioro en los sistemas de drenaje convencionales.

Los drenajes convencionales como tal están contruidos para evacuar el agua y así la superficie de rodadura quede libre para su fácil circulación, no obstante, su funcionamiento no tiene en cuenta el nivel de carga contaminante que las aguas pluviales acarrear, y se evacuan en cuerpos hídricos produciendo un daño ambiental pues no se realiza ningún tratamiento.

Por tal razón, en la actualidad varios países promueven la planificación urbanística considerando la gestión de aguas de escorrentía urbana, a través de técnicas que emulan procesos naturales de infiltración previos a la impermeabilización por urbanización y con ello disminuir los picos de crecientes de caudales de agua de lluvia (Jiménez et al., 2015).

Estas técnicas y sistemas son parte de los llamados Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), en habla inglesa “Sustainable Urban Drainage System” (SUDS). Estos sistemas están muy desarrollados en Europa, principalmente en el Reino Unido, siendo referentes en la implementación de SUDS como métodos de gestión sostenible de precipitaciones. Estos países cuentan con suficientes estudios y experiencia que se refleja incluso en su normativa ambiental. En Sudamérica, Colombia, Uruguay y Chile son países que cuentan con proyectos, estudios y normativa de interés, con mucho potencial de ser replicados.

### **3. Diseño del proyecto**

#### **3.1. Metodología del proyecto**

El presente proyecto se deberá a tres objetivos que se los detalla a continuación:

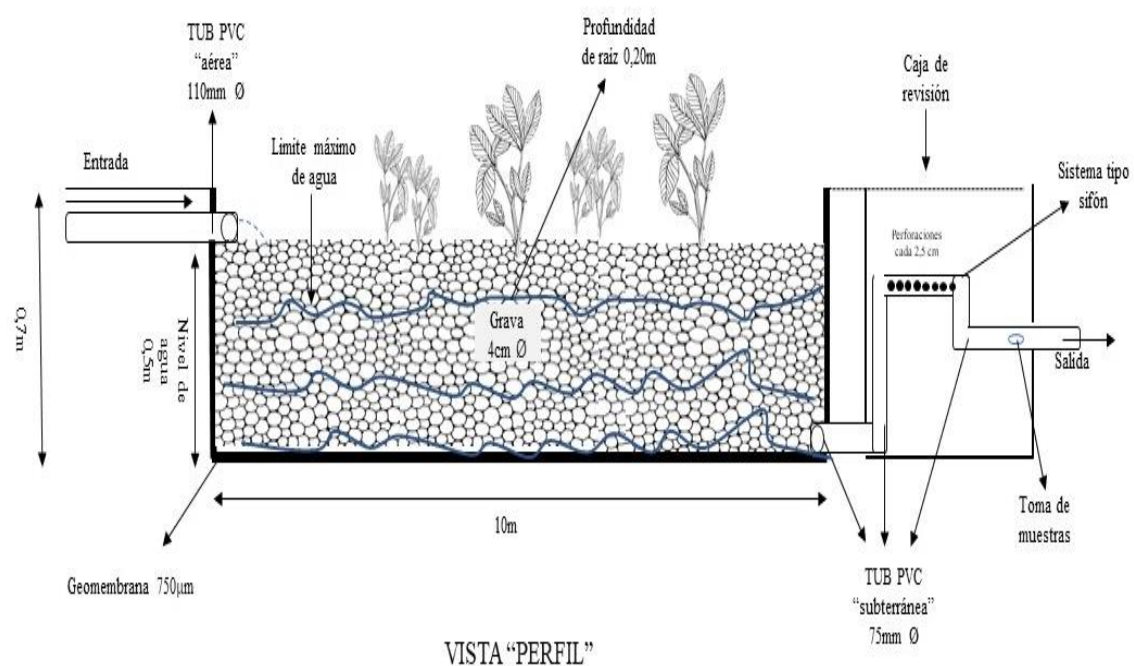
##### **3.1.1. Metodología para el cumplimiento del objetivo específico 1 (Implementar un jardín mediante el uso de distintos tipos de plantas, tales como ornamentales y medicinales de origen nativo)**

Para dar inicio a la implementación del sistema se tomó en cuenta lo mencionado por (Delgadillo et al., 2010), quien nos cita que la profundidad para este tipo de humedales o jardines filtrantes está comprendida entre 0,5 y 0,8 m. recomendando una profundidad de 0,7 m que favorece a una nitrificación correcta y la remoción de contaminantes orgánicos de existir los mismos en las aguas a tratar. En nuestro proyecto se procedió a utilizar una profundidad de 0,5 m debido a que nuestras aguas no se consideran aguas residuales sino aguas de escorrentías superficiales, las cuales contienen menores niveles de contaminación.

La profundidad del humedal está en función del tamaño de las raíces de las plantas y el tiempo de retención hidráulico (TRH). A esto se adiciona la zona de seguridad o resguardo de 0, 2 m. El sustrato a utilizar puede plantear diferente granulometría, para el caso de nuestro proyecto se utilizó grava. La pendiente o gradiente hidráulico del humedal en la superficie debe ser plana (0%) para evitar encharcamientos, mientras que en el fondo se encuentra entre 0.5 a 2%, pero se recomienda una inclinación del 1% para facilitar una construcción y drenaje adecuado (Delgadillo et al, 2010).

### Diseño del humedal artificial subsuperficial

El humedal artificial, cuyo diseño es con forma rectangular tiene un área total de 30m<sup>2</sup>.



**Figura 4.** Diseño del humedal artificial (perfil)

**Elaborado por:** Grupo de trabajo, 2023

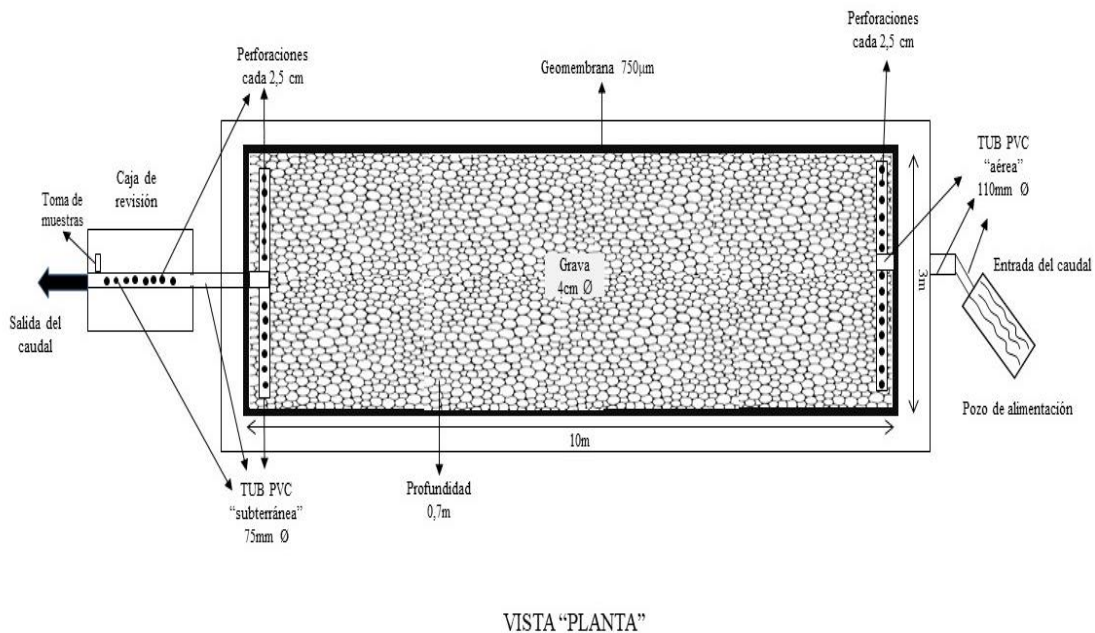


Figura 5. Diseño del humedal artificial (superior)

Elaborado por: Grupo de trabajo, 2023

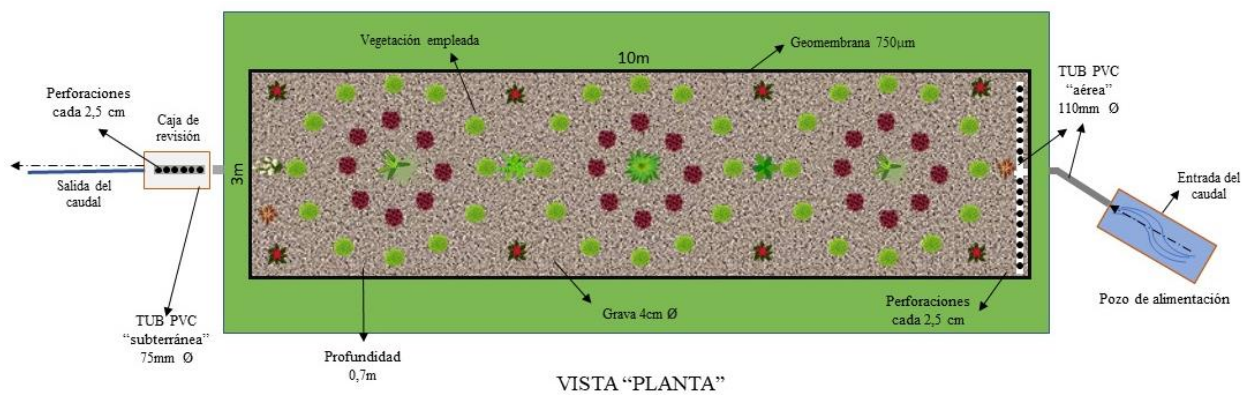


Figura 6. Vista del humedal artificial (superior)

Elaborado por: Grupo de trabajo, 2023

**El sitio asignado para la implementación del jardín filtrante**

El humedal artificial se efectuó en el área situada detrás de la cancha de fútbol, pues su ubicación fue tomada en cuenta por su estado deplorable y la presencia de aguas pluviales que corren por el lugar. Estableciendo así que cierto lugar era el adecuado debido a que no



solamente mejoraría la estética de la zona, sino también el entorno convirtiéndolo en uno paisajista. La fase de construcción comprende de cuatro etapas:

- Delimitación y adecuación del área.
- Construcción de infraestructura externa.
- Construcción de infraestructura interna.
- Prueba de flujo e incorporación del componente vegetal.

### 3.1.2. Metodología para el cumplimiento del objetivo específico 2 (Restaurar el área y así aumentar la calidad del espacio, con el fin de potencializar un entorno adecuado para el estudiante a través de iniciativas socialmente responsables y sostenibles)

#### Delimitación y adecuación del área.

Para dar paso a la construcción del sistema se procedió a realizar labores de desmote y eliminación de las malezas del terreno, así como su delimitación mediante el uso de un metro y el trazado con una piola. Una vez delimitado el lugar se procedió a adecuar éste, mediante la desviación del canal por un costado para comodidad al momento de realizar la excavación.

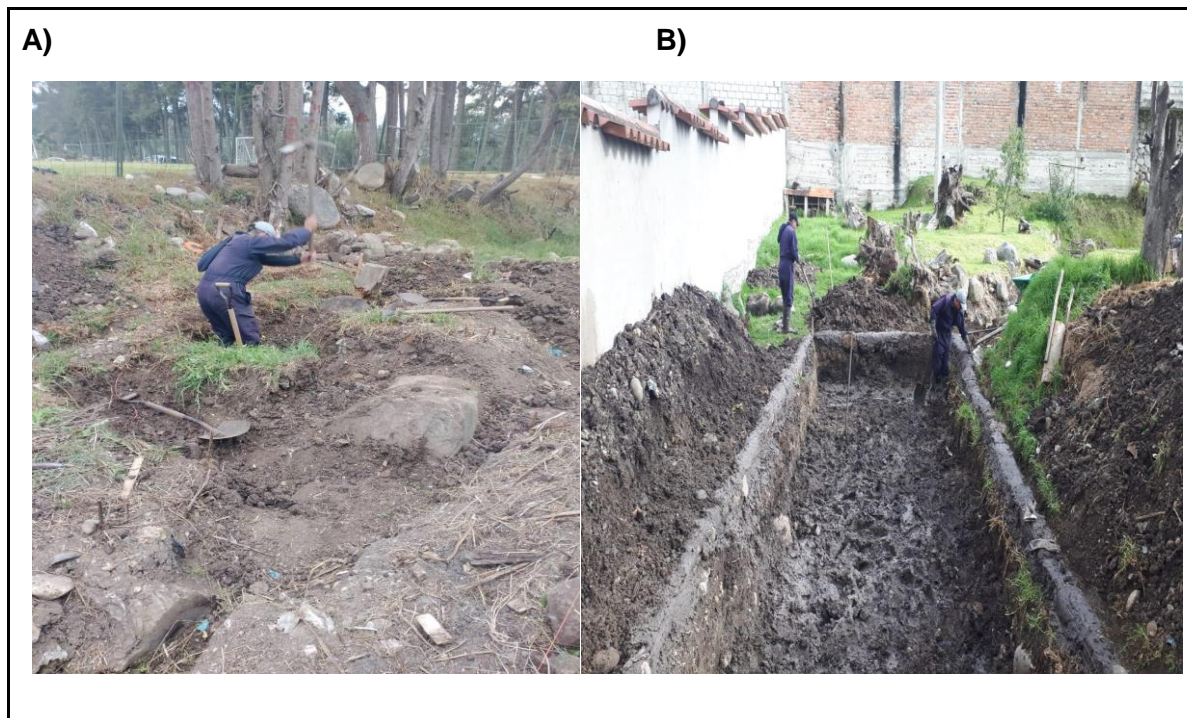


**Figura 7.** Delimitación y adecuación del área: A) Limpieza y desmote del sitio. B) Trazado del área de implantación del proyecto. C) Redirección del cauce actual del agua.

**Elaborado por:** Grupo de trabajo, 2023

### ***Retiro de sedimentos***

Se llevó a cabo la remoción de tierra, así como la estabilización de taludes y una vez realizado el proceso de excavación se procedió a nivelar el piso del humedal, esto con el fin de facilitar el flujo del agua dentro del sistema y evitar posibles encharcamientos lo que conllevan a fallos en el sistema de drenaje y acumulación de aguas pluviales, ocasionando daños a las plantas presentes.



**Figura 8.** Retiro de sedimentos: A) excavación. B) Nivelación del área.

**Elaborado por:** Grupo de trabajo, 2023

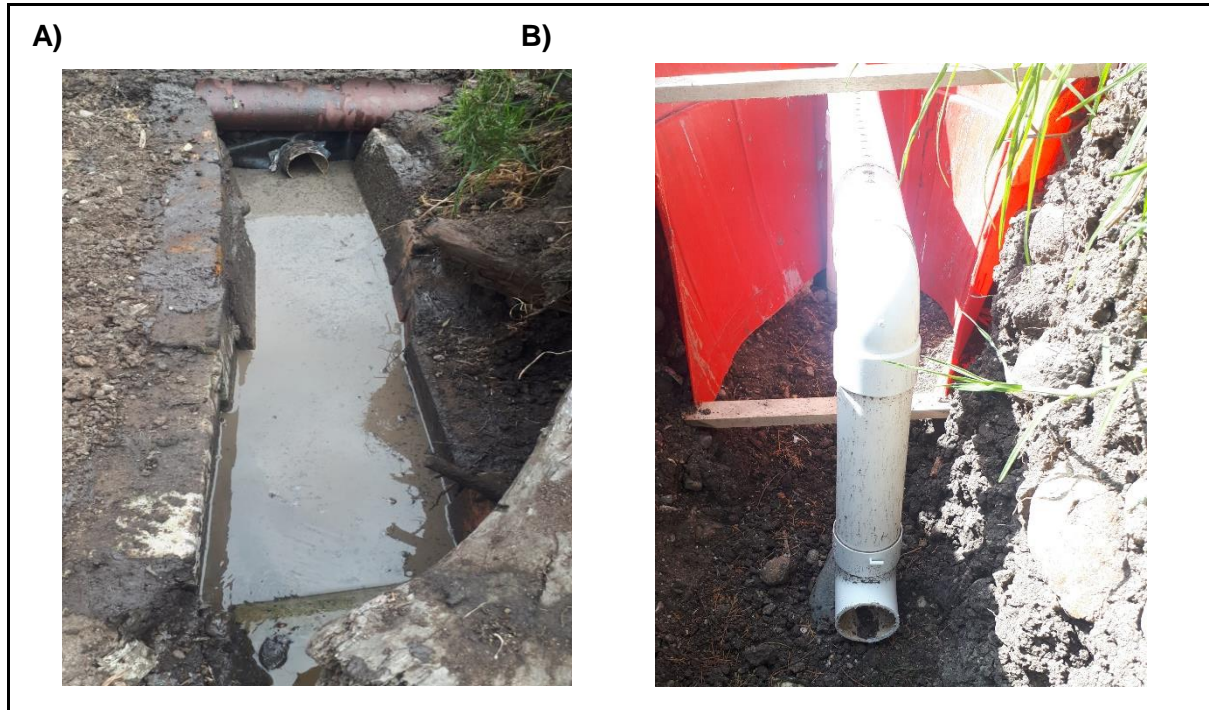
### **Construcción de infraestructura externa**

En este proceso se llevó a cabo la adecuación del canal de agua, mediante la elaboración superficial de un pozo, donde se dará la sedimentación del agua que alimentará a nuestro sistema. En la parte del aliviadero se construyó un sifón, con el fin de que desempeñe dos funciones principales, mantener el nivel freático en temporadas de sequía y posteriormente la salida del agua hacia el desagüe. Se debe recalcar que este sifón contará con una llave que facilitará la toma de muestras, que servirán como punto de control de aguas de escorrentía mediante el análisis en laboratorio para determinar concentración de contaminantes posteriores al paso por el sistema de tratamiento.

### **Materiales utilizados durante este proceso**



- Tubería PVC (75 mm), 3m.
- Codos PVC (75mm), 90°.
- Tee PVC (75 mm).
- Tapa H (75mm).



**Figura 9.** Construcción de infraestructura externa

**Elaborado por:** Grupo de trabajo, 2023

### **Construcción de infraestructura interna**

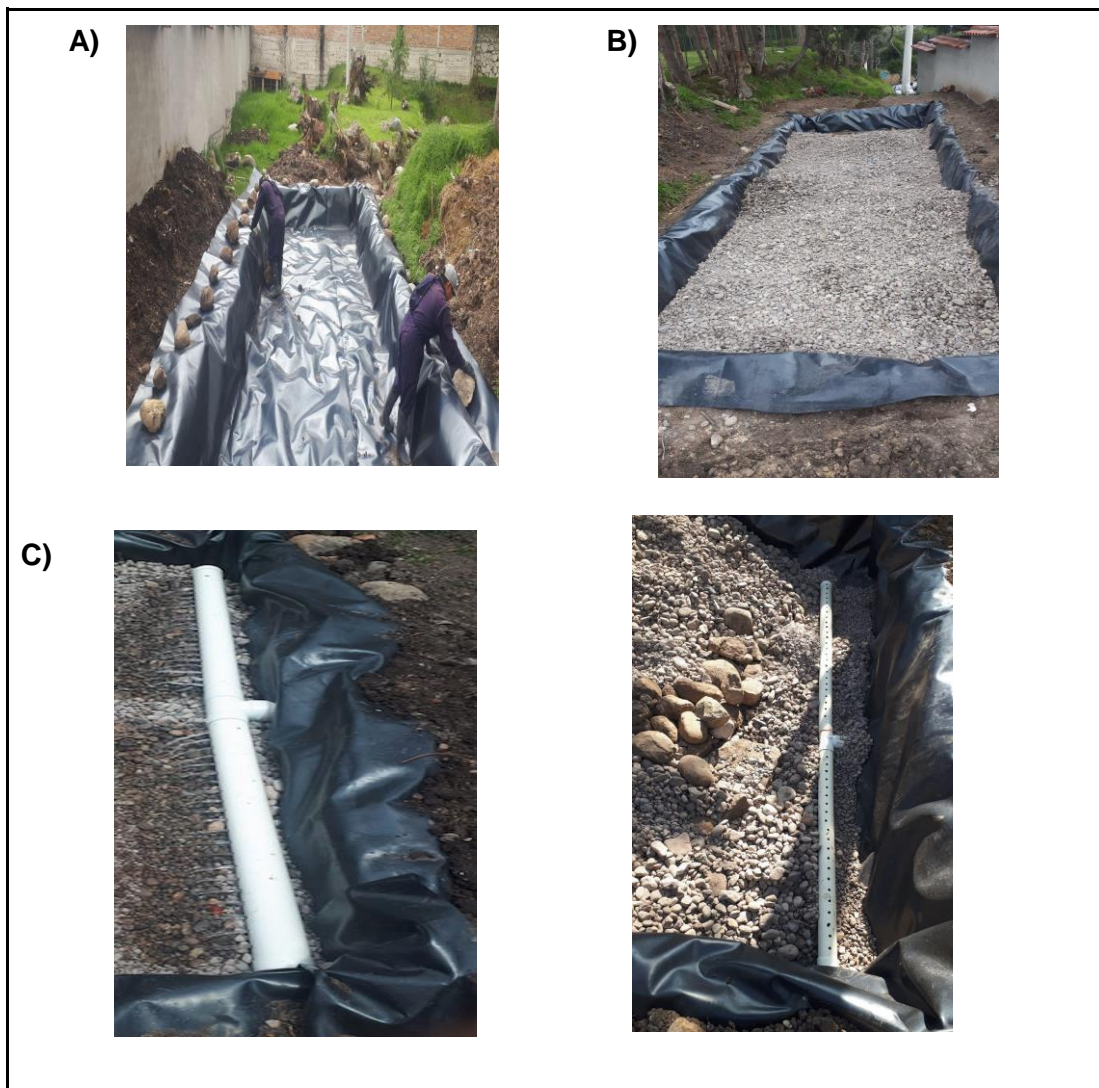
Se instaló la geomembrana para la impermeabilización de la superficie del suelo, sobre la cual se depositó el material filtrante (grava). Dicho material pétreo tiene una granulometría de 4 cm y cumple la función de atrapar los sólidos y proveer la superficie necesaria para que se forme una membrana biológica (Sara, s.f.), para el alimento de las plantas así como también la translocación del oxígeno atmosférico hacia las raíces; en la cabecera del humedal se colocó una tubería (110 mm) que sirve como abrevadero, la cual está perforada con orificios de 1/2", cada 5 cm para una alimentación uniforme del sistema, esta puede ser divisada puesto que su instalación se encuentra sobre la grava, mientras que por la parte del desfogue se ubica de igual manera tubería perforada (75 mm) con orificios de 1/2" dentro de la grava y está a su vez se conecta con el sifón.

### **Prueba de flujo**

Una vez terminada la fase de ensamblaje de las tuberías en el sistema, se procedió a la revisión del correcto funcionamiento, para lo cual se realizó una prueba de flujo y así corroborar la inexistencia de fugas y por consiguiente su adecuado desfogue.

***Materiales utilizados durante este proceso***

- Tubería PVC (75 mm; 110 mm) de 3m.
- Codos PVC (75 mm; 110 mm), 90ª y 45ª.
- Tee PVC (75 mm; 110 mm).
- Tapa H (75mm).



**Figura 10.** Construcción de infraestructura interna: A) Colocación de Geomembrana. B) Colocación de grava. C) Sistema de alimentación y desagüe del humedal.

**Elaborado por:** Grupo de trabajo, 2023

### 3.1.3. Metodología para el cumplimiento del objetivo específico 3 (Proveer al visitante un espacio con un escenario y ambiente armónico donde disfrute de manera tranquila y confortable)

#### *Integración del componente vegetal*

Para el componente vegetal se llevó a cabo la selección de las especies considerando su función estética (ornato: color, talla y tamaño), cabe recalcar que también se consideran otros criterios como profundidad de las raíces, adaptabilidad al medio, facilidad de mantenimiento, transporte y compra.

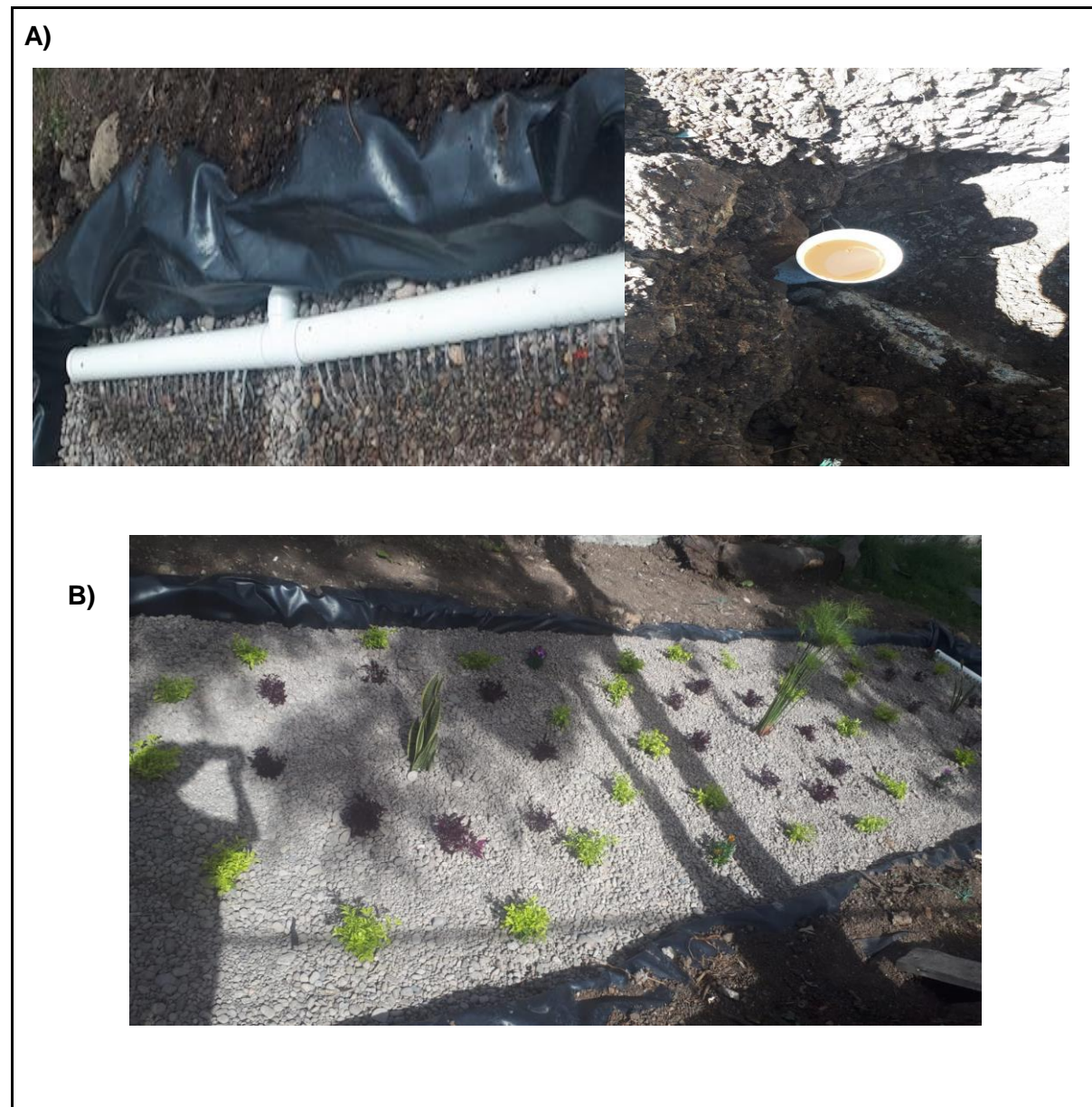
#### **Tabla 2.**

##### *Componente vegetal*

<b>Nombre científico</b>	<b>Nombre común</b>
<i>Duranta Repens</i>	Duranta
<i>Cyperus papyrus</i>	Papiro
<i>Dracaena trifasciata</i>	Lengua de suegra
<i>Gazania rigens</i>	Gazania
<i>Dianthus chinensis</i>	Clavelina
<i>Salvia officinalis</i>	Salvias
<i>Pelargonium sp.</i>	Pata con panga
<i>Zantedeschia aethiopica</i>	Concha blanca
<i>Aerva sanguinolenta</i>	Escancel
<i>Bellis perennis</i>	Margarita

**Elaborado por:** Grupo de trabajo, 2023





**Figura 11.** A) Prueba de flujo. B) incorporación del componente vegetal.

**Elaborado por:** Grupo de trabajo, 2023.

### **Presupuesto de materiales**

Para el desarrollo del proyecto se han considerado los siguientes costos de inversión, en donde no se toma en cuenta la mano de obra debido a que el objetivo del proyecto es determinar el costo total de los materiales para su implementación.

Tabla 3.

*Presupuesto de los materiales empleados para el proyecto*

Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario (\$)	Valor total (\$)
Estacas	unidad	10	0,20	2,00
Piola	rollo	1	1,20	1,20
Cinta métrica	unidad	1	10,00	8,52 (D)
Geomembrana	m2	78	3,70	288,60
Grava	m3	20	20,00	400,00
Tubería 110 mm	unidad	1	14,85	14,85
Tubería 75 mm	unidad	1	6,84	6,84
Codo 45 (110mm)	unidad	1	1,75	1,75
Tee (110mm)	unidad	1	2,70	2,70
Tapones (110mm)	unidad	2	1,30	2,60
Tee (75mm)	unidad	1	1,65	1,65
Codo 90 (75mm)	unidad	4	1,30	5,20
Tapones (75mm)	Unidad	2	0,95	1,90
Pega Tubo	unidad	1	1,50	1,50
Cinta gris ADH	unidad	1	2,15	2,15
<i>Duranta Repens</i>	unidad	30	0,50	15,00
(Verdes)				
<i>Duranta Repens</i>	unidad	24	1,00	24,00
<i>Gazania rigens</i>	unidad	4	2,00	8,00
<i>Dianthus chinensis</i>	unidad	4	1,00	4,00
<i>Dracaena trifasciata</i>	unidad	2	3,00	6,00
<i>Cyperus papyrus</i>	unidad	1	3,50	3,50
<i>Salvia officinalis</i>	unidad	1	1,00	1,00
<i>Pelargonium sp.</i>	unidad	1	1,00	1,00
<i>Zantedeschia aethiopica</i>	unidad	1	2,00	2,00
<i>Aerva sanguinolenta</i>	unidad	2	1,00	2,00
<i>Bellis perennis</i>	unidad	1	1,00	1,00
<b>Total</b>				<b>808,96</b>

*Elaborado por:* Grupo de trabajo, 2023



#### 4. Resultados

##### 4.1. Resultados del objetivo específico 1 (Implementar un jardín mediante el uso de distintos tipos de plantas, tales como ornamentales y medicinales de origen nativo)

En la siguiente figura se observa el jardín después de haber concluido con las labores de siembra de plantas ornamentales y medicinales después de haber corroborado el correcto funcionamiento del sistema transformándolo así, de un lugar descuidado a un área de índole estético denominado Jardín filtrante.



*Figura 12. Jardín filtrante o humedad subsuperficial.*

*Elaborado por:* Grupo de trabajo, 2023.

##### 4.2. Resultados del objetivo específico 2 (Restaurar el área y así aumentar la calidad del espacio, con el fin de potencializar un entorno adecuado para el estudiante a través de iniciativas socialmente responsables y sostenibles)

Tras haber terminado la construcción del jardín, en la figura 13 se puede apreciar una comparativa entre la zona antes y después de ser intervenida, la misma que ha pasado de



ser un lugar poco estético a un lugar ideal para recrearse y disfrutar de la belleza natural. El espacio en cuestión se convirtió en un área sustentable que promueve el uso responsable y limitado de este recurso mediante acciones como aprovechar el agua pluvial utilizando especies que requieren poca agua, son agradables a la vista y brindan una función medicinal.



*Figura 13. Comparativa de la zona de intervención.*

*Elaborado por:* Grupo de trabajo, 2023.

#### **4.3. Resultados del objetivo específico 3 (Proveer al visitante un espacio con un escenario y ambiente armónico donde disfrute de manera tranquila y confortable)**

Con nuestro aporte hemos creado un lugar donde se puede disfrutar un ambiente tranquilo y natural lleno de frescura, todo esto respetando el paisajismo existente en la zona. Este nuevo espacio aporta un valor intangible a nuestra comunidad universitaria, al ser un lugar que aporta valor a la infraestructura de la facultad de agronomía.



*Figura 14. Perspectiva del espacio.*

**Elaborado por:** Grupo de trabajo, 2023.



### Conclusiones

La ejecución de este proyecto nos permitió construir un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal con la capacidad de actuar como jardín filtrante, obra que permite el uso de distintos tipos de plantas ornamentales que brindan la posibilidad de su utilización para restauración de áreas con el fin de mejorar el espacio y potencializar un entorno adecuado para el estudiante mediante la provisión de un escenario y ambiente armónico donde disfrute de manera tranquila y confortable.

El jardín ayuda en el tratamiento de las aguas pluviales que se acumulan paralelamente a la cancha, permitiendo obtener un agua relativamente más limpia en comparación con el agua que ingresa al sistema, sumado a que se logra evitar el encharcamiento y la acumulación de desechos sólidos en el agua.

### Recomendaciones

Para futuras adecuaciones en el proyecto se recomienda:

- Implementación de un tanque de recepción en la entrada principal del sistema con el fin de tener una mejor captación de aguas pluviales provenientes, tanto de la facultad como de las zonas aledañas al espacio intervenido y así incrementar el volumen de agua y mejorar el funcionamiento del jardín.
- Realizar una intervención en el canal de alimentación, esto mediante la colocación de tubería o geomembrana, pues de esta manera se asegura un mejor traslado de aguas pluviales hacia el interior del sistema sumado al beneficio estético que pueda recibir la cancha y sus alrededores.
- Redirigir y emplear el agua resultante como agua de riego para los jardines que se encuentran en la parte inferior del sistema.

### Referencias

- Cubides, E., & Santos, G. (2018). Control de escorrentías urbanas mediante Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS): Pozos/Zanjas de infiltración. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 12(24), 32-42.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Recuperado de [http://www.infoandina.org/sites/default/files/publication/files/depuracion\\_de\\_aguas\\_residuales\\_por\\_medio\\_de\\_humedales\\_artificiales.pdf](http://www.infoandina.org/sites/default/files/publication/files/depuracion_de_aguas_residuales_por_medio_de_humedales_artificiales.pdf) <http://www.aguasresiduales.info/revista/libros/depuracion-de-aguas-residuales-por-medio-de-humedales-artificiales>.
- Evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 25(3), 157-167.
- Environmental Services Division Department of Environmental Resources the Prince George's County, Maryland. (2009). *Bioretention Manual*. Maryland: Department of Environmental Resources.
- Fernández González, J., Beascochea, E. de M., Muñoz, J. de M., & Curt Fernández de la Mora, M. D. (2006). *Manual de Fitodepuración. Filtros de macrofitas en flotación* (J. Fernández González (ed.); EDITAN).
- García Zumalacarregui J. A. *Influência das condições hidrodinâmicas nos processos de conversão aeróbia em wetlands construídos de escoamento vertical no tratamento de esgoto doméstico bruto*. 2018. Tese de Doutorado. Departamento de Saneamento Ambiental (DESA). Faculdade de Engenharia. Universidad Federal de Minas Geras. Belo Horizonte, Brasil.
- Jaume, A. T. (2016). Gestión de las aguas pluviales en entornos urbanos mediante técnicas de drenaje sostenible. *Journal of Engineering and Technology*, 5(2), 26-40.
- Lau, A. Y., Tsang, D. C., Graham, N. J., Ok, Y. S., Yang, X., & Li, X. D. (2017). Surface Modified biochar in a bioretention system for *Escherichia coli* removal from stormwater. *Chemosphere*, 169, 89-98.
- Mah, Y. S., Wong, A. E. L., & Teo, F. Y. (2018). Modelling of Grassed Road Divider as BioRetention System for Urban Road Drainage. *Journal of Applied Science & Process Engineering*, 5(2), 266-276.

MOLLE, P. *Filtres plantés de roseaux: limites hydrauliques et rétention du phosphore*. 2003, Tese de Doutorado. Montpellier 2, Université des Sciences et Techniques du Languedoc. 2003.

Romero Aguilar, M., Colín Cruz, A., Sánchez Salinas, E., & Ortiz Hernández, M. L. Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales. Sarar. (s.f.). filtros de aguas grises. Tepoztlán, Morelos, México: EcoSencia. (2009).

TOOD, D. K. *Ground water hydrology*. New York: John Wiley, 1959. 332 p.

VYMAZAL, J.; KROPFELOVÁ, L. Wastewater treatment in constructed wetlands with horizontal sub-surface flow. *Environmental Pollution*, 14. 2008.



## Anexos

Anexo A. Terreno antes de ser intervenido.



Anexo B. Toma de medidas previas al inicio de labores.

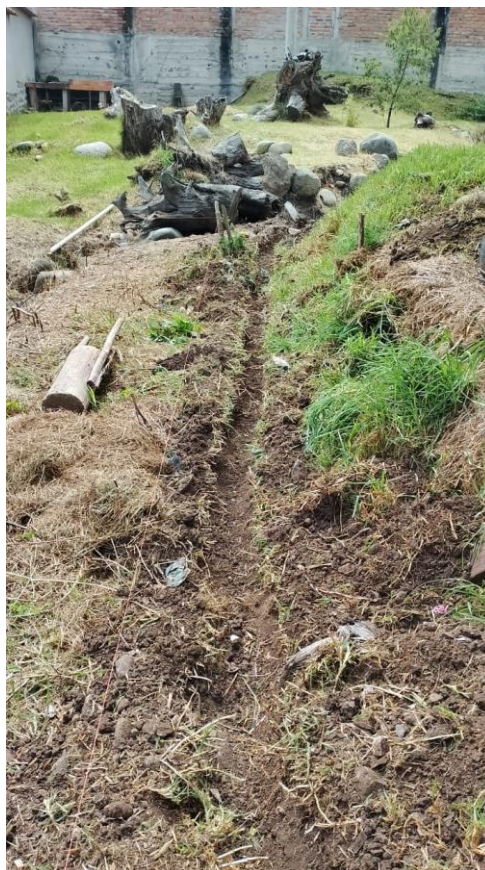




Anexo C. Elementos presentes en el terreno.



Anexo D. Cavado de zanja de desviación.





Anexo E. Elementos encontrados durante las labores de excavación.



Anexo F. Materiales de relleno retirados.





Anexo G. Proceso de excavación.



Anexo H. Labores de construcción.





Anexo I. Movilización de material que dificultaba la excavación.



Anexo 1. Troncos retirados en el proceso.





Anexo K. Labores finales de excavación.



Anexo L. Colocación de geomembrana.





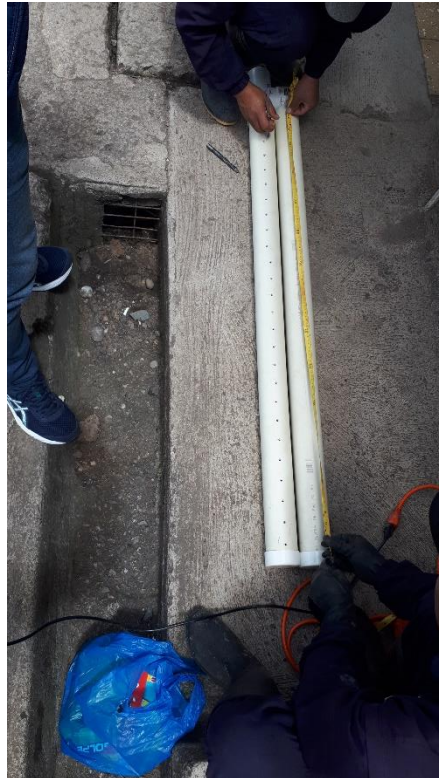
Anexo 2. Recepción del material de soporte.



Anexo N. Colocación del material de soporte en el humedal.



Anexo O. Preparación de tuberías previo a su instalación.



Anexo P. Hoyado de tuberías.



## Anexo Q. Colocación y nivelado de tuberías.



## Anexo R. Pruebas de flujo y llenado del sistema.





## Anexo S. Colocación de tuberías.



## Anexo T. Adecuación de la tubería de alimentación.



Anexo U. Pruebas de flujo en el sistema.



Anexo V. Implementación del sistema de desfogue.





Anexo W. Construcción del pozo de sedimentación.

