

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

IMPLEMENTACIÓN DE UNA BIOJARDINERA CASERA PARA TRATAR AGUAS GRISES DE UNA RESIDENCIA UBICADA EN LA CIUDAD DE QUITO, PARROQUIA DE TUMBACO

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL

Quilumba Sarango Alexandra Elizabeth

alexandra.quilumba@epn.edu.ec

Vicuña Bustos Paola Alejandra

paola.vicuna@epn.edu.ec

DIRECTORA: ING. SANDRA PATRICIA PANCHI JIMA, MSC.

sandra.panchi@epn.edu.ec

CODIRECTOR: ING. CÉSAR NARVÁEZ, MSC.

cesar.narvaez@epn.edu.ec

Quito, febrero 2022

CERTIFICACIÓN

Certifico/Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por las Srtas Quilumba Sarango Alexandra Elizabeth y Vicuña Bustos Paola Alejandra como requerimiento parcial a la obtención del título de Tecnólogas en Agua y Saneamiento, nuestra supervisión:



Ing. Sandra Patricia Panchi Jima

DIRECTOR(A) DEL PROYECTO

Ing. César Narváez

CODIRECTOR(A) DEL PROYECTO

DECLARACIÓN

Nosotras Quilumba Sarango Alexandra Elizabeth con CI: 1724250541 y Vicuña Bustos Paola Alejandra con CI: 1721755740 declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Sin perjuicio de los derechos reconocidos en el primer párrafo del artículo 144 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación – COESC-, somos titulares de la obra en mención y otorgamos una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva de uso con fines académicos a la Escuela Politécnica Nacional.

Entregamos toda la información técnica pertinente, en caso de que hubiese una explotación comercial de la obra por parte de la EPN, se negociará los porcentajes de los beneficios conforme lo establece la normativa nacional vigente.



Alexandra Quilumba



Paola Vicuña

DEDICATORIA

Mi tesis la dedico a Dios por haberme permitido cumplir una meta más en mi vida y por haber puesto en mi camino a personas que fueron parte de este proceso, a mis padres por enseñarme que con esfuerzo todo es posible, a mis amigas que conocí gracias al fútbol y que muchas de ellas son una motivación para seguir adelante, a esa persona especial que cada día confía en mí y que me motiva a ser mejor.

Dedico esto a todos en general porque fueron, son y serán parte de mi vida y que sin su apoyo no hubiese llegado a concluir esta etapa de mi vida.

Alexandra Quilumba

AGRADECIMIENTO

Estoy infinitamente agradecida con Dios porque me guió, porque me cuidó en todo momento, porque escuchó mis oraciones, por haber cumplido los anhelos de mi corazón, por haber puesto personas buenas en mi vida y también agradezco los malos ratos que pasé ya que sin ellos no hubiese podido descubrir de que estoy realmente hecha y gracias a ellos me armé de valor para ser mejor cada día. Gracias Padre Celestial porque fuiste, eres y serás el que estará junto a mi lado y porque deseas lo mejor para mí.

Gracias madre Maritza Sarango por haberte esforzado tanto para que todos tus hijos puedan tener una educación digna, porque gracias a todos tus regaños, consejos estoy aquí culminando un sueño de las dos.

Gracias padre Baltazar Quilumba por todo el sacrificio y hoy te estoy demostrando que, si valió la pena, agradecida por que eres un ejemplo de perseverancia y de superación.

Gracias a aquella persona que me ha apoyado en cada decisión y por cada palabra de aliento en momentos difíciles.

GRACIAS A TODOS

Alexandra Quilumba

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme tener vida, salud, ayudándome a no rendirme y poder culminar uno de los propósitos de mi vida, ser profesional.

A mi madre Patricia Bustos, por darme su ejemplo de una mujer luchadora, valiente, llena de fortaleza y por siempre darme su apoyo incondicional.

A mi hermana Daniela Bustos, por siempre creer y tener fe en mí, por sus palabras que me ayudaron a ser mejor cada día.

A mi abuelita Aida Pupiales, la mujer más noble y buena y quien ha sido mi mayor inspiración.

Paola Vicuña

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la sabiduría necesaria para culminar con éxito esta etapa de mi vida.

Agradezco a mi familia, mi madre, mi hermana y mi abuelita por ser mi pilar fundamental, ya que gracias a sus esfuerzos me ayudaron a llegar hasta este momento.

Agradezco a la Escuela Politécnica Nacional y todos los Ingenieros que conocí, los cuales impartieron sus conocimientos durante el transcurso de mi carrera.

Agradezco MSc. Sandra Panchi, por sus consejos, paciencia, tiempo y el apoyo que nos brindó para llevar adelante este trabajo.

Agradezco a mi compañera Alexandra, por su confianza y compartir conmigo esta experiencia llena de aprendizaje.

Agradezco a todas las personas que me ayudaron directa e indirectamente para el desarrollo de este trabajo.

Paola Vicuña

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN.....	I
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE ECUACIONES	XIII
GLOSARIO.....	XIV
RESUMEN	XVI
ABSTRACT.....	XVII
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Alcance	1
1.2. Objetivo General	2
1.3. Objetivos Específicos	2
1.4. Fundamentos teóricos.....	2
1.4.1 Recurso hídrico	2
1.4.2. Uso de agua	2
1.4.3. Aguas grises	3
1.4.4. Parámetros físicos y químicos.....	3
1.4.5. Biojardinera	5
1.4.6. Operación de la biojardinera	5
1.4.7. Vegetación del humedal	6
1.4.8. Muestreo	7
▪ Plan de muestreo.....	7
1.4.9. Normativa.....	8
▪ Acuerdo Ministerial N°028.....	8
▪ Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA)	
9	
2. METODOLOGÍA.....	11
2.1. Datos Preliminares de la Parroquia Tumbaco.....	11
2.2. Recursos naturales y variables climáticas	12

2.3. Levantamiento de información	13
2.3.1. Identificación del domicilio.....	13
2.3.2. Catastro del predio realización planimétrico e	14
instalaciones hidráulico-sanitario	14
2.3.3. Número de residentes	16
2.3.4. Hábitos de consumo de agua potable	16
2.3.5. Consumo mensual de agua potable.....	17
2.4. Determinación del caudal a tratar	17
2.5. Muestreo y caracterización del afluente	18
2.6. Consideraciones para el Diseño de la Biojardinera Casera	20
2.6.1. Fase de pretratamiento	20
2.6.2. Parámetros de diseño del humedal	21
2.6.3. Cálculos de los parámetros de diseño del humedal.....	21
2.6.4. Fase del depósito de almacenamiento	24
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
3.1. Catastro del domicilio.....	24
3.2. Hábitos de consumo y uso de agua en el domicilio	25
3.3. Caudal acumulado	25
3.4. Volumen consumido por departamentos.....	28
3.5. Diseño e Implementación del Sistema.....	30
3.5.1. Pretratamiento	30
3.5.2. Humedal	30
3.5.3. Depósito o almacenamiento.....	34
3.6. Ejecución del Sistema	35
3.6.1. Nivelación del terreno	35
3.6.2. Implementación del pretratamiento	37
3.6.3. Construcción e Implementación de la biojardinera	39
3.6.4. Construcción e Implementación del depósito de almacenamiento del efluente	43
3.7. Verificación del Sistema y Calidad del Efluente	43
3.7.1. Muestreo y caracterización del efluente	44
3.8. Evaluación del Funcionamiento del Sistema	47
3.8.1. Análisis de los parámetros físicos - químicos.....	48
3.8.2. Calidad del efluente según normativas	54
▪ Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente	55

▪ Registro Oficial 028.....	57
3.9. Usos del Agua Tratada.....	62
3.10. Manual de Mantenimiento para el Sistema de Tratamiento o Biojardinera Casera	62
3.11. Presupuesto de la Biojardinera Casera	64
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
4.1. Conclusiones.....	65
4.2. Recomendaciones	66
5. BIBLIOGRAFÍA.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Componentes de una Biojardinera.....	6
Figura 2. Límites de la Parroquia de Tumbaco	12
Figura 3. Ubicación del domicilio (Google Maps, 2021)	14
Figura 4. Plano hidrosanitario Planta 1. Dep. #1	15
Figura 5. Plano hidrosanitario Planta 2. Dep. #3	15
Figura 6. Planillas de agua de la residencia	17
Figura 7. Medición de pH y Temperatura in situ del afluente	18
Figura 8. Muestras del afluente y efluente	19
Figura 9. Vista frontal del sistema	20
Figura 10. Adecuación de tanques para el pretratamiento	21
Figura 11. Volumen Acumulado de los 2 departamentos en verano	27
Figura 12. Volumen Acumulado de los 2 departamentos en invierno	27
Figura 13. Volumen consumido en el mes de febrero en m ³	28
Figura 14. Volumen consumido en el mes de marzo en m ³	29
Figura 15. Volumen consumido en el mes de abril en m ³	29
Figura 16. Espacio para la implementación del sistema.....	35
Figura 17. Limpieza del lugar de la implementación del sistema	35
Figura 18. Tomando distancia de referencia para la nivelación	36
Figura 19. Nivelación del lugar	36
Figura 20. Señalización de la nivelación	36
Figura 21. Colocación de estacas y piolas para las dimensiones del sistema	37
Figura 22. Excavación para los tanques del pretratamiento	37
Figura 23. Colocación de tanques	37
Figura 24. Implementación de tuberías	38
Figura 25. Adaptación de tuberías en los tanques	38
Figura 26. Adaptación de tuberías en los tanques	38
Figura 27. Construcción de sifón.....	39
Figura 28. Relleno y culminación de la implementación del pretratamiento.....	39
Figura 29. Medición del área del humedal.....	39
Figura 30. Excavación para el humedal	40
Figura 31. Nivelación del área del humedal	40
Figura 32. Colocación del material impermeable.....	40
Figura 33. Perforación e instalación de tuberías	41

Figura 34. Recolección de ripio	41
Figura 35. Colocación del sustrato granular	41
Figura 36. Implementación del humedal	42
Figura 37. Selección de plantas.....	42
Figura 38. Colocación de vegetación en la biojardinera.....	42
Figura 39. Tanque de almacenamiento del efluente.....	43
Figura 40. Medición de pH y Temperatura in situ del efluente	44
Figura 41. Resultados de Nitratos y Nitritos.....	46
Figura 42. Resultado de Fósforo Total	46
Figura 43. Resultado de Sulfatos.....	47
Figura 44. Comparación entre resultados de afluente y efluente basado TULSMA.....	49
Figura 45. Comparación entre resultados de afluente y efluente basado TULSMA.....	50
Figura 46. Comparación entre resultados de afluente y efluente basado en Registro Oficial 028.....	50
Figura 47. Comparación entre resultados de afluente y efluente basado en Registro Oficial 028	51
Figura 48. Colocación de malla en tubos de salida del pretratamiento	59
Figura 49. Infiltración	59
Figura 50. Colocación de geomembrana.....	59
Figura 51. Lavado sustracto granular	60
Figura 52. Colocación del material granular.....	60
Figura 53. Adaptación de plantas.....	60
Figura 54. Colocación de plantas alrededor de la biojardinera	61
Figura 55. Tanque de almacenamiento del efluente.....	61
Figura 56. Muestra del efluente al laboratorio LASA	61
Figura 57. Mantenimiento del pretratamiento	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites máximos permisibles de descarga de calidad de agua para uso agrícola en riego de Registro oficial 028.....	8
Tabla 2. Límites máximos permisibles de descarga al sistema de alcantarillado público de Registro oficial 028	9
Tabla 3. Límites máximos permisibles de descargas de la Normativa (TULSMA) para aguas de uso agrícola	10
Tabla 4. Límites máximos permisibles de descargas de la Normativa (TULSMA)	11
Tabla 5. Valores y promedio de consumo de agua en m ³	17
Tabla 6. Porosidad del Sustrato	23
Tabla 7. Volumen Acumulado de los 2 departamentos	26
Tabla 8. Volumen consumido durante el mes de febrero por familias.....	28
Tabla 9. Volumen consumido durante el mes de marzo por familias	28
Tabla 10. Volumen consumido durante el mes de abril por familias	29
Tabla 11. Promedio consumo de agua Departamentos # 3 y #4	29
Tabla 12. Resultado de dimensionamiento del humedal con una DBO _e impuesta de 100 mg/L	32
Tabla 13. Resultados para las dimensiones del humedal con una DBO _e impuesta de 20 mg/L	33
Tabla 14. Dimensiones del humedal	33
Tabla 15. Resultados de análisis Físicos-Químicos del afluente	48
Tabla 16. Porcentaje de remoción de los parámetros físicos-químicos	52
Tabla 17. Resultados de las unidades de los parámetros pH y Temperatura.....	52
Tabla 18. Porcentaje de remoción de los parámetros físicos-químicos	54
Tabla 19. Comparación del afluente con el TULSMA	55
Tabla 20. Comparación del efluente con el TULSMA	56
Tabla 21. Comparación del afluente con el Registro Oficial 028.....	57
Tabla 22. Comparación del efluente con el Registro Oficial 028.....	58
Tabla 23. Resultados nuevos de los parámetros físicos-químicos.....	62
Tabla 24. Presupuesto para la implementación de la Biojardinera	65

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Caudal a tratar.....	22
Ecuación 2. Tiempo de retención	22
Ecuación 3. Constante de temperatura	22
Ecuación 4. Área del humedal	22
Ecuación 5. Ancho del humedal	23
Ecuación 6. Longitud del humedal.....	23

GLOSARIO

Acuífero: depósitos de agua que se ubican bajo la superficie terrestre, permitiendo que fluya el agua a través de distintas grietas.

Afluente: caudal de agua, agua residual u otro fluido que ingrese a un cuerpo de agua receptor, sistema o plantas de tratamientos.

Aguas Grises: provenientes de uso doméstico, por ejemplo, las aguas de lavabos de cocina, lavandería e higiene personal.

Catastro: se emplea para la distribución de un espacio geográfico con el fin de desarrollar el mismo.

Decantación: técnica en la cual se da la separación, entre sólidos y líquido o un fluido más denso de otro líquido con menor densidad.

Efluente: es el caudal de agua resultante de algún sistema de tratamiento.

Ecosistémico: son aquellos bienes o aprovechamiento que nos da el ecosistema para mejorar aspectos como la calidad de vida de las personas, la salud incluso la economía.

Granulometría: conformación de material que son agregadas algún espacio o construcción de acuerdo al rango de tamaño que tengan.

Intrínseco: se utiliza para calificar que es propio de algo, resulta esencial o indivisible del elemento en cuestión.

Lecho filtrante: es un sistema compuesto por basto poroso que se encuentra dentro de límites y condiciones determinadas logrando la removiendo impurezas y microorganismos, que permite la obtención de agua de mejor calidad.

Levantamiento Planimétrico: son operaciones que se realizan sobre un terreno, empleando diversos instrumentos para la obtener una representación gráfica de la superficie de una edificación ya existente.

Límite máximo permisible: es el límite que las normativas imponen para parámetros físicos, químicos y microbiológicos para que no pueda existir daño a la salud del ser humano y al ambiente.

Sustancias Lipídicas: moléculas orgánicas hidrófobas (insolubles en agua), constituidas por el hidrógeno y carbono y en mínima cantidad de oxígeno, aunque, puede existir azufre, fósforo, y nitrógeno.

Nitrificación: proceso por el cual el amoníaco es oxidado a nitrito y posteriormente a nitrato, mediante reacciones bacterianas (bacterias nitrificantes) o químicas.

Plantas macrófitas: se compone por plantas acuáticas. Como algas, musgos, helechos, entre otras que se adaptan a la vida acuática.

Planta perenne: son plantas acuáticas que se caracterizan por vivir más de dos años, muchas de estas plantas pueden tener sus hojas siempre de color verde, aunque se renuevan cada año poco a poco.

Piedra bola: son piedras de forma esférica de color gris oscuro, las cuales son usadas comúnmente para dar firmeza y estabilidad en rellenos creando superficies planas, suelen ser de tamaños desde 4.75 mm hasta 6”.

Plantas ubicuas: son planta que pueden hallarse con facilidad en cualquier hábitat y crecen en abundancia como las algas.

Rizomas: son tallos subterráneos que crecen en sentido horizontal para sostener a la planta, son capaces de almacenar nutrientes, funcionando como órganos de reserva para las plantas cuando presentan escases de estos.

Sedimentación: es una operación unitaria en la cual se da la separación por acción de gravedad la fase sólida y líquida de una dilución para obtener una suspensión concentrada y un líquido transparente.

Sello hermético: es un material elástico, suele ser de forma de diafragma o fuelle, ayuda a prevenir suciedad y la pérdida del medio operativo en un sistema como los ejes de arranque.

Tensión superficial: característica presente de todos los líquidos, la cual es la energía que se necesita para que aumente el área superficial de un líquido.

Transpiración: es la ausencia que tienen las plantas y se da mediante vapor.

Trampa de grasa: son cajas que sirven para retener las grasas, jabones y aceites, evitando que estos lleguen a desagües y provoquen problemas a largo plazo.

Patógeno: es todo mecanismo que da origen alguna enfermedad o daño en el cuerpo del ser humano o animal o vegetal, cuyas.

Parámetro: valor de referencia en el cual se permite medir resultados alcanzados para cumplimiento de algún objetivo, meta o actividad.

RESUMEN

El presente proyecto “Implementación de una biojardinera casera mediante aguas grises tratadas para su reutilización en una vivienda de la parroquia de Tumbaco” utiliza una tecnología de servicio ecosistémico. La finalidad del proyecto es la captación y tratamiento del agua gris proveniente de dos departamentos de una vivienda mediante la implementación de una biojardinera casera, cuyo caudal tratado será utilizado para diversas actividades en la misma, con la finalidad de plantear el reciclaje de las aguas grises como una manera de contribuir al uso sostenible del agua.

Mediante el transcurso de la realización del proyecto, se realizaron diversas acciones tales como: la planimetría del lugar, la disociación de tuberías de descarga para el agua gris la cual será tratada, el muestreo y la caracterización del afluente y efluente, la implementación del sistema, la cual se compone por un pretratamiento, humedal o biojardinera y el depósito de almacenamiento y para finalizar la elaboración de un manual de operación y mantenimiento del sistema.

Para la verificación de la reducción de concentración de contaminantes y su reutilización, se utilizó las normas del “Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente y del Registro Oficial 028”, determinando que el agua resultante cumple los límites permisibles para dichas normas, considerando el sistema de la biojardinera factible.

Palabras Clave: Agua gris, Ecosistémico, Pretratamiento, Afluente, Efluente.

ABSTRACT

The present project "Implementation of a home biogarden to treat gray water for reuse in a house in the parish of Tumbaco" uses an ecosystem service technology. The purpose of the project is the capture and treatment of gray water from two apartments of a house through the implementation of a homemade bio-garden, whose treated flow will be used for various activities in it, with the purpose of proposing the recycling of gray water. as a way to contribute to the sustainable use of water.

Through the course of carrying out the project, various actions were carried out such as: the planimetry of the place, the dissociation of discharge pipes for the gray water which will be treated, the sampling and characterization of the influent and effluent, the implementation of the system, which is made up of a pre-treatment, wetland or bio-garden and storage tank and to finalize the development of an operation and maintenance manual for the system.

To verify the reduction in the concentration of contaminants and their reuse, the standards of the "Unified Text of Secondary Environmental Legislation and Official Registry 028" were used, determining that the resulting water meets the permissible limits for said standards, considering the feasible biogarden system.

Key Words: Gray water, Ecosystem, Pretreatment, Influent, Effluent.

1. INTRODUCCIÓN

Debido a la coberturas de agua potable y alcantarillado en el DMQ alcanzando el 98,80% y 94,14%, respectivamente (EPMAPS, 2021), se puede gozar de este recurso hídrico para diversas actividades ya que se cuenta las 24 horas con este servicio. Y aunque la cobertura de tratamiento a nivel de provincia es alta, existen grandes problemas con la disposición final del agua potable que llega a nuestros domicilios, que, una vez usada por toda actividad doméstica y sin un previo tratamiento o separación, estas se unen con aguas residuales y, por medio de los sistemas de alcantarillado se mezclan con agua lluvia, siendo en su gran mayoría el destino final los ríos, aumentando la contaminación de los mismos (Cubillo & Gómez, 2017)..

Es por ello que actualmente se está promoviendo tecnologías de saneamiento de bajo costo y fácil implementación que puedan ser desarrollados en domicilios y adaptados a condiciones del entorno como: suelo, clima, planificación urbana, entre otros.

En los domicilios se puede reusar el agua proveniente de las descargas de los lavabos, fregaderos de cocina y de las lavadoras, aquellas que no contengan materia fecal, a estas aguas se las denominan aguas grises (AQUA ESPAÑA, 2018). Este tipo de agua poseen restos de comida, contenido jabonoso, cabellos etc., su carga contaminante es baja por lo que es apta para el reciclaje.

Al reutilizar las aguas grises se ahorra entre un 30% y 45% de agua potable, además que los valores en las planillas de agua se reducirán y el caudal de descarga de agua residual doméstica será menor, esto permitirá reducir la contaminación en cuerpos hídricos (Elizabeth Díaz Cuenca, 2012).

El tratamiento de agua que se presenta en este proyecto servirá como guía ya que se explicará paso a paso como llevar a cabo la implementación de una biojardinera para una vivienda así mismo su mantenimiento, ya que se estudia lo técnico para reutilizar el agua gris procedentes de uso doméstico de agua potable, devolviendo de esta manera a la naturaleza agua más limpia.

1.1. Alcance

El proyecto busca la implementación de un tratamiento o biojardinera casera para tratar aguas grises en la residencia de la parroquia de Tumbaco, que busca:

1. Optimizar el consumo de agua potable, por medio de tecnologías ambientales.
2. Mejorar la calidad de agua gris para su reutilización.

3. Reducir los contaminantes presentes en el agua gris, mediante las etapas que involucra la implementación de la biojardinera.
4. Utilizar materiales reciclados para la conformación del sistema de tratamiento o biojardinera casera.
5. Concientizar y socializar el presupuesto para la implementación del sistema a los residentes de la vivienda.

El proyecto estará basado en la Asociación Centroamericana para la Economía, la Salud y el Ambiente (ACEPESA), Acuerdo Ministerial N° 028 y Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) que son fuentes oficiales para diseño, operación y mantenimiento de biojardinera casera.

1.2. Objetivo General

Implementar una biojardinera casera para tratar el agua gris de una residencia ubicada en la ciudad de Quito, parroquia de Tumbaco.

1.3. Objetivos Específicos

- Realizar el levantamiento planimétrico y de instalaciones hidráulico-sanitarias de la residencia o sitio en el cual se implementará el proyecto.
- Determinar el caudal a tratar y caracterización del afluente y el efluente.
- Diseñar el sistema de tratamiento o biojardinera casera.
- Implementar el sistema de tratamiento o biojardinera casera en la residencia.

1.4. Fundamentos teóricos

1.4.1. Recurso hídrico

El agua es fundamental para todo ser vivo, siendo sostenible para la vida del ser humano, acciones productoras y todo ecosistema.

En la actualidad el agua que se encuentra en la superficie de la Tierra equivale al 71%, siendo un 0,75% (8 millones de km³) de agua dulce, ya sea en aguas superficiales y subterráneas y, siendo el 0,2% que se encuentra en la atmósfera (González, Baque, Simba, 2016).

1.4.2. Uso de agua

Para una mejor comprensión de los diferentes usos que el hombre hace del agua se las agrupa en dos: uso consecutivo uso no consecutivo. El uso consuntivo (con consumo), es cuando el agua no retorna al medio donde se ha captado; En el caso de uso no consuntivo (sin consumo) es aquella que, una vez utilizada, regresa al medio del cual

ha sido extraída inmediatamente, aunque haya cambiado sus propiedades iniciales. (GEOECUADOR, 2008).

En el país los usos consuntivos más relevantes son para riego, usos domésticos y para las industrias, dando un consumo de 22.500 hm³/año, de lo cual, según el Consejo Nacional de Recurso Hídricos (CNRH) el 81,1% es para riego, para usos doméstico es de 12,3%, para industrias el 6,3% y para otros usos corresponde el 0,3% (GEOECUADOR, 2008).

Mientras que el principal uso no consuntivo del agua en el Ecuador es el que se hace para la generación de energía hidroeléctrica, la cual es la principal fuente de electricidad en el país (71%) seguida por la generación térmica (23%), otros (6%) (Guastay Cajo & Llanes Cedeño, 2020).

1.4.3. Aguas grises

Las aguas grises son aquellas aguas que provienen del uso doméstico, tales como lavaplatos, lavandería, duchas; sus características varían según las costumbres, estilo de vida que tengan los diferentes residentes, también el tipo de red de distribución que tengan y la calidad de abastecimiento que se les provee (Corrales, 2011).

Estas aguas son de color gris, ya que tienen poca carga de nutrientes y materia orgánica sin presencia de heces y orina, en comparación de las aguas residuales, adicionalmente en gran parte del mundo estas aguas son inservibles (Centeno y Gutiérrez, 2019).

1.4.4. Parámetros físicos y químicos

- **Aceites y Grasas**

Es toda sustancia de naturaleza lipídicas, procedentes de desperdicios alimentarios en su mayoría, que al no mezclarse con el agua permanecen en la parte de arriba y aparece espuma y nata, las cuales obstaculizan un tratamiento adecuado sea físico o químico. (Moina & Aldaz, 2012).

- **Agentes Tensoactivos**

Son aquellos provenientes de detergentes usados para la limpieza del hogar, modificando la tensión superficial del agua. Estos detergentes en su mayoría contienen sosa cáustica, la cual mata a los microorganismos que viven en el agua, lo que conlleva a la imposibilidad de degradar los residuos (Cevallos & Guañuna, 2019).

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

Siendo el parámetro con mayor importancia ya que es la cantidad de oxígeno necesario para descomponer la materia orgánica, y también en este caso es el principal indicador del funcionamiento del proceso de tratamiento del agua (Cevallos & Guañuna, 2019).

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Es la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer químicamente la materia orgánica e inorgánica, siendo un parámetro que se lo usa con frecuencia para determinar la contaminación orgánica en aguas residuales y aguas superficiales, comúnmente es utilizado en las plantas depuradoras de aguas residuales. (Shiguango José, 2016).

- **Fósforo**

La existencia de este parámetro en aguas permite determinar que existe contaminación del recurso hídrico por aguas contaminadas o aguas residuales.

- **Nitratos y Nitritos**

Son compuestos solubles conformados molecularmente por nitrógeno y oxígeno. En el ambiente, el nitrito (NO_2^-) generalmente se convierte a nitrato fácilmente (NO_3^-), lo que significa que el nitrito raramente está presente en aguas subterráneas. El nitrato es esencial en el crecimiento de las plantas. Por esta razón, su uso predominante es como fertilizante y se produce en grandes cantidades industrialmente ((Bolaños, 2017).

- **Potencial de Hidrogeno (pH)**

Es un parámetro común para determinar la calidad de agua, identificando si es acida, básica o neutra. Es una medida de iones hidrogeno en el agua, con escala en el rango de 0 a 14, siendo 7 neutro. Gran parte de las aguas grises son alcalinas por la presencia de jabón, desinfectantes u otros componentes variando un pH de 6.7 – 8.7 (Chang, 2009).

- **Sólidos**

Se refiere de aquellas partículas o sedimentos que provienen del lavado de frutas o verduras y también en el lavado de prendas de vestir. La concentración de estas depende de las actividades que realicen los habitantes de la residencia (Cevallos & Guañuna, 2019).

- **Sulfatos**

Son provenientes de los productos de las industrias químicas como colorantes, jabones, desinfectantes y detergentes, siendo el resultado de la oxidación de ácido sulfhídrico

H₂S que están presentes en el agua, las concentraciones altas de este parámetro pueden provocar problemas en su calidad y al uso que se le vaya a dar al agua (Shiguango Jose, 2016).

- **Temperatura**

Este parámetro ayuda a determinar un índice de crecimiento microbiano y procesos químicos dentro del agua, si la temperatura llega a ser alta, puede ser perjudicial por el agotamiento de oxígeno y si esta llega a ser baja, provoca un crecimiento microbiano y procesos químicos muy lentos, la temperatura de las aguas grises oscila entre 18-38 °C (Cevallos & Guañuna, 2019).

1.4.5. Biojardinera

Según el Centro de Investigación y Estudios en Medios Ambientales (CIEMA, 2005), define al humedal o biojardinera como espacios que tienen un suelo con abundante agua. Los humedales abarcan 3 componentes: agua, suelo y vegetación, siendo un método natural para el tratamiento de aguas grises, efectiva a nivel familiar ya que brinda diversos beneficios como fácil construcción y operación y costo bajo (Cubillo & Gómez, 2017).

Las biojardineras son humedales en los que interactúan componentes biológicos contenidos en las aguas residuales, junto a los elementos de la jardinería tales como raíces, la piedra, el agua y la tierra. Todos ellos ayudan al proceso de purificación del agua. Aunque el líquido no puede ser usado para consumo humano ni animal, sí se puede aprovechar para el riego, jardinería o bien devolverla limpia a la naturaleza (Gómez, 2016).

1.4.6. Operación de la biojardinera

El sistema de tratamiento de aguas grises o biojardinera casera esta forma principalmente por 3 etapas, estas son: pretratamiento, la biojardinera o humedal y el almacenamiento de las aguas tratadas.

- **Tratamiento primario o pretratamiento**

El proceso del sistema de una biojardinera inicia con un pretratamiento, esta etapa es fundamental ya que es donde se va dar la separación y retención de partículas sólidas, materiales gruesos y grasas provenientes de los usos domésticos del domicilio (Cevallos Denisse & Guañuna Jeferson, 2019).

Debe contener fundamentalmente una trampa de grasa u optar por recipientes que cumplan con las condiciones requeridas y, se debe tener en cuenta que los tubos

cuenten con perforaciones, ya que por la acumulación de sedimentos puede traer malos olores (ACEPESA, 2010).

- **Biojardinera o humedal**

El humedal está constituido por un lecho filtrante el cual está compuesta por piedra bola con un diámetro de 90 a 130 mm, colocado aproximadamente a 50 cm de los extremos de la biojardinera y en el centro se deberá colocar piedra cuarta o piedra de menor diámetro, a una distancia de 13 a 32 mm a la piedra bola. Y en la parte final del humedal se deberá colocar un tubo en la parte inferior del mismo para la salida del agua que dirigirá al agua hacia el depósito de almacenamiento (Cevallos Denisse & Guañuna Jeferson, 2019).

Uno de los componentes principales del humedal o biojardinera es el sembrío de las plantas. Para que se lleve a cabo su buen funcionamiento se precisa que las raíces de las plantas hayan crecido lo suficiente y hayan creado una red subterránea entre las piedras (ACEPESA, 2010).

- **Depósito de las aguas tratadas**

El depósito de almacenamiento es la etapa final de la biojardinera, es donde llegará las aguas tratadas, este depósito debe estar ubicado donde cause un menor impacto negativo ambiental y debe contar con un sello hermético para evitar que se contamine por insectos u otros contaminantes (ACEPESA, 2010). En la figura 1 se presenta con mayor detalle la biojardinera.

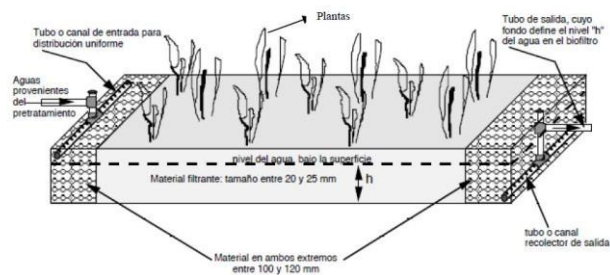


Figura 1. Componentes de una Biojardinera (Corrales, 2011)

1.4.7. Vegetación del humedal

Las plantas que se emplean para los humedales artificiales son organismos foto autótrofos, es decir que captan y almacenan la energía solar para transformar el carbono inorgánico en carbono orgánico. Las hojas y tallos captan el oxígeno desde la atmosfera y pueden transferirla hasta las raíces, este proceso da lugar a regiones aerobias y los

microorganismos usan este oxígeno para producir la nitrificación y degradación de materia orgánica (Delgadillo; Camacho; Andrade; Pérez, 2010).

Las plantas macrófitas son las más aptas, ya que se adaptan fácilmente al medio acuático, creando adaptaciones para desarrollarse, crecer y reproducirse (Cevallos Denisse & Guañuna Jeferson, 2019).

Existen diversas clasificaciones de vegetación para humedales artificiales, de acuerdo al material de vegetal predominante en los lechos son:

- **Humedales basados en macrófitas flotantes**

Son plantas angiospermas que crecen en suelos inundados, que no se encuentran adheridas al substrato. En esta clase de plantas resalta la lenteja de agua (Cevallos & Guañuna, 2019).

- **Humedales basados en macrófitas sumergidas**

En su mayoría, estas plantas absorben dióxido de carbono ya que sus órganos reproductores son aéreos, suelen recibir directamente la luz solar y, pueden ser angiospermas y gimnospermas, en esta clase de plantas resalta el pasto de agua (Cevallos & Guañuna, 2019).

- **Humedales basados en macrófitas emergentes**

Las plantas emergentes son plantas con órganos reproductores aéreos, las cuales captan el oxígeno desde su parte aérea hasta sus raíces, produciendo la oxigenación al humedal, por lo general viven más de dos años, dentro de estas clases de plantas se puede mencionar el carrizo y la totora (Cevallos Denisse & Guañuna Jeferson, 2019).

1.4.8. Muestreo

El fin de llevar a cabo un procedimiento de muestro en las aguas grises es para la realización de análisis físico-químicos y microbiológicos (Shiguango, 2016).

- **Plan de muestreo**

El plan de muestreo es esencial a que proporciona un modelo de guía para las personas que van a realizar la muestra y de esta manera reducir errores en ella, además de obtener resultados óptimos.

El plan de muestreo debe tener como mínimo las siguientes características:

- Datos del cliente: empresa, nombre del contacto, domicilio y teléfono.

- Datos de la muestra: ubicación, tipo de muestra a coleccionar, fecha y hora de la toma, si es muestra simple o compuesta.
- Parámetros a analizar (incluyen pruebas de campo).
- Volumen de la muestra.
- Tipo de contenedor (envases)
- Horas/día que opera el proceso generador de la descarga.
- Frecuencia de muestreo para hacerla compuesta, número de muestras simples cada hora.

1.4.9. Normativa

Se menciona las siguientes normas generales para descargas de efluentes:

- **Acuerdo Ministerial N°028**

Establece los procedimientos, y regula las actividades y responsabilidades públicas y privadas en materia de calidad ambiental. (Ministerio del Ambiente, 2015).

Se determina:

- Numeral 5.1.3: Criterios de calidad de agua de uso agrícola o de riego.
- Numeral 5.2.3: Normas generales para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado.
- Numeral 5.2.4: Normas generales para descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce.

Tabla 1. Límites máximos permisibles de descarga de calidad de agua para uso agrícola en riego de Registro oficial 028

Registro oficial 028 Tabla. 4 Uso Agrícola en Riego			
Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico (total)	As	mg/l	0,1
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro (total)	B	mg/l	0,75
Cadmio	Cd	mg/l	0,05
4Dnc	Zn	mg/l	2,0
Cobre	Cu	mg/l	0,2
Cromo	Cr+6	mg/l	0,1
Fluor	F	mg/l	1,0
Hierro	Fe	mg/l	5,0
Litio	Li	mg/l	2,5
Manganeso	Mn	mg/l	0,2

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2015)

Tabla 2. Límites máximos permisibles de descarga al sistema de alcantarillado público de Registro oficial 028

Registro oficial 028				
Tabla 9-10. Descarga alcantarillado y cuerpo de agua dulce				
Parámetro	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible	
			Descarga al sistema de alcantarillado público	Descarga a un cuerpo de agua dulce
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	70,0	30,0
Agentes Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	2,00	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅	mg/l	250,0	100,0
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	500	200,0
Fosforo Total	P	mg/l	10,0	15,0
Nitrógeno Total	N	mg/l	-	30,0
Potencial de Hidrogeno	pH		8	9
Solidos Sedimentables	SS	ml/l	20,0	-
Solidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	220,0	130,0
Solidos Totales	ST	mg/l	1600,0	1600,0
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	400,0	1000,0
Temperatura	°C		<40,0	<23

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2015)

▪ **Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA)**

Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua. La siguiente norma técnica ambiental está revisada y actualizada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.

La norma técnica determina o establece:

- a) Los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en uso agrícola y riego, cuerpos de aguas dulce o sistemas de alcantarillado.
- b) Los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos; y, Métodos y procedimientos para determinar la presencia de contaminantes en el agua (Ministerio del Ambiente, 2016).

Tabla 3. Límites máximos permisibles de descargas de la Normativa (TULSMA) para aguas de uso agrícola

Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA)			
Tabla. 8 Uso agrícola en riego			
Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico (total)	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro (total)	B	mg/l	1,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,01
Carbamatos totales	Concentración total de carbamatos	mg/l	0,1
Cianuro (total)	CN-	mg/l	0,2
Cobalto	Co	mg/l	0,05
Cobre	Cu	mg/l	2,0
Cromo hexavalente	Cr+6	mg/l	0,1
Flúor	F	mg/l	1,0
Hierro	Fe	mg/l	5,0
Litio	Li	mg/l	2,5
Materia flotante	visible		Ausencia
Manganeso	Mn	mg/l	0,2
Molibdeno	Mo	mg/l	0,01
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,001
Níquel	Ni	mg/l	0,2
Organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales.	mg/l	0,2
Plata	Ag	mg/l	0,05
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Plomo	Pb	mg/l	0,05
Selenio	Se	mg/l	0,02
Sólidos disueltos totales		mg/l	3 000,0
Vanadio	V	mg/l	0,1
Aceites y grasa	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Coniformes Totales	nmp/100 ml		1 000
Huevos de parásitos		Huevos por litro	cero
Zinc	Zn	mg/l	2,0

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2012)

Tabla 4. Límites máximos permisibles de descargas de la Normativa (TULSMA)

Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA)				
Tabla. 11-12 Descarga de alcantarillado y cuerpo de agua dulce				
Parámetro	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible	
			Descarga al alcantarillado público	Descarga a un cuerpo de agua dulce
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	100	0,3
Agentes Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	2	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅	mg/l	250	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	500	250
Fosforo Total	P	mg/l	10	15
Nitritos Nitratos	Expresado como Nitrogeno (N)	mg/l	5,9	10
Potencial de Hidrogeno	pH		9	9
Solidos Sedimentables	SS	ml/l	20	1
Solidos Suspendidos	SST	mg/l	220	100
Solidos Totales	ST	mg/l	1600	1600
Sulfatos	SO ₄	mg/l	400	1000
Temperatura	°C	Condición Natural +/- 3 grados	<40	<35

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2012)

2. METODOLOGÍA

2.1. Datos Preliminares de la Parroquia Tumbaco

La parroquia de Tumbaco está ubicada a faldas del cerro Ilaló al lado oriental en la provincia de Pichincha con una superficie de 182 km². Limitada: al Norte los ríos San Pedro y Chiche, al Este con las parroquias de Puembo y Pifo y el Río Chiche, al Oeste al Río San Pedro y Parroquia de Cumbaya y al Sur el Cerro Ilaló (GAD, 2016). En la figura 2 se presenta mayor detalle de la Parroquia de Tumbaco.

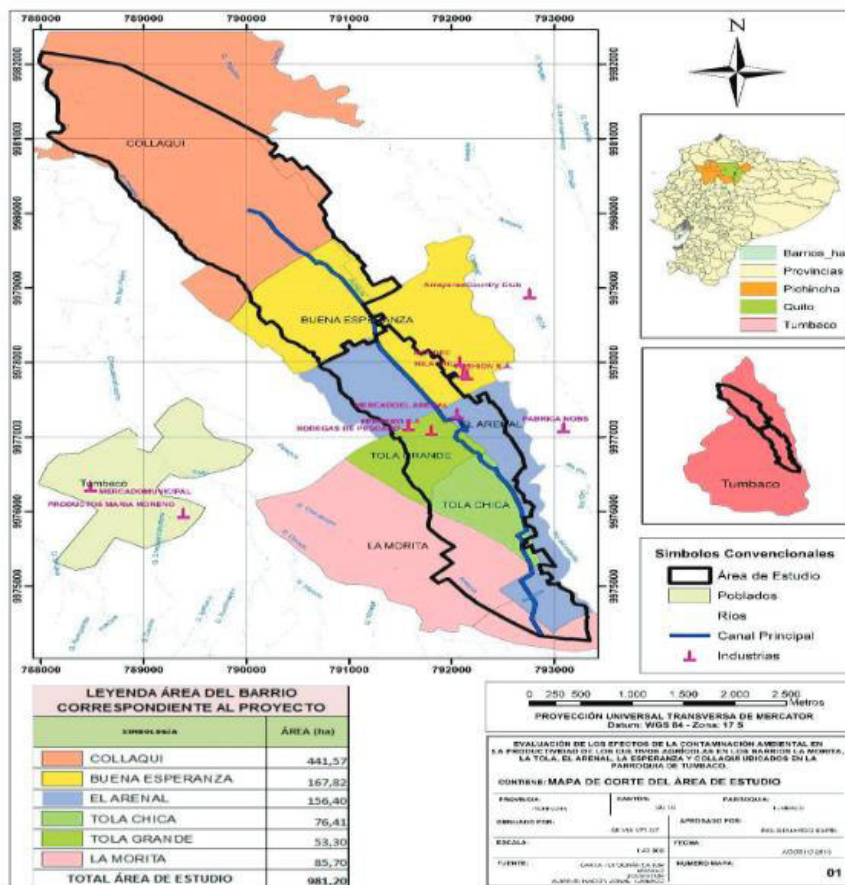


Figura 2. Límites de la Parroquia de Tumbaco (GAD TUMBACO, 2016)

2.2. Recursos naturales y variables climáticas

Flora y Fauna

La parroquia de Tumbaco debido al clima templado que posee existe variedad de flora entre productos agrícolas tenemos mandarinas, aguacates, guabas, limones, duraznos, chirimoyas lechugas, rábano, choclo, fréjol (GAD, 2016).

En cuanto a su fauna existe diversas aves como los colibríes, golondrinas, mirlos, tórtolas, pájaros pechirrojos, gavilanes (GAD, 2016).

Suelo

La mayor parte del suelo de Tumbaco es franco-arenoso este es moderadamente profundo en los barrios Pachosalas, Leopoldo. Chávez, La Cerámica, Chiviquí y Chuspiyácu. El 7% es franco-arcilloso-arenoso en los barrios de Cununyacu y Cashaloma y un 2% de franco-arenoso poco profundo en los barrios Plazapamba, La Tolita, Alcantarilla, Churroloma, San José de Collaquí, Las Peñas Albán y Olalla (GAD, Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Tumbaco, 2015).

Temperatura

La parroquia de Tumbaco posee un clima templado subtropical, la temperatura media es de 14.7 °C, agosto es el mes con más calor. Mientras que el mes de noviembre el más frío, con temperaturas promediando 14.0 °C (GAD TUMBACO, 2016).

- **Precipitación**

Las cifras sobre la precipitación de la parroquia de Tumbaco se la obtuvieron del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología” (INAMHI). La Estación meteorológica “La Tola” es la más cercana al lugar de estudio, la estación tiene el código M-002, latitud: 0° 13’ 46” S, longitud: 78° 22’ 0” W.

- **Recurso hídrico**

En Tumbaco existe el canal de riego Tumbaco que es la principal infraestructura de fuente abastecimiento de agua, la cual pertenece a la sub-cuenca del Río Guayllabamba y se encuentra conformada por cuatro microcuencas; Quebrada Viñan, Río Chiche, Río San Pedro y Río Alcantarilla, este ramal tiene una longitud de aproximadamente 60 Km y riega a barrios como: Tola Grande, La Tola Chica, El Arenal, Las Acacias, La Esperanza, La Buena Esperanza y San José de Collaquí (Corrales, 2011).

2.3. Levantamiento de información

El siguiente proyecto tuvo lugar en la Parroquia de Tumbaco en el Barrio San José de Collaquí, lugar donde se realizó la instalación de una biojardinera para el aprovechamiento de aguas grises del domicilio, exactamente dos departamentos de los cuatro existentes.

2.3.1. Identificación del domicilio

El domicilio estuvo ubicado en el Barrio San José de Collaquí en la calle principal Luis Stacey Guzmán y calle transversal Las Collas, el domicilio se tomó como referencia el estadio barrial de San José de Collaquí. En la figura 3 se presenta mayor detalle de la ubicación de la residencia.



Figura 3. Ubicación del domicilio (Google Maps, 2021)

2.3.2. Catastro del predio realización planimétrico e instalaciones hidráulico-sanitario

Para definir el área requerida para el tratamiento y, puesto que el área del terreno fue menor a 1 km, se realizó un levantamiento planimétrico geo referenciado, en el que se empleó la aplicación Stardevelopers, Medición de área GPS, por medio del celular. Para conocer el área total del terreno, se obtuvieron las coordenadas de los cuatro puntos de los linderos del terreno, posteriormente se tomó puntos en el lugar donde se implementó el sistema de la biojardinera y obtener una precisión aproximada del área que se necesitó para dicha implementación. Para mayor seguridad en cuanto a las medidas y puntos correctos obtenidos nos guiamos con las escrituras del terreno las cuales se pudo tener coincidencias con los dos mecanismos usados en las áreas del lugar.

La situación actual de la propiedad, conformada por 4 departamentos, que esta distribuidos en dos plantas, baja y alta, dos por cada planta. El departamento de la familia García (departamento 1) de la planta baja, recibía las aguas negras del departamento de la planta alta de la familia Quilumba Sarango (departamento 3), en el momento en que las aguas se juntaban y pasaban por debajo del piso de la cocina de la familia García (departamento 1), se juntaban las aguas grises de la cocina y negras y posterior se dirigían a la caja de revisión, finalmente salían mediante una tubería a la calle al sistema de alcantarillado municipal (Ver figura 12).

Las aguas negras de la familia Villagómez (departamento 4) de la planta alta bajaban y se juntaban con las aguas negras y grises del departamento de la familia Gonzales (departamento 2) en la planta baja y posterior iban a la caja de revisión para luego ir al sistema de alcantarillado municipal. En la figura 4 se presenta con mayor detalle los planos de la planta 1.

. Las aguas grises de los dos departamentos #3 y #4 de la planta alta de la familia Quilumba y Villagómez respectivamente, bajaban por una tubería y se dirigían a un tanque de almacenamiento de aguas grises temporal que se encontraba en la planta baja en el patio posterior de la propiedad. Estas aguas grises iniciaban con las aguas del lavabo de la cocina de la familia Quilumba (departamento 3), luego a estas aguas se juntaban con las aguas procedentes del lavabo de la cocina y las aguas de la lavadora del departamento de la familia Villagómez (departamento 4). En la figura 5 se presenta con mayor detalle los planos de la planta 2.

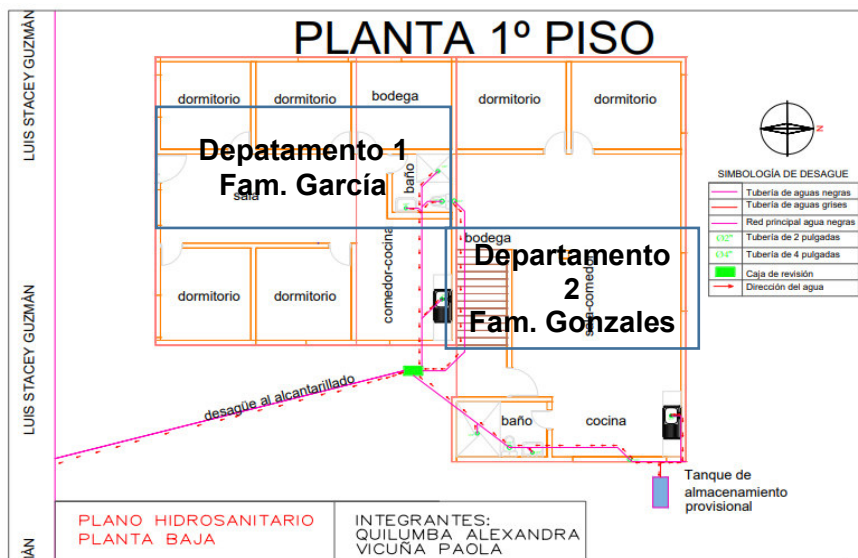


Figura 4. Plano hidrosanitario Planta 1. Dep. #1 (García) y Dep. #2 (Gonzales)

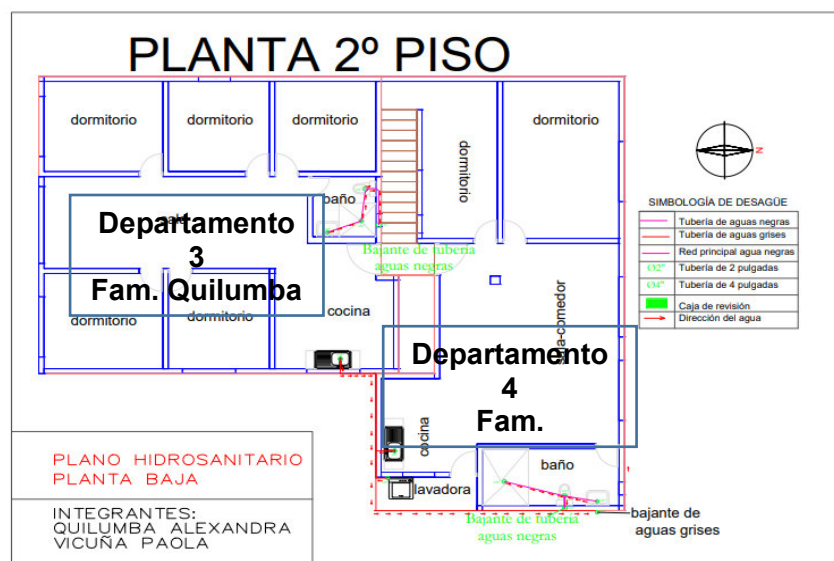


Figura 5. Plano hidrosanitario Planta 2. Dep. #3 (Quilumba) y Dep. #4 (Villagómez)

En el Anexo I, se presentan los planos de la residencia, conforme al levantamiento realizado.

2.3.3. Número de residentes

El domicilio de estudio contaba con 4 departamentos, 2 de la planta baja y 2 de la planta alta. Los dos departamentos de la planta alta fueron los que se tomaron en cuenta para este proyecto.

- Planta baja: departamento #1 y departamento #2 (Ver figura 12).
- Planta alta: departamento #3 y departamento #4 (Ver figura 13).

En el departamento #3 habitaban 8 personas: padre, madre, 4 hijos mayores de edad (28, 25, 22 y 20 años) y finalmente un niño de 5 años y un bebe de 2 meses.

Los miembros de este departamento, en el transcurso de la semana, pasaban la mayoría del tiempo fuera del hogar; el padre pasaba en casa las noches y fines de semana, la madre salía a trabajar y llegaba al hogar a las 15h00, los 2 hijos salían al trabajo y las 2 hijas se quedaban en casa con los niños.

En el departamento #4 habitaban 4 personas: padre, madre y 2 hijos (un joven de 23 años y un niño de 10 años).

Los miembros del departamento #4 por lo general en su diario vivir en la semana, el padre se encontraba ausente por las mañanas y otras semanas por las tardes, debido a sus horarios rotativos en su trabajo, la madre salía a trabajar tres veces a la semana y llegaba a su casa más o menos a las 14h30, el joven y el niño permanecían en el hogar todo el día de lunes a viernes, pero el joven los fines de semana salía al trabajo. En la Figura 14 se muestra los miembros de la familia del departamento 4.

2.3.4. Hábitos de consumo de agua potable

Las actividades que se efectuaban en los departamentos en el transcurso de la semana fueron las siguientes:

- Lavado de ropa en máquina
- Ducha
- Cepillado de dientes
- Descarga del inodoro
- Lavado de vajilla
- Consumo diario

El domicilio contaba con un solo medidor, por lo que se decidió colocar de manera interna otros para cada departamento y poder contabilizar la cantidad de agua que consumía cada familia.

2.3.5. Consumo mensual de agua potable

La residencia que fueron de 4 departamentos contaba con un solo medidor de agua, que registra el consumo de toda la propiedad, cuyo valor mensual promedio de tres meses fue de 71 m³.

Para la determinación del consumo aproximado de agua en la vivienda, se realizaron aforos de medición de caudal en cada uno de los cuatro departamentos y, en todos los puntos de tomas de agua de la residencia. En la figura 6 se presenta las planillas de agua de la residencia de meses enero, febrero y marzo, con un volumen promedio de 71 m³.



Figura 6. Planillas de agua de la residencia

Tabla 5. Valores y promedio de consumo de agua en m³

Meses	Valor de factura	Unidad
Enero	87,33	m ³
Febrero	44,42	m ³
Marzo	54,39	m ³
Promedio	71	m³

2.4. Determinación del caudal a tratar

La construcción de la residencia ya contaba con tuberías separadas de aguas grises en dos de los cuatro departamentos existente en la propiedad, estos dos departamentos son de las familias Villagómez y Quilumba (departamento #4 y departamento #3) respectivamente, estas tuberías conducían aguas grises procedentes de las cocinas y lavadora hacia un depósito de almacenamiento provisional.

Para la determinación del volumen a tratar se procedió de la siguiente manera: se tomó las longitudes que tenía el tanque: largo 2 m, ancho 1,01 m y profundidad 0,69 m, lo que nos dio un volumen total de 1,39 m³. Posterior el tanque debía estar vacío y durante un mes tanto en invierno como en verano todas las noches a la misma hora se anotaba la altura del agua y se iba sacando el volumen de agua gris generado ese día por parte de los departamentos involucrados en este proyecto. Cuando el tanque se acumulaba de agua para evitar su desborde, era bombeada a los sembríos, este procedimiento se lo realizaba sucesivamente cada vez que el tanque se vaciaba.

2.5. Muestreo y caracterización del afluente

Se realizó un plan de muestreo, tomando muestras de forma correcta y que sean representativas, evitando así cualquier error al momento de llevar a cabo los análisis para el laboratorio, Ver Anexo II.

Los parámetros que se tomaron en cuenta para la caracterización del agua gris y límites permisibles para descargas al alcantarillado público y descarga a un cuerpo de agua dulce que fueron los correspondientes al agua gris fueron normados en el "Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente" (TULSMA) y "Registro Oficial 028".

Los análisis para la caracterización *in situ* fueron realizados con el equipo Multiparámetro con la determinación de los siguientes parámetros:

- **pH y Temperatura**

Se empleó un frasco más pequeño, tomando la muestra, la cual fue una muestra simple, se procedió a encender el equipo, se introdujo la sonda en el frasco que contenía la muestra y se procedió con la medición. En la figura 7 se muestra un mayor detalle de la toma de muestra *in situ*.



Figura 7. Medición de pH y Temperatura *in situ* del afluente

Los análisis para la caracterización del afluente en laboratorio se realizaron en 2 lugares diferentes, los cuales fueron en:

- Laboratorio LASA Cia. Ltda., con la acreditación SAE-LEN 06-002 LABORATORIO DE ENSAYOS que cuenta con ISO/IEC 17025:2017 para análisis de agua acreditadas. En este laboratorio se realizó solo el análisis de DBO5, se lo hizo con prioridad y anticipación para realizar los cálculos del humedal. La muestra fue tomada las 9:30 y se colocó en un envase de vidrio, esta muestra no contaba con ningún preservante debido a la cercanía que existió entre el punto de muestreo y el laboratorio, aproximadamente 30,6 km con un tiempo de demora en transporte privado de 50 minutos. Los resultados fueron proporcionados una semana posterior. Ver Anexo III.
- CICAM Centro de Investigación y Control Ambiental, ubicado en la Escuela Politécnica Nacional. Los análisis que se realizó en este laboratorio fueron 2 muestras, la primera muestra se tomó en una botella ámbar, para el análisis de:
 - Aceites y Grasas

Mientras la segunda muestra se tomó en un frasco de plástico de 1 galón, para el análisis de los siguientes parámetros:

- Agentes Tensoactivos
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5
- Solidos Totales
- Nitratos (NO3)
- Nitritos (NO2)
- Fósforo Total
- Sulfatos

En la figura 8 se presenta los envases de las muestras tanto del afluente como del efluente, las mismas que fueron llevadas al laboratorio CICAM para su análisis.



Figura 8. Muestras del afluente y efluente

Siendo todas éstas, muestras simples, tomadas a las 6:30 am y debido a la cercanía de la residencia al Centro de Investigación y Control Ambiental (aproximadamente 30,6 km

de distancia), no se utilizó ningún tipo de preservante. Dado el tema de pandemia por COVID-19, solo se permitió dejar las muestras en la garita de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental.

2.6. Consideraciones para el Diseño de la Biojardinera Casera

Para la implementación del tratamiento o biojardinera, se realizó un diseño prototipo en el programa AutoCAD, con sus dimensiones, Ver Anexo IV, además se tomó en cuenta varias consideraciones técnicas mencionadas en la bibliografía:

1. Consumo de agua potable de los departamentos
2. Volumen de agua gris que se generaba en los departamentos
3. Número de habitantes de los departamentos
4. Caudal de las descargas de aguas grises

En la figura 9 se presenta mayor detalle la realización de todo el sistema.

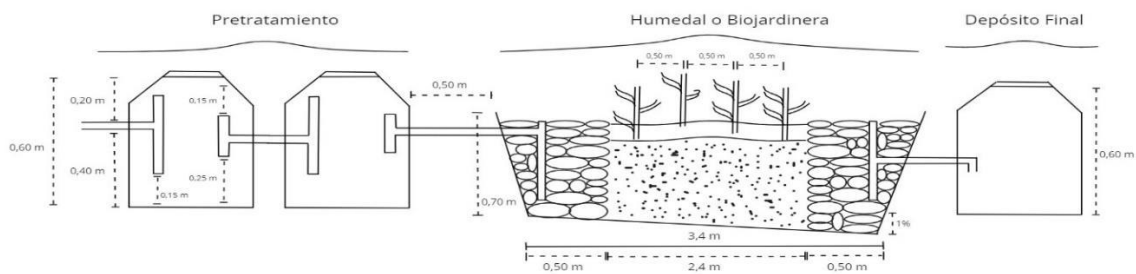


Figura 9. Vista frontal del sistema

2.6.1. Fase de pretratamiento

Esta etapa del pretratamiento se realizó en base al volumen del agua gris destinada para el humedal.

Se instaló dos tanques para separar la mayor cantidad de sólidos pesados y flotantes para que puedan ser decantados, de esta forma los sólidos se situaron en la parte inferior de los tanques, mientras que las grasas y tensoactivos se quedaron en la parte superior, lo que produjo una separación de estos sedimentos.

Mientras que en el segundo tanque se separaron los sólidos y grasas que se escaparon del anterior tanque, este tanque tuvo las mismas características del primero.

Estos 2 tanques que separaban la grasa estaban ubicados uno a continuación del otro, con el objetivo de remover la mayor cantidad de sedimentos del afluente.

Se consideraron dos tanques de volumen de 60 litros, que estuvieron separados a una distancia de 50 cm uno del otro y conectados por una tubería de drenaje de 50 mm; esto ayudó a que el flujo del afluente tuviera una velocidad lenta y uniforme, y mejoró la distribución del agua gris al ingreso de la biojardinera. En la figura 10 se muestra con detalle la implementación de los tanques en el pretratamiento.



Figura 10. Adecuación de tanques para el pretratamiento

2.6.2. Parámetros de diseño del humedal

Se tomaron en cuenta los siguientes parámetros:

- Caudal a tratar.
- Tiempo de retención.
- Demanda Bioquímica de Oxígeno medida en el afluente (DBO_{5a}).
- Demanda Bioquímica de Oxígeno deseada en el efluente (DBO_{5e}).

El principal parámetro que se tomó en cuenta fue la DBO₅, que fue la concentración de oxígeno disuelto consumido por los microorganismos que se encontraban en el agua en 5 días y siendo el parámetro que fue medido la concentración de materia orgánica en el agua (Cevallos Denisse & Guañuna Jefferson, 2019).

Con todos los parámetros anteriormente descritos se determinó el área, largo y ancho que iba a requerir el humedal.

2.6.3. Cálculos de los parámetros de diseño del humedal

▪ Caudal a tratar

El caudal a tratar son las descargas de aguas grises del domicilio. Para su cálculo se empleó el aforo volumétrico, en los puntos de toma de agua potable o de descarga.

El aforo volumétrico se basó en la determinación del tiempo en el que un recipiente de volumen conocido se llena obteniendo, el caudal en litros/segundos.

$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}} = \frac{\text{litros}}{\text{segundos}} = \frac{L}{\text{seg}}$$

Ecuación 1. Caudal a tratar

- **Tiempo de retención**

Es el tiempo de días que se necesitó para reducir la DBO5a actual a la DBO5e deseada.

$$t = \frac{-\ln\left(\frac{DBOe}{DBOa}\right)}{K_T}$$

Ecuación 2. Tiempo de retención

Dónde:

t = tiempo de días necesario para reducir la DBOa.

$DBOe$ = Concentración de DBO deseada del efluente del sistema (mg/L).

$DBOa$ = Concentración de DBO del afluente al sistema (mg/L).

K_T = Constante de reacción a la temperatura media del proceso.

- Cálculo de la Constante de Temperatura

$$K_T = K_{20} \times (1,60^{(T-20)})$$

Ecuación 3. Constante de temperatura

Dónde:

K_T = Constante de reacción a la temperatura media del proceso.

K_{20} =Constante de reacción de temperatura de primer orden a 20° C.

T = Temperatura del agua a tratar (°C)

- **Área del humedal**

$$A_h = \frac{Q \times t}{n \times d}$$

Ecuación 4. Área del humedal

Dónde:

A_h = Área del humedal

Q = Caudal medio diario a tratar (m^3/dia).

t = tiempo de retención.

n = Profundidad del humedal.

d = Porosidad Efectiva del sustrato.

Para la porosidad se utilizaron valores de la tabla 6 dependiendo del diámetro del sustrato. De ser el caso que se utilice 2 o más sustratos, se debía realizar un promedio de la porosidad efectiva entre las mismas. (Neira, 2008).

Tabla 6. Porosidad del Sustrato

POROSIDAD DEL SUSTRATO		
Tipo de Material	Tamaño Efectivo D10 (mm)	Porosidad n %
Arena fina	2	30
Arena gruesa	8	32
Grava fina	16	35
Grava media	32	40
Roca gruesa	128	45

Fuente: (Cueva Torres & Rivadeneira, 2013)

- **Ancho del Humedal**

$$W = \left(\frac{A_h}{R_A}\right)^{3/2}$$

Ecuación 5. Ancho del humedal

Dónde:

W = Ancho del humedal (m)

A_h = Área del humedal (m^2)

R_A = Proporción Longitud/Ancho

*(Neira, 2008), recomienda para proporciones de longitud/Ancho: 2:1 y 4:1

- **Longitud del Humedal**

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

Ecuación 6. Longitud del humedal

Dónde:

L = Longitud del Humedal (m)

A_h = Área del Humedal (m^2)

W = Ancho del Humedal (m)

El principal factor que se modificó fue la profundidad, ya que, tuvo un valor referencial de 40-60 cm (Neira, 2008).

El sustrato granular utilizado fue de piedras de diferentes tamaños y ripio, que sirvió como filtros y retención de las partículas disueltas que aún quedaban en el agua después de haber pasado por el pretratamiento.

En cuanto a la vegetación, las plantas que se utilizaron fueron el carrizo de la pampa y carrizo o bambú falso, estas plantas se alimentaron de los nutrientes (nitrógeno y fósforo) que contenían las aguas grises; las plantas tomaron estos nutrientes y las aprovecharon para su desarrollo realizando sus funciones de evaporación y transpiración en el agua.

Debido a que son plantas macrófitas, su función de clarificaron fue muy alta en estas aguas grises.

2.6.4. Fase del depósito de almacenamiento

Esta agua, no presentó materia orgánica y al tener características de transparencia y muy poca por turbidez, permitió que los residentes del domicilio usen esta agua para riego, también fue almacenada para uso en cultivos y limpieza de corrales de los diferentes animales de la residencia.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Catastro del domicilio

La residencia cuenta con un área total de terreno 571,16 m^2 y, un área para el sistema de 24,96 m^2 , cuenta con cuatro departamentos de los cuales el proyecto solo trabajó con las descargas de aguas grises de dos de ellos, los departamentos #3 y #4 de las familias Quilumba y Villagómez respectivamente, los mismos que cuentan con tuberías separadas para el desfogue de aguas grises.

Por otro lado, estas tuberías que son de áreas de lavamanos de baños, lavabos de cocina y de lavandería, las mismas que fueron conectadas a una tubería común para que desemboque en el patio posterior de la residencia a un tanque de almacenamiento. Ver Anexo I.

3.2. Hábitos de consumo y uso de agua en el domicilio

La vivienda contaba con un solo medidor, pero internamente se colocó 3 medidores adicionales para visualizar el gasto de agua potable en cada departamento. Para esto, el agua que ingresaba de la red iba a un tanque de reserva, así el agua pasaba por los medidores mencionados de cada inquilino a los diferentes departamentos. En el día 16 de cada mes se tomaba una foto en la noche de los medidores y se determinó cuantos m³ habían consumido, estos datos fueron anotados en una hoja de cálculo por el dueño de casa, quien determinó los valores a cancelar de cada inquilino.

Una vez identificadas estas actividades que los usuarios de los dos departamentos desarrollan se realizaron aforos volumétricos, donde se obtuvieron los valores de caudales de: lavamanos y ducha de área de baños, lavabos del área de cocina y el área de lavandería de los departamentos #3 y #4. Estos valores se los tomó por 15 días seguidos, resaltando los días que el tanque se llenaba.

3.3. Caudal acumulado

Se procedió a obtener un caudal acumulado de los dos departamentos de la siguiente manera: en el periodo de verano durante 15 días seguidos se tomaban los volúmenes de agua gris, para esto se determinó el volumen total del tanque 1,39 m³, cada noche a una hora determinada se introducía una viga en el agua del tanque de manera vertical y, al momento de sacarla con la ayuda de un flexómetro se medía el área húmeda que se quedaba en la viga, todo este procedimiento se realizó con mucha cautela.

Como el volumen del tanque fue constante, cada vez que se llenaba se anotaba en una hoja de cálculo, en verano el tanque se llenó 5 veces, esa cantidad se multiplicó por el volumen del tanque de agua gris provisional lo que reflejó un valor de 6,97 m³.

En invierno se realizó lo mismo, pero a comparación de verano, hubo menos cantidad de agua gris, el tanque solamente se llenó en su totalidad de 2 veces, esa cantidad se multiplicó por el volumen del tanque de agua gris provisional lo que reflejó un valor de 2,79 m³.

Se sumó los valores totales de volúmenes generados de agua gris tanto de verano como invierno y se obtuvo un total de 9,76 m³. Finalmente, este volumen total se dividió para 30 días y se determinó un caudal acumulado promedio de $0.33 \frac{m^3}{día}$.

En la tabla 7 se presenta mayor detalle el volumen acumulado de los dos departamentos, donde se muestra los datos obtenidos en verano y en invierno, durante

los meses de febrero, abril, mayo y, lo resaltado en amarillo muestra las veces que el tanque de almacenamiento provisional se llenó con agua gris.

Tabla 7. Volumen Acumulado de los 2 departamentos

VOLUMEN ACUMULADO									
No.	Fecha	altura inicia (cm)	altura final (cm)	Altura	volumen (cm3)	Volumen (m3)	Volumen (L)	Observaciones	
Martes	02/02/2021	0	5	5	101000	0,101	101	VERANO	
Miércoles	03/02/2021	5	30	25	505000	0,505	505		
Jueves	04/02/2021	30	50	20	404000	0,404	404		
Viernes	05/02/2021	50	69	19	383800	0,3838	383,8		
Sábado	06/02/2021	0	30	30	606000	0,606	606		
Domingo	07/02/2021	30	69	39	787800	0,7878	787,8		
Lunes	08/02/2021	0	8	8	161600	0,1616	161,6		
Martes	09/02/2021	8	40	32	646400	0,6464	646,4		
Miércoles	10/02/2021	40	69	29	585800	0,5858	585,8		
Jueves	11/02/2021	0	10	10	202000	0,202	202		
Viernes	12/02/2021	10	20	10	202000	0,202	202		
Sábado	13/02/2021	20	50	30	606000	0,606	606		
Domingo	14/02/2021	50	69	19	383800	0,3838	383,8		
Lunes	15/02/2021	0	12	12	242400	0,2424	242,4		
Martes	16/02/2021	12	46	34	686800	0,6868	686,8		
Miércoles	17/02/2021	46	69	23	464600	0,4646	464,6		
lunes	19/04/2021	0	5	5	101000	0,101	101		INVIERNO
Martes	20/04/2021	5	15	10	202000	0,202	202		
Miércoles	21/04/2021	15	28	13	262600	0,2626	262,6		
Jueves	22/04/2021	28	42	14	282800	0,2828	282,8		
Viernes	23/04/2021	42	51	9	181800	0,1818	181,8		
Sábado	24/04/2021	51	69	18	363600	0,3636	363,6		
Domingo	25/04/2021	0	10	10	202000	0,202	202		
lunes	26/04/2021	10	19	9	181800	0,1818	181,8		
Martes	27/04/2021	19	25	6	121200	0,1212	121,2		
Miércoles	28/04/2021	25	39	14	282800	0,2828	282,8		
Jueves	29/04/2021	39	45	6	121200	0,1212	121,2		
Viernes	30/04/2021	45	60	15	303000	0,303	303		
Sábado	01/05/2021	60	69	9	181800	0,1818	181,8		

En la figura 11 del gráfico de barras se muestra el volumen de agua gris en verano, se visualiza que hay mayor generación de estas aguas que son producto de actividades de

los dos departamentos en estudio, estas actividades fueron de lavado de la cocina y lavadora.

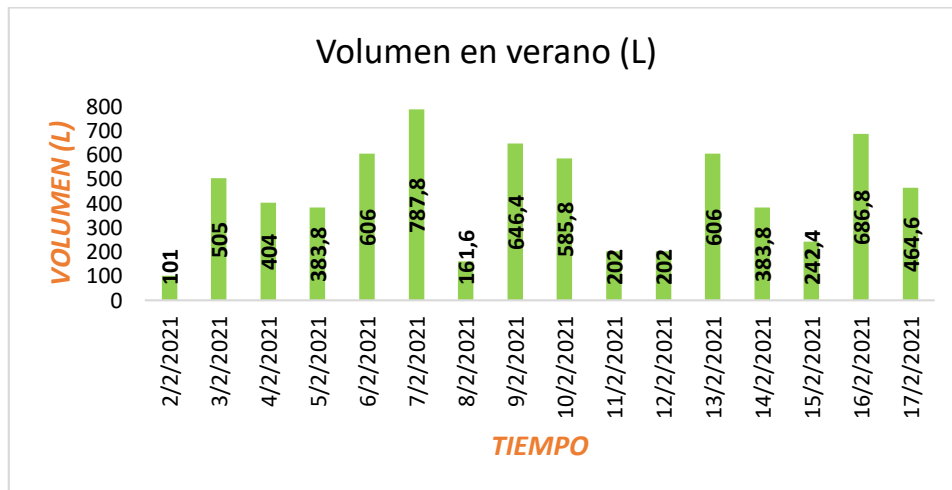


Figura 11. Volumen Acumulado de los 2 departamentos en verano

En la figura 12 del gráfico de barras se presenta mayor detalle del volumen de agua gris en invierno, donde se visualiza que hubo menor generación de estas aguas, producto de actividades de los dos departamentos en estudio, estas actividades fueron del lavado de la cocina y lavadora.

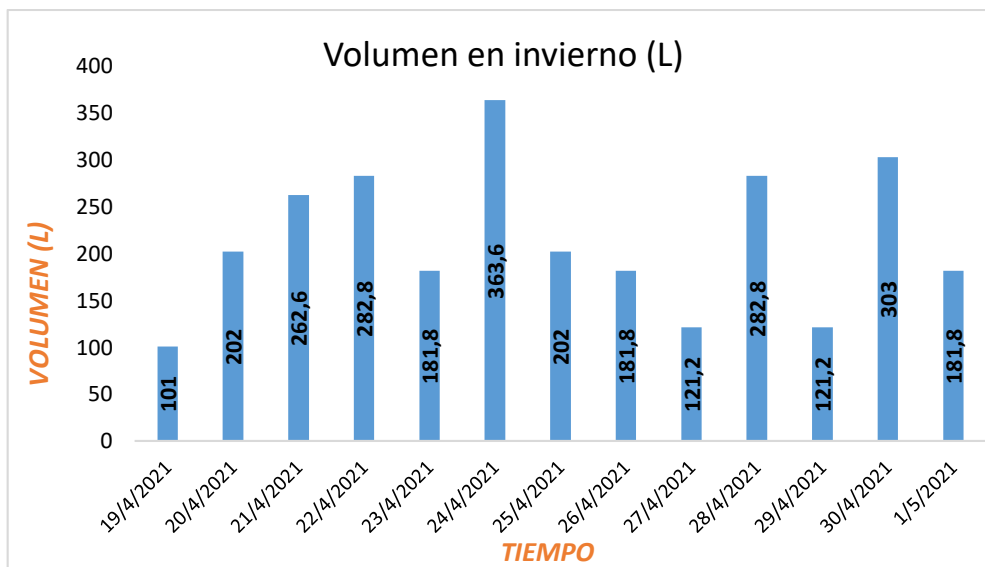


Figura 12. Volumen Acumulado de los 2 departamentos en invierno

3.4. Volumen consumido por departamentos

Tabla 8. Volumen consumido durante el mes de febrero por familias

MES DE FEBRERO					
	fecha desde	fecha hasta	volumen inicial	volumen final	volumen consumido (m3)
Departamento 1	16/1/2021	16/2/2021	661	696	35
Departamento 2	16/1/2021	16/2/2021	85	94	9
Departamento 3	16/1/2021	16/2/2021		34	34
Departamento 4	16/1/2021	16/2/2021	302	320	18
medidor total	16/1/2021	16/2/2021	2915	3011	96

En la figura 13 se presenta mayor detalle del volumen consumido en el mes de febrero.

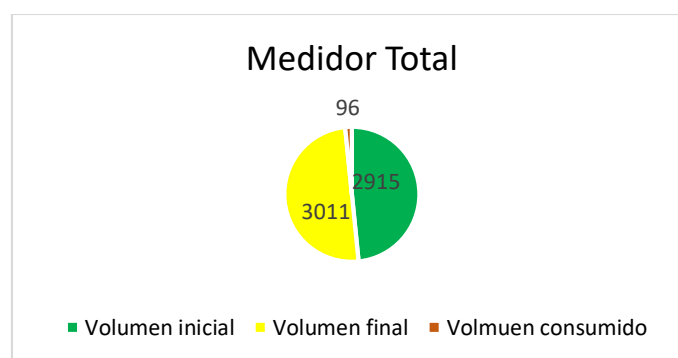


Figura 13. Volumen consumido en el mes de febrero en m^3

Tabla 9. Volumen consumido durante el mes de marzo por familias

MES DE MARZO					
	fecha desde	fecha hasta	volumen inicial	volumen final	volumen consumido (m3)
Departamento 1	16/2/2021	16/3/2021	696	720	24
Departamento 2	16/2/2021	16/3/2021	94	99	5
Departamento 3	16/2/2021	16/3/2021	34	43	9
Departamento 4	16/2/2021	16/3/2021	320	335	15
medidor total	16/2/2021	16/3/2021	3011	3064	53

En la figura 14 se presenta mayor detalle del volumen consumido en el mes de marzo.

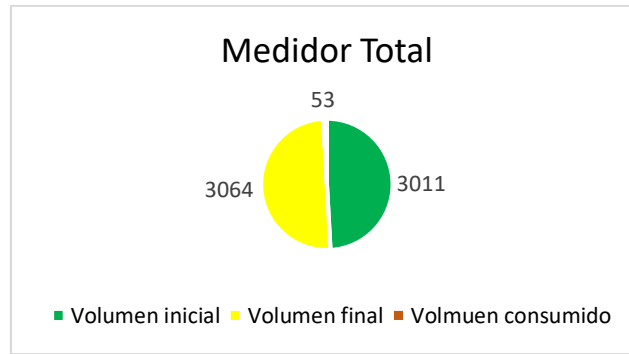


Figura 14. Volumen consumido en el mes de marzo en m^3

Tabla 10. Volumen consumido durante el mes de abril por familias

MES DE ABRIL					
	fecha desde	fecha hasta	volumen inicial	volumen final	volumen consumido (m3)
Departamento 1	16/3/2021	16/4/2021	720	750	30
Departamento 2	16/3/2021	16/4/2021	99	105	6
Departamento 3	16/3/2021	16/4/2021	43	57	14
Departamento 4	16/3/2021	16/4/2021	335	348	13
medidor total	16/3/2021	16/4/2021	3064	3127	63

En la figura 15 se presenta mayor detalle del volumen consumido en el mes de abril.

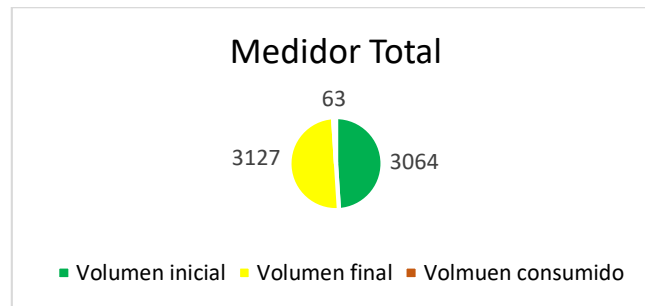


Figura 15. Volumen consumido en el mes de abril en m^3

Tabla 11. Promedio consumo de agua Departamentos # 3 y #4

PROMEDIO DE CONSUMO DE AGUA (m3)				
DEPARTAMENTO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	PROMEDIO (m3)
Departamento 3	34	9	14	19
Departamento 4	18	15	13	15
			TOTAL	17

3.5. Diseño e Implementación del Sistema

El diseño del sistema se tomó en cuenta los siguientes aspectos, según bibliografía:

- **Número de personas de la residencia:** el sistema estuvo diseñado para 2 departamentos, en el primer departamento habitaban 8 personas y en el segundo habitaban 4 personas, fue un total de 12 personas.
- **Registro de consumo de agua potable:** el volumen promedio mensual de los dos departamentos de estudio durante tres meses fue de 17 m³.
- **Caudal de agua gris, destinada al sistema:** se tomó el dato del caudal diario de 0,33 m³ de agua gris y un volumen mensual de 9,76 m³ de agua gris, la cual fue destinada al tratamiento. Al establecer dicho caudal, se realizó el diseño y posterior la implementación de la biojardinera.

3.5.1. Pretratamiento

Para la fase del pretratamiento se empleó dos taques plásticos de 60 litros de capacidad cada uno, los mismos que fueron enterrados bajo el nivel del terreno en una excavación de 0,50 cm. Dada la condición que estos tanques estaban dispuestos, no se pudo colocar una tubería de desfogue para los sólidos que se quedaban en la parte inferior de los tanques, por tal razón, para su mantenimiento se adaptaron mallas que permitieron retirar los sólidos de manera manual. Adicionalmente previo al ingreso de los tanques se colocó un sifón el mismo que ayudó a retirar cualquier sedimento que pueda estar acumulando en esa área.

Los tanques fueron adaptados, realizando 4 huecos, dos en cada tanque de 2" (0,05m) de diámetro para el ingreso de las tuberías.

Cabe mencionar que los tanques fueron tapados herméticamente para evitar que ingrese cualquier tipo de contaminante externo y la fase de pretratamiento funcionó de manera eficiente y no presentó vectores o generación de malos olores.

3.5.2. Humedal

Para el diseño del humedal se realizaron los siguientes cálculos:

- **Caudal a tratar**

Usando la Ecuación 1 se obtuvo:

$$Q = \frac{9,76}{30} = 0,33 \frac{m^3}{d}$$

- **Tiempo de retención**

Usando la Ecuación 2 se obtuvo:

$$t = \frac{-\ln\left(\frac{20}{612}\right)}{1,17}$$

$$t = 2,9 = 3 \text{ días}$$

Usando la Ecuación 3 se obtuvo:

$$K_T = K_{20} \times (1,60^{(T-20)})$$

$$K_T = 1,104 \times (1,60^{(21-20)})$$

$$K_T = 1,17$$

Dónde:

$$DBO_e = 20 \left(\frac{mg}{L}\right).$$

$$DBO_a = 612 \left(\frac{mg}{L}\right).$$

$$K_{20} = 1,104$$

$$T = 21 \text{ °C}$$

La constante de reacción a la temperatura media del proceso, K_T , se calculó en base al valor del K_{20} determinado en proyectos que contienen valores similares a la temperatura ambiente, T , del sector donde se encontraba la residencia piloto. Por otro lado, el tiempo de retención, t , calculado con los valores de DBO_e , DBO_a y K_T indicados, estaba dentro del rango por la bibliografía. Sin embargo, se adoptó un tiempo de retención de 4 días, con ello se obtuvieron las dimensiones constructivas del humedal y una mejor calidad del efluente.

- **Área del humedal**

Usando la Ecuación 4 se obtuvo:

$$A_h = \frac{0,33 \times 3}{0,4 \times 0,44}$$

$$A_h = 5,63 m^2$$

Dónde:

n = Porosidad efectiva del sustrato.

Se utilizaron los valores presentados en la tabla 1, y como tipo de material a la grava media y roca gruesa, las cuales tienen porosidad de 40 y 45 % cada una, por ende, se calculó un valor promedio.

d = 0,4 m. (valor recomendado por la bibliografía).

- **Ancho del Humedal**

Usando la Ecuación 5 se obtuvo:

$$W = \left(\frac{5,63}{2}\right)^{1/2}$$
$$W = 1,7m$$

Dónde:

R_A = se consideró una relación RA: largo/ancho de 2:1*

- **Longitud del Humedal**

Usando la Ecuación 6 se obtuvo:

$$L = \frac{5,63}{1,7}$$
$$L = 3,4m$$

La normativa establece que, para descarga en cuerpo de agua dulce, el valor permisible de DBOe es de 100 mg/L. Sin embargo, al considerar dicho valor como el límite mínimo de DBOe, y efectuado los cálculos, se obtuvo como resultado un tiempo de retención menor a 3 días y un dimensionamiento no construible, incumpliendo con las recomendaciones bibliográficas. Ver tabla 12.

Tabla 12. Resultado de dimensionamiento del humedal con una DBOe impuesta de 100 mg/L

DATOS PRELIMINARES		
Parámetros	Valor	Unidades
T° del agua	21	°C
DBOa	612	mg/l
DBOe	100	mg/l
Profundidad (Recomendada)	0,4	m

Porosidad de sustrato	0,43	%
k20	1,104	
Caudal de Diseño	0,33	m ³ /l
DATOS DE LA BIOJARDINERA		
Dimensiones	Valor	Unidades
TRH	1,54	día
AS	2,9	m
W	1,2	m
L	2,4	m ²

Por otro lado, al considerar un valor más exigente de DBOe igual a 20 mg/L, se cumplió con el tiempo de retención y las dimensiones prácticas y construibles para la realización de la biojardinera. Esta nueva característica impuesta para el efluente también permitió cumplir con las recomendaciones bibliográficas. Una vez efectuados los cálculos matemáticos, se determinaron los parámetros requeridos para la realización de la biojardinera en la residencia piloto. Un resumen de dichos parámetros se presenta en las tablas 13 y 14. Se consideró que, los datos preliminares como: la temperatura del agua y la DBOa fueron datos obtenidos de las caracterizaciones realizadas al afluente en los tiempos de muestreo y, la DBOe deseada.

Tabla 13. Resultados para las dimensiones del humedal con una DBOe impuesta de 20 mg/L

DATOS PRELIMINARES		
Parámetros	Valor	Unidades
T° del agua	21	°C
DBOa	612	mg/l
DBOe	20	mg/l
Profundidad (Recomendada)	0,4	m
Porosidad de sustrato	0,43	%
k20	1,104	
Caudal de Diseño	0,33	m ³ /l

En la tabla 14 se muestran los resultados finales para la realización del dimensionamiento del humedal, de acuerdo a los parámetros y cálculos matemáticos.

Tabla 14. Dimensiones del humedal

Datos del Humedal		
Dimensiones	Valor	Unidades
H	0,6	m
W	1,7	m
L	3,4	m

L1	0,5	m
L2	0,5	m
e	0,05	m
h	0,4	m

Dónde:

H: Profundidad real del humedal. Se aumenta 0.10 metros a la profundidad establecida por medidas de seguridad.

W: Ancho total.

L: Longitud total.

L1: Longitud de material filtrante de menor diámetro y porosidad

L2: Longitud de material filtrante de mayor diámetro y mayor porosidad, ubicado en ambos extremos. 0,5 m, dato bibliográfico.

e: Diferencia de nivel entre la superficie del agua del humedal y el inverso de la tubería de ingreso del pretratamiento. 0,05 m dato bibliográfico.

h: profundidad del agua.

Para dar inicio a la implementación del humedal, fue importante llevar a cabo las siguientes actividades:

1. La excavación, el relleno y la compactación del terreno en el cual se construyó el humedal, fueron actividades que permitieron preparar y configurar el terreno.
2. La colocación de un material impermeable evitando las infiltraciones o fugas del agua tratada hacia el suelo.
3. La colocación de los lechos filtrantes de diferentes diámetros, permitió crear un filtro de degradación al agua contaminada.
4. El trasplante de la vegetación nativa, fue el paso final; de igual importancia que las actividades anteriores, las plantas estuvieron previamente adaptadas para no suspender su crecimiento dentro del humedal.

3.5.3. Depósito o almacenamiento

Para la fase final del sistema, se implementó un taque plástico de 60 litros de capacidad, el mismo que fue colocado bajo una excavación que se realizó de 0,50 cm, siendo enterrados bajo el nivel del terreno.

El tanque fue tapado herméticamente evitando el ingreso de cualquier contaminante externo.

3.6. Ejecución del Sistema

Previamente ya realizada la separación de tuberías y el catastro de drenaje y descarga de agua gris de los dos departamentos, se procedió a la obtención de materiales requeridos para la realización del tratamiento o biojardinera.

Además, una vez que se definió las medidas que tiene el humedal artificial, el espacio necesario para el pretratamiento y el espacio para el depósito de las aguas ya tratadas y para el vertido de las mismas, se seleccionó el lugar para la ejecución de todo el sistema. En la figura 16 se visualiza el espacio para la implementación del sistema.



Figura 16. Espacio para la implementación del sistema

En el sitio donde se implementó el sistema se retiró todo tipo de escombros como baldosas, hojas, material de construcción, piedras y se limpió bien el área con palas, picos y rastrillos. En la figura 17 se visualiza con mayor detalle el lugar de la implementación del sistema.



Figura 17. Limpieza del lugar de la implementación del sistema

3.6.1. Nivelación del terreno

Se realizó usando la metodología de nivelación por mangueras, donde se tomó como referencia una altura mínima de 1 metro con una manguera. En la figura 18 se visualiza con mayor detalle la toma de nivelación del terreno.



Figura 18. Tomando distancia de referencia para la nivelación

Después se procedió a señalar cuatro puntos, rodeando el área donde se implementó el sistema, se indicó la altura correspondiente con respecto a la anterior obteniendo la misma altura en los cuatro puntos. En la figura 19 se visualiza con mayor detalle la toma de nivelación del terreno.



Figura 19. Nivelación del lugar

Para tener una mejor nivelación del suelo se usó el instrumento de nivelación, señalando con un lápiz la referencia y con el uso de estacas y piolas, se identificó las alturas. En la figura 20 y 21 se visualiza con mayor detalle la toma de nivelación del terreno.



Figura 20. Señalización de la nivelación



Figura 21. Colocación de estacas y piolas para las dimensiones del sistema

3.6.2. Implementación del pretratamiento

Una vez terminada la nivelación del terreno y limpia el área, se procedió a excavar el área del pretratamiento. En la figura 22 se visualiza con mayor detalle la excavación que se realizó para los tanques en el pretratamiento.



Figura 22. Excavación para los tanques del pretratamiento

Se construyó una trampa de grasa, conformada por dos tanques cilíndricos enterrados, con un volumen de 60 litros cada uno, se excavó una profundidad de 50 cm, tanto de largo como de ancho para la introducción de estos tanques, con una distancia de 50 cm entre si y colocándolos en serie. En la figura 23 se visualiza con mayor detalle los tanques que se utilizó para el pretratamiento.



Figura 23. Colocación de tanques

Se procedió a implementar las conexiones de tuberías hacia la trampa de grasa. En la figura 24 se visualiza con mayor detalle los tubos que se utilizó para la conducción de aguas grises al sistema.



Figura 24. Implementación de tuberías

En cuanto a los tanques, en su interior se adaptaron las tuberías de PVC de 50 mm de diámetro, las cuales funcionaban como un sifón invertido, cuyos extremos, permitían la conducción del agua desde la caja de revisión hacia el humedal. Los sedimentos como grasas y sólidos se quedaban en los tanques. Dando inicio al mejoramiento de la calidad del agua gris. En la figura 25 y 26 se visualiza con mayor detalle la implementación de los tubos de conducción en los tanques de pretratamiento.



Figura 25. Adaptación de tuberías en los tanques



Figura 26. Adaptación de tuberías en los tanques

Además, se colocó un sifón a la entrada del primer taque, el cual ayudo a retirar cualquier sedimento que pudo estar acumulándose. En la figura 27 se visualiza con mayor detalle la implementación del sifón.



Figura 27. Construcción de sifón

Los tanques fueron tapados herméticamente, para impedir la propagación de olores indeseables, ingreso de vectores y facilitar su mantenimiento. En la figura 28 se visualiza con mayor detalle la implementación de los tanques en el pretratamiento.



Figura 28. Relleno y culminación de la implementación del pretratamiento

3.6.3. Construcción e Implementación de la biojardinera

Ya determinadas las dimensiones del humedal y considerando los criterios de diseño, se elaboró el respectivo plano técnico, Ver Anexo IV.

Se procedió a señalar el área del humedal con piola, estacas según el área que se obtuvo con los cálculos matemáticos. En la figura 29 se visualiza con mayor detalle la medición del área para la implementación del humedal.



Figura 29. Medición del área del humedal

A continuación, se procedió a excavar con una profundidad de 0,60 m, nivelándolo y logrando una pendiente longitudinal de 0,1%, que aseguraba una circulación del caudal a tratar en todo el humedal, evitando que el agua se estanque. En la figura 30 se visualiza con mayor detalle la excavación para el humedal y en la figura 31 la nivelación del área del humedal.



Figura 30. Excavación para el humedal



Figura 31. Nivelación del área del humedal

Ya compactado y estabilizado el terreno, se procedió a disponer el humedal propiamente dicho, llevando a cabo los siguientes procedimientos:

Colocación de una capa impermeable, fue de un material plástico de 2 m y con un espesor de 1,4 mm. En la figura 32 se visualiza con mayor detalle la colocación del material impermeable (plástico).



Figura 32. Colocación del material impermeable

Instalación y colocación de tuberías de diámetro igual a 50 mm, se procedió con la realización de perforaciones de 2 cm de diámetro con separaciones de 5 cm y taponadas

en sus extremos. Las perforaciones permitieron una adecuada distribución de agua en todo el sistema. En la figura 33 se visualiza con mayor detalle las aberturas en las tuberías de entrada al humedal.



Figura 33. Perforación e instalación de tuberías

Para la colocación del lecho filtrante, previo a su implementación, se seleccionó el sustrato granular de mayor tamaño proveniente de ríos y se lavó todo el sustrato granular retirando toda impureza. En la figura 34 se visualiza con mayor detalle la recolección y colocación del sustrato granular (ripió) de menor diámetro.



Figura 34. Recolección de ripio

En la figura 35 se visualiza con mayor detalle la colocación del sustrato granular de mayor diámetro perteneciente a piedra bola, mientras que en la figura 36 se visualiza la culminación de la implementación del humedal.



Figura 35. Colocación del sustrato granular



Figura 36. Implementación del humedal

Una vez culminada la colocación del lecho filtrante se inició el funcionamiento del sistema para la verificación del tiempo de retención establecido. Al cumplir una semana del funcionamiento del humedal, se procedió a la colocación de la vegetación, las plantas escogidas para el tratamiento, fueron plantas nativas denominadas Carrizos, o también plantas como el Bambú, las cuales, provienen de lugares cercanos a la residencia. En la figura 37 se visualiza con mayor detalle las plantas a emplearse para el humedal.



Figura 37. Selección de plantas

Se realizó el trasplante de la vegetación en el lecho filtrante de menor diámetro, las plantas se ubicaban separadas entre sí con una distancia de 50 cm aproximadamente, y con una profundidad de 15 cm desde el nivel del suelo (VINCE STUDIO, 2020), esta condición permitió que las raíces cuenten con un adecuado espacio para su crecimiento. En la figura 38 se visualiza con mayor detalle la colocación de las plantas en el humedal.



Figura 38. Colocación de vegetación en la biojardinera

3.6.4. Construcción e Implementación del depósito de almacenamiento del efluente

Terminada la etapa de la biojardinera y su verificación de funcionamiento, se realizó la caracterización del efluente, y se procedió a la implementación del depósito del efluente el cual fue un tanque, con un volumen de 60 litros, enterrado a una profundidad de 0,60 cm.

El tanque fue conectado a la salida del humedal mediante una tubería de tipo PVC de 5 cm de diámetro, con un codo de 90 para la salida del efluente.

Dicho depósito tuvo como finalidad el almacenamiento del agua tratada para su reutilización en épocas secas para los cultivos de la propiedad. En la figura 39 se visualiza con mayor detalle la colocación del tanque, el mismo que se almacenará el efluente.



Figura 39. Tanque de almacenamiento del efluente

El video que muestra la implementación y funcionamiento del sistema de la biojardinera casera se puede observar en el siguiente enlace: https://epnecuador-my.sharepoint.com/:v/g/personal/alexandra_quilumba_epn_edu_ec/EandC5QYpyNGuFhp_0FLV5YBSmRahCVIP-lyknCIWySc_Q?e=K3Ui4y

3.7. Verificación del Sistema y Calidad del Efluente

Ya terminada la implementación de todo el sistema con todas sus etapas realizadas correctamente, se procedió a la verificación del mismo, se tuvo que esperar un tiempo de 5 días para la obtención de efluente en el depósito de almacenamiento, cabe recalcar que este tiempo no es el de retención sino es un tiempo estimado para obtener un volumen considerado para caracterización del agua.

Ya conseguido el efluente, se realizó la caracterización de los análisis físico-químicos tanto del afluente como también a evaluar la calidad del efluente.

La evaluación del efluente, consistió en una caracterización de los parámetros establecidos por las normas ante la descargada al sistema. La caracterización se realizó al cumplir 16 días de funcionamiento de la biojardinera.

3.7.1. Muestreo y caracterización del efluente

Para el muestreo del efluente, se utilizó el plan de muestreo aplicado para el afluente. Ver Anexo II.

La caracterización del efluente se lo realizó en la tubería de salida del humedal. Las muestras fueron tomadas en el mismo tiempo y mismo punto.

Los análisis para la caracterización del efluente in situ se lo realizó de la misma manera que se lo hizo para el afluente, se movilizó a la residencia con el equipo correspondiente, materiales y protección correspondiente, el equipo fue el Multiparametro, sirviendo para la medición de parámetro de:

- **pH y Temperatura**

Se empleó un frasco más pequeño, tomando la muestra, la misma fue una muestra simple, se procedió a encender el equipo, se introdujo la sonda en el frasco que contenía la muestra y se procedió con la medición. En la figura 40 se visualiza con mayor detalle los datos obtenidos de pH y Temperatura.



Figura 40. Medición de pH y Temperatura in situ del efluente

Los análisis para la caracterización del efluente en laboratorio se los realizó en 2 lugares diferentes, los cuales fueron en:

- CICAM Centro de Investigación y Control Ambiental, ubicado en la Escuela Politécnica Nacional. Los análisis para este laboratorio fueron 2 muestras, la primera muestra se tomó en una botella ámbar para el análisis de:
 - Aceites y Grasas

Mientras la segunda muestra se la tomó en un frasco de plástico de 1 galón, para el análisis de parámetros de:

- Agentes Tensoactivos
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)
- Sólidos Totales

Siendo todas estas, muestras simples, tomadas a las 6:30 am y debido a la cercanía de la residencia al Centro de Investigación y Control Ambiental, no se utilizó ningún tipo de preservante, fue aproximadamente 30,6 km de distancia. Debido al tema de pandemia por COVID, solo nos permitieron dejar las muestras en garita de Ingeniería Civil y Ambiental, entregando las dos muestras al laboratorio de CICAM.

- ESFOT-35, ubicado en la Escuela Politécnica Nacional, la muestra fue llevada en una botella plástica de 1 litro y transportada al sitio con la mayor brevedad posible con una distancia aproximadamente 30,6 km de la residencia al lugar de los análisis. Los parámetros analizados fueron:

- **Nitratos (NO_3^-) y Nitritos (NO_2^-)**

Se realizó bajo el Método de espectrofotometría, HACH.

Para la medición de nitrato, se colocaron en la celda 10 ml de agua sin ningún reactivo, la cual sirvió como blanco para ambos parámetros. En otra celda se colocaron 10 ml de muestra de agua con el reactivo Nitro Ver 5, se agitó fuertemente, se esperó por 5 min., y después se midió con el equipo espectrofotómetro con el método 355 a 500nm, previamente encerado con la muestra sin reactivo, tomando la lectura del resultado.

Para la medición de nitrito en una segunda celda igual con muestra, se colocó el reactivo Nitro Ver3, se agitó la celda vigorosamente, y se la dejó reposar por 20 minutos.

La medición se realizó, con el equipo espectrofotómetro y el método 375 a 507nm, procediendo a tomar lectura del resultado. En la figura 41 se visualiza con mayor detalle los datos obtenidos de nitritos y nitratos.

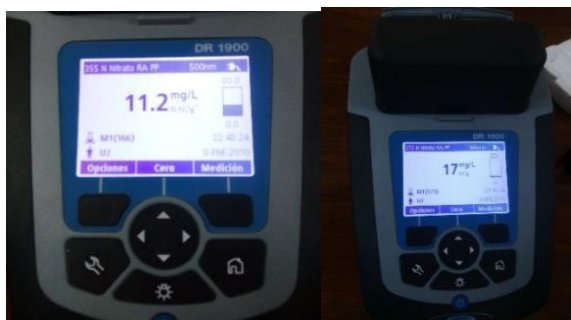


Figura 41. Resultados de Nitratos y Nitritos

○ **Fósforo Total**

Se realizó bajo el Método de espectrofotometría, HACH.

Para la medición de fósforo total, se tomaron 10 ml de muestra de agua en la celda sin ningún reactivo, la cual sirvió como blanco. En otra celda se colocaron 10 ml de muestra de agua con el reactivo Phos Ver 3, se agitó fuertemente, se esperó por 5 min., y se midió con el equipo espectrofotómetro con el método 490 a 710nm, tomando la lectura del resultado. En la figura 42 se visualiza con mayor detalle los datos obtenidos de fósforo Total.

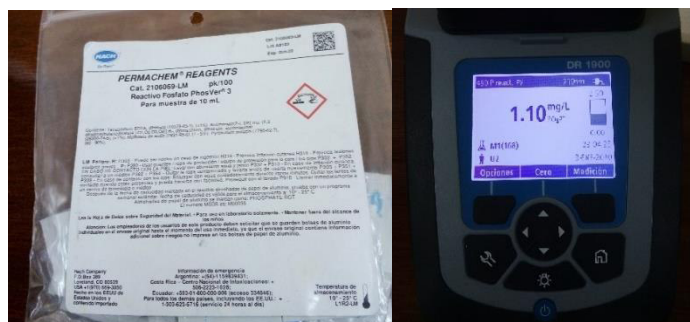


Figura 42. Resultado de Fósforo Total

○ **Sulfatos**

Se ejecutó bajo el Método de espectrofotometría, HACH.

En una celda se colocaron 25 ml de la muestra de agua, luego se vertió su reactivo SulfaVer4 en la celda agitándolo vigorosamente hasta disolverlo y, en el lapso de 5 minutos se tomó la lectura en el equipo espectrofotómetro con el método 680. En la figura 43 se visualiza con mayor detalle el procedimiento y los datos obtenidos de sulfatos.



Figura 43. Resultado de Sulfatos

La evaluación del efluente consistió en una caracterización de los parámetros establecidos por las normas de Tabla 9 descargada al alcantarillado público y la tabla 10 descarga a un cuerpo de agua dulce.

La caracterización se la realizó al haber cumplir menos de un mes de funcionamiento de la biojardinera; basándose en los límites permisibles de las normas del "Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente" (TULSMA) y "Registro oficial 028".

Todos estos parámetros (nitratos, nitritos, fosforo total y sulfatos), se realizaron en las instalaciones de la ESFOT- aula 35 con el equipo espectrofotómetro de ASA.

3.8. Evaluación del Funcionamiento del Sistema

Una vez finalizada la implementación del sistema completo, se identificó una eficiencia alta en la remoción (71.2%) de varios contaminantes provenientes del afluente, al haber transcurrido un poco menos de un mes de funcionamiento del sistema, sin embargo, se evidenció también el aumento de otros parámetros.

Para las caracterizaciones del afluente, se realizaron muestreos en el punto donde inicia el pretratamiento de todas las descargas de agua gris conectadas, en cuanto a, los muestreos del efluente se realizaron en la tubería de salida del humedal, dichos muestreos fueron realizados en las mañanas.

Los muestreos in situ tanto para el afluente como efluente se realizaron a partir de las 6h00 hasta las 7h30, periodo en el cual las diferentes actividades que se realizaban en el domicilio estaban relacionadas directamente con el lavado de ropa, utensilios de cocina y ducha, posterior a ello, se trasladó la muestra de agua para sus análisis al laboratorio CICAM.

Obtenidos los resultados de las caracterizaciones, se procedió con la comparación de resultados entre el afluente y el efluente, para evidenciar el funcionamiento y la eficiencia

de la biojardinera. En el Anexo V se presenta los resultados obtenidos del afluente y en el Anexo VI se presenta los resultados obtenidos del efluente.

Los resultados de los análisis se evidencian a continuación:

Tabla 15. Resultados de análisis Físicos-Químicos del afluente

Parámetro	Expresado como	Unidad	Resultado afluente	Resultado efluente	% de Remoción
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	221,7	5,7	97.4
Agentes Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	27,7	29,1	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	851	154	81.9
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	2054	293	85.7
Fosforo Total	P	mg/l	3,10	1,10	64.5
Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	0,08	17	-
Nitratos			19,57	11,2	42.5
Potencial de Hidrogeno	pH		4,89	3,50	/
Sólidos Sedimentables	SS	ml/l	844	502	40.5
Sólidos Suspendidos	SST	mg/l	404	<100	75.2
Sólidos Totales	ST	mg/l	1248	602	51.7
Sulfatos	SO ₄ ⁻	mg/l	45	66	-
Temperatura	°C	Condicion Natural +/- 3 grados	16,54	15,32	/

3.8.1. Análisis de los parámetros físicos - químicos

Con los resultados del afluente y efluente, se evidenció la eficiencia de la biojardinera, ya que hubo reducciones de concentraciones de contaminantes existentes en el agua en 9 parámetros, sin embargo, se tiene que en 3 parámetros no existió remoción o variación, a continuación, se evidencia en las figuras 44-47, los mismos que muestran los parámetros que cumplen con los límites permisibles determinados por las 2 normativas vigentes.

▪ Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA)

— Descarga alcantarillado público — Descarga cuerpo de agua dulce

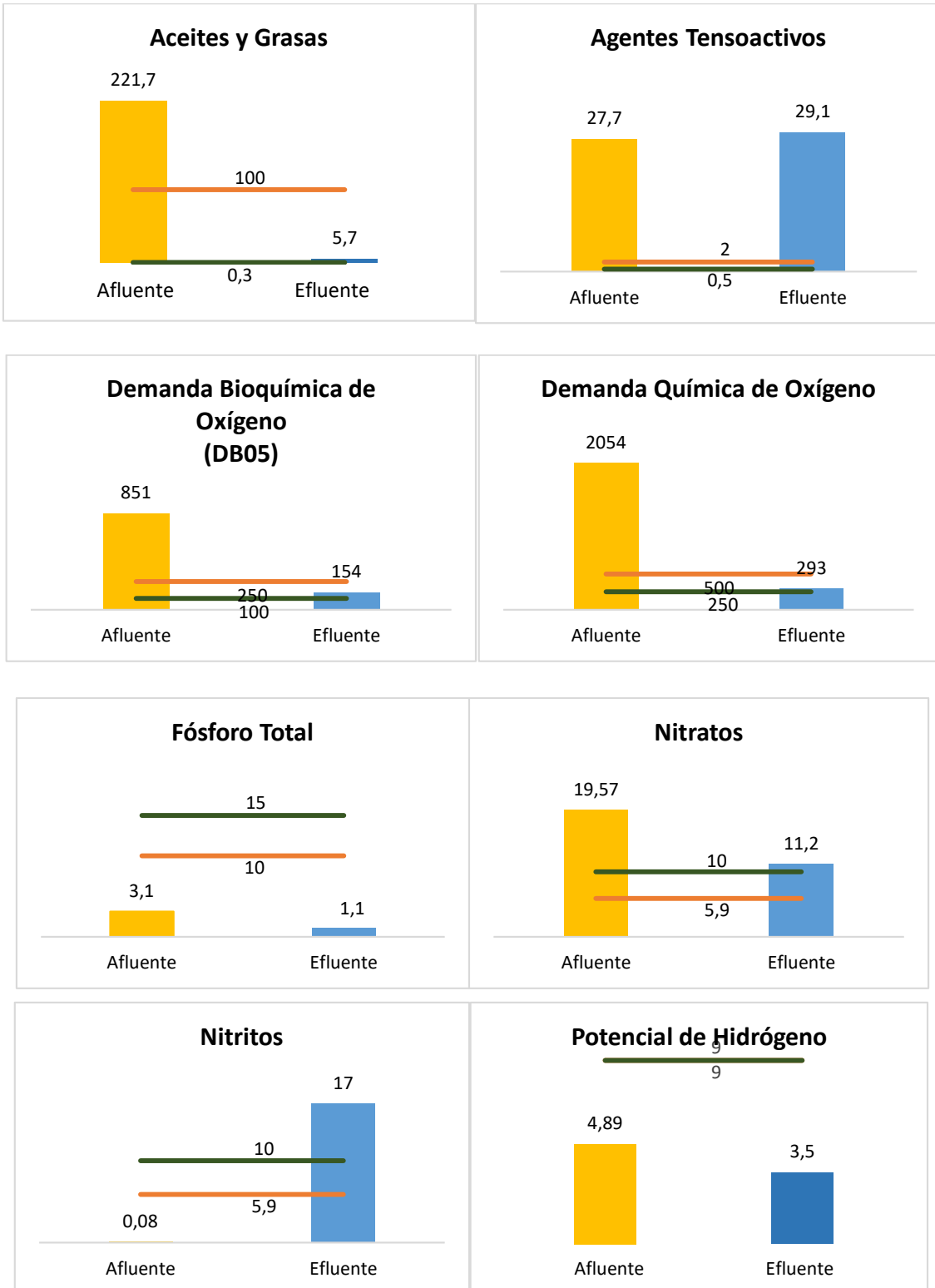


Figura 44. Comparación entre resultados de afluente y efluente basado en TULSMA

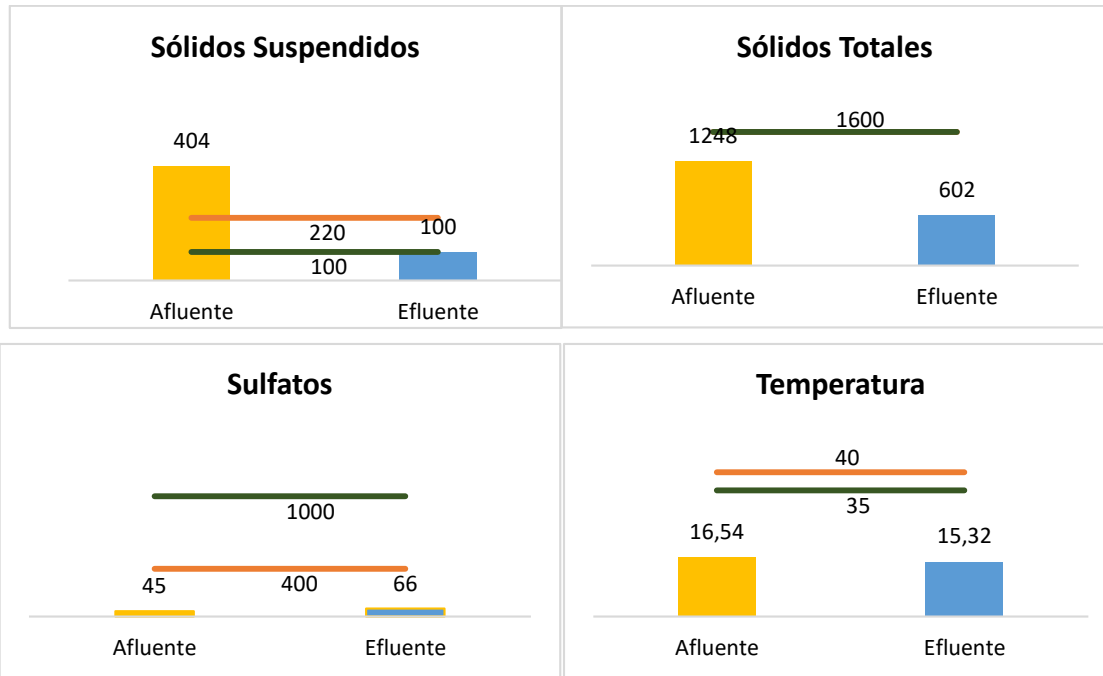


Figura 45. Comparación entre resultados de afluente y efluente basado en TULSMA

▪ Registro Oficial 028

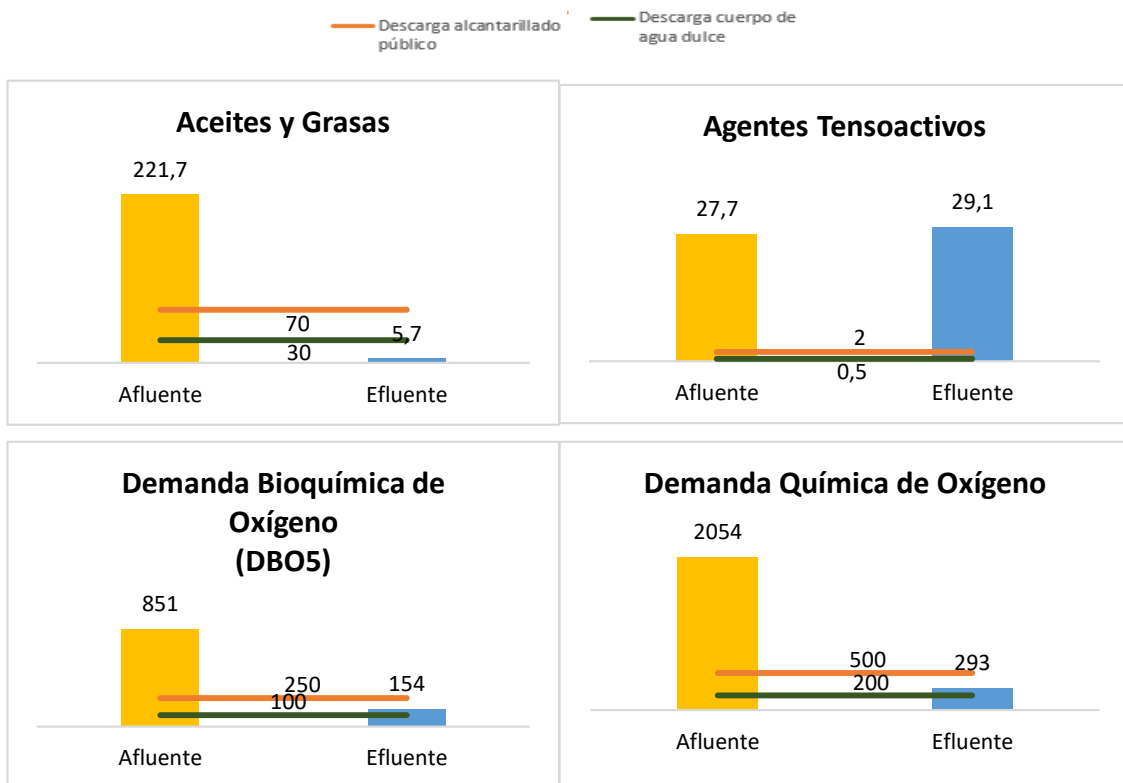


Figura 46. Comparación entre resultados de afluente y efluente basado en Registro Oficial 028

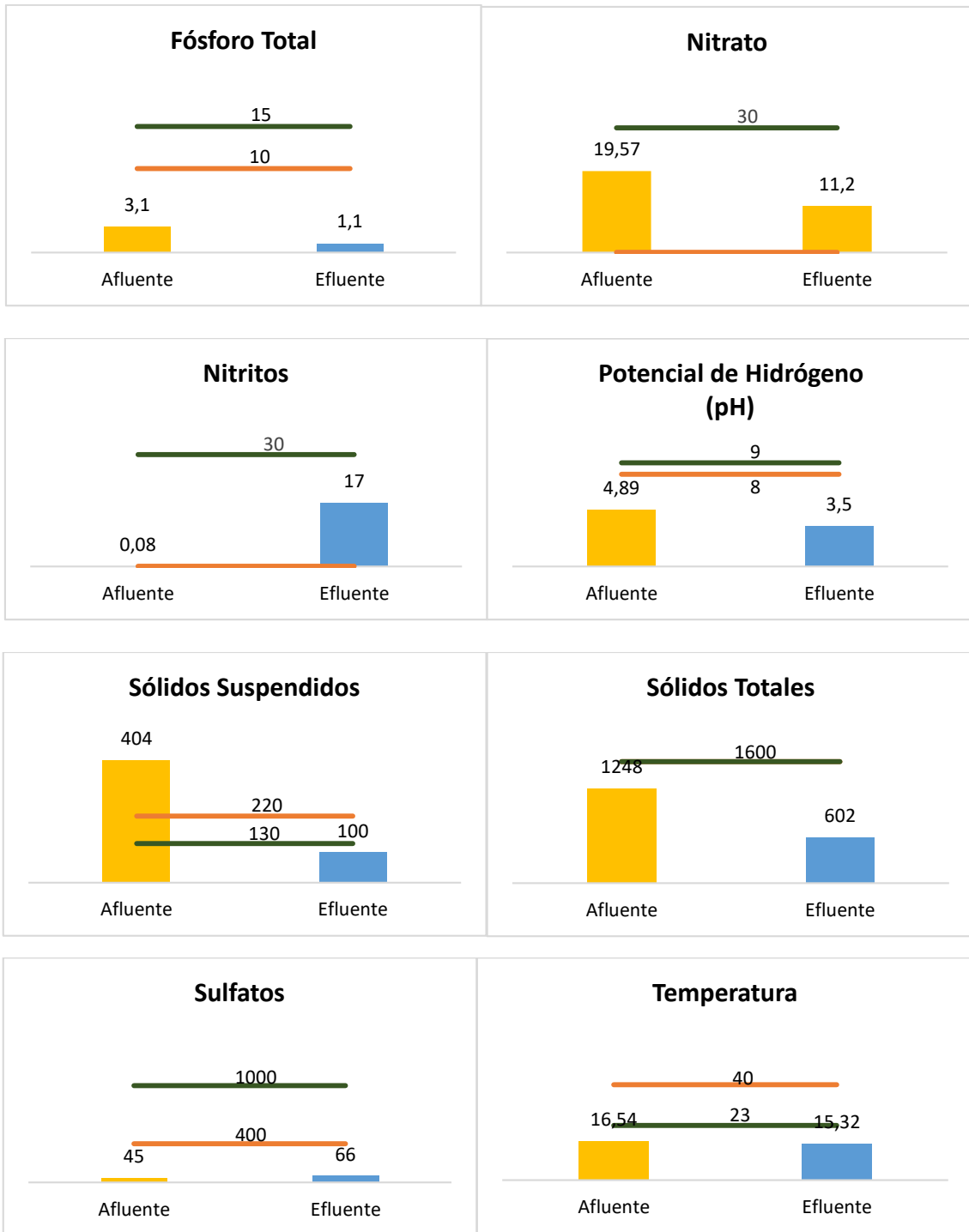


Figura 47. Comparación entre resultados de afluente y efluente basado en Registro Oficial 028

Al realizar el análisis de la figura 44 a la figura 47, se evidenció una disminución de contaminantes en los parámetros de aceites y grasas, DBO5, DQO, fósforo, nitratos, solidos suspendidos, solidos totales y temperatura.

Aceites y grasas se verificó una remoción significativa del 97,4 %, se debió a que el sistema contó con un pretratamiento (dos trampas de grasas) y como el humedal estaba formado por piedras y ripio ayudaron a la disminución de este parámetro.

Con respecto al parámetro de DBO y DQO se evidenció una remoción del 81,9 % y 85,7% respectivamente, por lo que si se estuvo tratando y disminuyó así la carga de contaminantes en el sistema.

En cuanto a nutrientes se evidenció una disminución con respecto a los nitratos, esto pudo pasar, porque, se usó plantas como el carrizo que prefieren nitrógeno como nutriente principal para su crecimiento, el porcentaje de remoción fue de 42,5 %.

Para solidos totales y suspendidos debido al material granular que se utilizó para el humedal se dio una absorción dentro de los minerales, existiendo un porcentaje de remoción del 63,5 %.

Se verificó la disminución de las concentraciones en 7 parámetros físicos-químicos que a su vez estos se correlacionaban comprobando la eficiencia del tratamiento natural, ya que se logró un promedio de remoción de 71,2% aproximadamente, como se muestra en la tabla 16.

Tabla 16. Porcentaje de remoción de los parámetros físicos-químicos

Parámetro	Afluente	Efluente	% de Remoción
Aceites y Grasas	221,7	5,7	97,4
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	851	154	81,9
Demanda Química de Oxígeno	2054	293	85,7
Fosforo Total	3,1	1,1	64,5
Nitratos	19,5	11,2	42,5
Sólidos Suspendidos	404	100	75,2
Sólidos Totales	1248	602	51,7
PROMEDIO TOTAL			71,2

Tabla 17. Resultados de las unidades de los parámetros pH y Temperatura

Parámetro	Afluente	Efluente	Unidades
Potencial de Hidrogeno	4,89	3,50	28,4
Temperatura	16,5	15,3	7,2

Sin embargo, en la comparación del afluente con respecto al efluente se evidenció un aumento de este último en los parámetros de agentes tensoactivos, nitritos y sulfatos y esto se pudo dar por las varias situaciones:

Con respecto a agentes tensoactivos se obtuvo para el afluente un valor de 27,7 mg/l, mientras que para el efluente 29,1 mg/l, si bien numéricamente se verificó que el valor del efluente fue mayor, no existió una diferencia significativa, los cuales se pudieron considerar estadísticamente iguales por incertidumbre del método aplicado; por otro lado se evidenció que no existe una remoción en este parámetro, manteniéndose inalterado. Además, debido a la gran cantidad de tensoactivos, posiblemente hubo falta de oxigenación en las aguas ya que primero las plantas posiblemente no tenían las raíces lo suficiente grandes para realizar este proceso o porque la cantidad de plantas no era lo suficiente.

El mismo evento ocurre con sulfatos donde tuvimos para el afluente un valor de 45 mg/l, mientras que para el efluente 66 mg/l, debido a que los sulfatos tienen relación con los tensoactivos por la composición química (Bello, 2018), si los tensoactivos estaban elevados también sucederá con los sulfatos. Complementando pudimos observar el ingreso de partículas de polvo en gran cantidad ya que en el tiempo que se realizó la implementación de la biojardinera y el muestreo hubo vientos fuertes que traían polvo y hojas. Tanto las partículas de polvo como las hojas son formas de que el azufre ingrese en el ciclo biogeoquímico del azufre (Sanzano, EDAFOLOGÍA, 2019), Además, que las raíces de las plantas posiblemente no crecieron para poder captar los sulfatos en forma de proteína.

Para los nitritos tuvimos resultados en el afluente un valor de 0.1 mg/l y en el efluente un valor de 17 mg/l, los procesos de nitrificación no se llevaron correctamente, porque el pH estaba por debajo de los 5.5 – 6.5 (pH-ácido) que según información bibliográfica debe ser mayor a la mencionada para que la transformación sea más rápida (CICEANA, 2019), además que puede ser que las bacterias que transforman el nitrito a nitrato no sean las suficientes.

Debido a la situación sanitaria que actualmente nos encontramos surgieron varias problemáticas y que no se tomaron en consideración al momento de la toma de muestras, por lo que esto influyó en los resultados: tiempo de retención, planificación, estabilidad de la muestra y del flujo del caudal.

Cabe mencionar que las muestras se tomaron 16 días después de ya finalizada la implementación de la biojardinera, para que las plantas realicen su trabajo en este tiempo y exista así un flujo continuo.

En la tabla 18 se evidencia los resultados con respecto a 3 parámetros en los cuales se evidencia su aumento.

Tabla 18. Porcentaje de remoción de los parámetros físicos-químicos

Parámetro	Afluente	Efluente	Aumento
Agentes Tensoactivos	27,7	29,1	1,4
Nitritos	0,1	17	16,9
Sulfatos	45	66	21
PROMEDIO TOTAL			13,1

3.8.2. Calidad del efluente según normativas

El presente proyecto tiene como finalidad que el efluente sea utilizado para diferentes actividades de riego como para árboles frutales y cultivos de temporada que existían en la residencia y también su reutilización para actividades domésticas. Sin embargo, como indica en la tabla 6: Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola del "Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente" (TULSMA) y de la tabla 4: Criterios de Calidad de Aguas para Uso Agrícola en Riego del "Registro Oficial 028. Ver tablas 1 y 3, gran parte de los parámetros analizarse en estas tablas eran metales pesados y, ya que las aguas a tratar son producto de actividades domésticas solo del lavado de la cocina y de lavadora, su composición contiene jabón, detergentes, shampoo, aceites, grasas, materia orgánica y además que en las actividades cotidianas de los residentes no involucran ningún de estos elementos, es obsoleto realizar este análisis ya que sería una pérdida económica; estos análisis serian estrictamente cuando las aguas sean provenientes de procesos como minería o en si sean aguas residuales. Por tal razón, no fueron analizados en el laboratorio estos compuestos y no se consideró utilizar como comparación la normativa para uso agrícola y riego; se optó por comparar con las normas de: descarga al alcantarillado público (tabla 11) y, descarga a un cuerpo de agua dulce (tabla 12), del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA) Y Registro Oficial 028 tablas 9 y 10 respectivamente. Ver tablas 2 y 4.

En base a las bibliografías, se pudo usar el efluente para diversas actividades, el mismo que no tendrá un impacto perjudicial al ambiente.

▪ Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente

Para el afluente se analizaron 12 parámetros, identificando 6 parámetros que sobrepasaron los límites máximos permisibles de la normativa TULSMA para descarga al alcantarillado público y 6 parámetros que sobrepasaron el valor máximo permisible de la norma de descarga a un cuerpo receptor. Y se evidenció que 6 parámetros si cumplían con los límites máximos permisibles tanto para descarga al alcantarillado público como a un cuerpo receptor. Ver tabla 19.

Mientras que para el efluente con los mismos parámetros analizados (12 en su totalidad) se evidenció que 8 parámetros cumplieron con los límites máximos permisibles para descarga al alcantarillado público y 7 parámetros cumplieron con los límites máximos permisibles para descarga a un cuerpo de agua dulce, sin embargo, existieron parámetros que superaron los límites máximos permisibles. Ver tabla 20.

Tabla 19. Comparación del afluente con el TULSMA

Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA)							
Parámetro	Expresado como	Unidad	Resultado	Límite máximo permisible			
				Descarga al alcantarillado público	Verificación de Cumplimiento	Descarga a un cuerpo de agua dulce	Verificación de Cumplimiento
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	221,7	100	No Cumple	0,3	No Cumple
Agentes Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	27,7	2	No Cumple	0,5	No Cumple
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅	mg/l	851	250	No Cumple	100	No Cumple
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	2054	500	No Cumple	250	No Cumple
Fosforo Total	P	mg/l	3,10	10	Cumple	15	Cumple
Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	0,08	5,9	Cumple	10	Cumple
Nitratos			19,57		No Cumple		No Cumple
Potencial de Hidrogeno	pH		4,89	9	Cumple	9	Cumple
Solidos Suspendidos	SST	mg/l	404	220	No Cumple	100	No Cumple

Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA)							
Parámetro	Expresado como	Unidad	Resultado	Límite máximo permisible			
				Descarga al alcantarillado público	Verificación de Cumplimiento	Descarga a un cuerpo de agua dulce	Verificación de Cumplimiento
Sólidos Totales	ST	mg/l	1248	1600	Cumple	1600	Cumple
Sulfatos	SO ₄ ⁻	mg/l	45	400	Cumple	1000	Cumple
Temperatura	°C	Condición Natural +/- 3 grados	16,54	<40	Cumple	<35	Cumple

Tabla 20. Comparación del efluente con el TULSMA

Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA)							
Parámetro	Expresado como	Unidad	Resultado	Límite máximo permisible			
				Descarga al alcantarillado público	Verificación de Cumplimiento	Descarga a un cuerpo de agua dulce	Verificación de Cumplimiento
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	5,7	100	Cumple	0,3	No Cumple
Agentes Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	29,1	2	No Cumple	0,5	No Cumple
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅	mg/l	154	250	Cumple	100	No Cumple
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	293	500	Cumple	250	No Cumple
Fosforo Total	P	mg/l	1,10	10	Cumple	15	Cumple
Nitritos Nitratos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	11,2 17	5,9	No Cumple	10	No Cumple
Potencial de Hidrogeno	pH		3,50	9	Cumple	9	Cumple
Sólidos Suspendidos	SST	mg/l	<100	220	Cumple	100	Cumple
Sólidos Totales	ST	mg/l	602	1600	Cumple	1600	Cumple
Sulfatos	SO ₄ ⁻	mg/l	66	400	Cumple	1000	Cumple
Temperatura	°C	Condición Natural +/- 3 grados	15,32	<40	Cumple	<35	Cumple

▪ Registro Oficial 028

Se realizó también la comparación de la calidad del afluente y efluente con el Registro oficial 028 en la cual, 12 parámetros fueron analizados para el afluente y se evidenció que fue una cantidad menor de parámetros que no cumplió con esta normativa, de los cuales, 4 parámetros no cumplieron con el límite máximo permisible para la descarga al sistema de alcantarillado público y 3 parámetros no cumplieron con la descarga a un cuerpo de agua dulce. Ver tabla 21.

Mientras que para el efluente, la mayoría de parámetros cumplieron con los límites máximos permisibles tanto para descarga al sistema de alcantarillado público y descarga a un cuerpo de agua dulce, que fueron 8 y 9 parámetros respectivamente. Ver tabla 22.

Tabla 21. Comparación del afluente con el Registro Oficial 028

Registro oficial 028							
Parámetro	Expresado como	Unidad	Resultado	Límite máximo permisible			
				Descarga al sistema de alcantarillado público	Verificación de Cumplimiento	Descarga a un cuerpo de agua dulce	Verificación de Cumplimiento
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	221,7	70,0	No Cumple	30,0	No Cumple
Agentes Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	27,7	2,00	No Cumple	0,5	No Cumple
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅	mg/l	851	250,0	No Cumple	100,0	Cumple
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	2054	500	Cumple	200,0	Cumple
Fosforo Total	P	mg/l	3,10	10,0	Cumple	15,0	Cumple
Nitrógeno Total	N	mg/l	0,08 19,57	-	Cumple	30,0	Cumple
Potencial de Hidrogeno	pH		4,89	8	Cumple	9	Cumple
Solidos Suspendidos	SST	mg/l	404	220,0	No Cumple	130,0	No Cumple
Solidos Totales	ST	mg/l	1248	1600,0	Cumple	1600,0	Cumple
Sulfatos	SO ₄ ⁻	mg/l	45	400,0	Cumple	1000,0	Cumple
Temperatura	°C		16,54	<40,0	Cumple	<23	Cumple

Tabla 22. Comparación del efluente con el Registro Oficial 028

Registro oficial 028							
Parámetro	Expresado como	Unidad	Resultado	Límite máximo permisible			
				Descarga al sistema de alcantarillado público	Verificación de Cumplimiento	Descarga a un cuerpo de agua dulce	Verificación de Cumplimiento
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	5,7	70,0	No Cumple	30,0	Cumple
Agentes Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	29,1	2,00	No Cumple	0,5	No Cumple
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅	mg/l	293	250,0	No Cumple	100,0	No Cumple
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	154	500	Cumple	200,0	Cumple
Fosforo Total	P	mg/l	1,10	10,0	Cumple	15,0	Cumple
Nitrógeno Total	N	mg/l	11,2 17	-	Cumple	30,0	Cumple
Potencial de Hidrogeno	pH		3,50	8	Cumple	9	Cumple
Solidos Suspendidos	SST	mg/l	<100	220,0	Cumple	130,0	Cumple
Solidos Totales	ST	mg/l	602	1600,0	Cumple	1600,0	Cumple
Sulfatos	SO ₄ ⁻	mg/l	66	400,0	Cumple	1000,0	Cumple
Temperatura	°C		15,32	<40,0	Cumple	<23	Cumple

En síntesis, con el funcionamiento menos de un mes de la biojardinera, se identificaron los parámetros del efluente que no cumplen con las normativas, se espera que, al transcurrir los meses, el efluente llegue a cumplir con todos valores de los parámetros establecidos, y, lograr el objetivo de reducir la DBOe a 20 mg/L.

Debido a que se tuvo complicaciones en cuanto a la implementación del sistema y en los resultados de los análisis y tomando varias consideraciones para su corrección, se volvió a implementar el sistema y realizando el ensayo de los parámetros en donde hubo un aumento, para lo cual se realizó lo siguiente:

- Se colocó una malla en los tubos de los tanques del pretratamiento esto para tener una mayor retención de sólidos y materia flotante evitando su ingreso a la biojardinera. En la figura 48 se visualiza con mayor detalle la colocación de malla en los tanques de pretratamiento.



Figura 48. Colocación de malla en tubos de salida del pretratamiento

- Se cambió el plástico por geomembrana, se evidenció que hubo fugas e infiltración a la tierra con la utilización del anterior material. En la figura 49 se visualiza con mayor detalle la infiltración que hubo en el lugar del humedal por el plástico.



Figura 49. Infiltración

En la figura 50 se visualiza con mayor detalle la colocación de geomembrana para el humedal.



Figura 50. Colocación de geomembrana

- Se lavó el sustrato para el humedal o biojardinera. En la figura 51 se visualiza con mayor detalle la limpieza del sustrato granular (piedra bola ripio).



Figura 51. Lavado sustrato granular

- Se volvió a colocar el material granular. En la figura 52 se visualiza con mayor detalle la colocación de este sustrato (piedra bola ripio).



Figura 52. Colocación del material granular

- Además de las plantas ya sembradas, se adaptó previamente más plantas y se las colocó al alrededor de la biojardinera, colocándose de forma seguida con el fin de que tengan mayor resistencia en sus raíces. En la figura 53 se visualiza con mayor detalle las plantas carrizo adaptadas para su implementación.

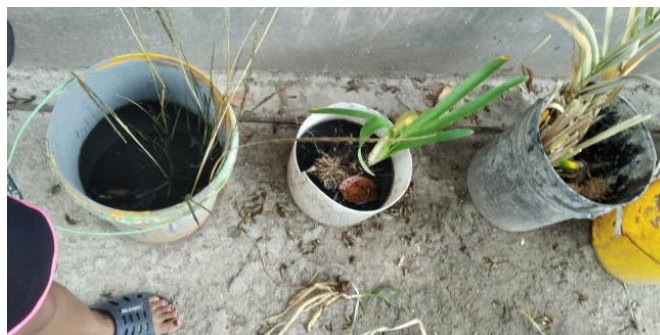


Figura 53. Adaptación de plantas

En la figura 54 se visualiza con mayor detalle la colocación de las plantas carrizo.



Figura 54. Colocación de plantas alrededor de la biojardinera

- Salida del efluente. En la figura 55 se visualiza con mayor detalle la salida del efluente al tanque de almacenamiento.



Figura 55. Tanque de almacenamiento del efluente

- Se realizaron los análisis de los parámetros de Agente Tensoactivos, Nitritos y Sulfatos en el laboratorio LASA, se trasladó la muestra de 1L del efluente en una botella. Solo se realizó análisis del efluente ya que del afluyente no se cambió o modificó ninguna condición. Ver Anexo VII. En la figura 56 se visualiza con mayor detalle el envase donde se llevó la nueva muestra que era efluente al tanque de almacenamiento.



Figura 56. Muestra del efluente al laboratorio LASA

Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 23. Resultados nuevos de los parámetros físicos-químicos

Parámetro	Efluente
Agentes Tensoactivos	85,4
Nitritos	0
Sulfatos	185

Con los resultados obtenidos se verificó que la biojardinera no está tratando tensoactivos, sin embargo, se evidenció que los nitritos fue bajo en su totalidad por lo que, sí se está llevando el proceso correctamente con ayuda de las plantas de la biojardinera, cumpliendo con la normativa al igual que sulfatos.

3.9. Usos del Agua Tratada

Con la finalización del proyecto, verificando su funcionalidad y la calidad del efluente, se realizó los siguientes usos de agua tratada:

- **Reutilización**

Debido a la calidad del agua obtenida, el uso que actualmente se le dio a esta agua fue para diversas actividades de riego como el lavado de los diferentes patios, lavado del área de animales, para el riego para los diferentes cultivos, terreno que cuenta la residencia.

- **Almacenamiento**

El agua tratada que se encuentra en el depósito de almacenamiento cuenta con un volumen de 60 lt, por lo que una vez llenó este tanque se bombea el agua hacia el terreno o depende la actividad que los propietarios deseen realizar.

3.10. Manual de Mantenimiento para el Sistema de Tratamiento o Biojardinera Casera

Para el correcto funcionamiento de la Biojardinera o del sistema se debe llevar un mantenimiento en conjunto de todo el sistema, esto lo realizarán los usuarios, quienes son los responsables.

- **Tratamiento Primario**

Realizar la limpieza periódicamente aproximadamente se debe limpiar cada 8 días los dos tanques del pretratamiento.

Para los desechos que se recojan en esta etapa, como los sólidos y grasas, el usuario debe usar equipo de protección personal como guantes de hule para evitar contacto directo con los sólidos y mascarillas esto para posibles infecciones o acumulación de olor en este lugar y con el uso de un colador se retirará las grasas que flotan dentro de los tanques y posterior a esto retirar los sólidos del fondo de los tanque para no inhalar olores existentes de los tanques, por último, se sugiere que la persona que realice el mantenimiento utilice una camisa de manga larga.

Con la ayuda de un colador se cierne el agua de los dos tanques del pretratamiento, los sólidos que quedan se colocan en un balde o recipiente. Una vez los tanques vacíos se lavarán las paredes con agua sin detergente. En la figura 57 se visualiza con mayor detalle el mantenimiento que se realizó en el pretratamiento, retirado solidos gruesos con la ayuda de un colador.



Figura 57. Mantenimiento del pretratamiento

El destino final de los sólidos será llevado para compost o para enterrarlo en algún árbol aledaño del domicilio, mientras que la grasa es mejor tratarla con cal y dejarla secar al sol o solo se puede optar por la opción de enterrarla, posterior a esto, se lavarán los equipos de protección que se usó.

Para un adecuado mantenimiento es conveniente llevar un registro, colocando la fecha, hora y el nombre del usuario que realizó el mantenimiento de esta área.

Siempre al momento de finalizar con la limpieza tapar herméticamente bien el tanque de almacenamiento.

- **Biojardinera**

Revisar periódicamente la tubería por la que ingresa el líquido para evitar taponamientos en este sitio.

Se realiza una limpieza constante en los lechos filtrantes de preferencia en su parte superior, para que no se acumule la materia orgánica en los lechos.

De haber obstrucciones de agua en el inicio de la biojardinera, se removerá el material granular grueso que se encuentre en esta zona y también parte del material del lecho filtrante de menor tamaño, este material retirarlo se lo puede lavar y limpiarlo para volver a colocarlo o a su vez se puede sustituir con otro material que cuente con características similares, para que pueda igual tener la misma eficiencia para remoción y dure varios años.

Para la vegetación, se debe cortar, es recomendable para cortar las plantas esperar un año después de haberlas sembrado por primera vez, después si realizar esta actividad cada seis meses.

- **Depósito de almacenamiento**

Para la limpieza del depósito final, se realizará un mantenimiento mensual y se empleará equipo de protección como guantes de hule, retirar el agua acumulada en caso de existir y lavar el tanque esto para evitar cualquier impureza que pueda existir. Se debe dar limpieza a los tubos que llevan el efluente para evitar cualquier obstrucción en el mismo.

Siempre al momento de finalizar con la limpieza tapar herméticamente bien el tanque de almacenamiento.

- **Cuidado del sistema en general**

Ya que el sistema se encuentra en un área en donde existen animales y niños, se vio la necesidad de colocar una cerca alrededor de todo el sistema instalado.

Las personas responsables del cuidado de todo el sistema serán los dueños del domicilio que con la ayuda del manual de mantenimiento y operación de la biojardinera lo realizarán de una manera más eficiente ya que existe información básica. Ver Anexo VIII.

3.11. Presupuesto de la Biojardinera Casera

Los costos para la implementación de las fases de la biojardinera se detallan a continuación, considerando que el costo no incluye mano de obra en la implementación:

Tabla 24. Presupuesto para la implementación de la Biojardineria

PRESUPUESTO				
Materiales	Unidades	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Plástico negro 2mts 1,70	ml	16	1,02	16,43
Tubo desagüe rival 50x30	ml	10	3,72	37,23
Tapón rival pvc macho 2	u	4	0,92	3,7
Kalipega pvc 250	u	1	4,62	4,63
Broca hss titanio 1/8	u	1	0,93	0,94
Tapa rival PVC hembra 2	u	4	0,75	3,04
Codos rival pvc C/E 2x45	u	2	0,92	1,86
Codos rival pvc C/E 2x90	u	9	0,91	8,24
Tanques de 60	u	3	10,00	30,00
Carretilla de ripio		15	1,75	26,25
Tee rival PVC C/C/E 2	u	9	1,00	9,00
Yee riva I PVC C/C/E 2	u	1	1,41	1,41
Sifón rival PVC S/R EG E/C 2	u	1	3,33	3,34
			SUBTOTAL	146,07
			12% I.V.A	17,53
			TOTAL	163,60
Viáticos		1	5,00	5,00
			TOTAL	168,60

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se llevó a cabo la correcta implementación de una biojardineria casera para el tratamiento de agua gris en una residencia ubicada en la ciudad de Quito, parroquia de Tumbaco.
- La realización del levantamiento planimétrico, fue fundamental para conocer las condiciones reales en las que se encontraba la residencia y de esta forma realizar con éxito las instalaciones hidráulico-sanitarias de la residencia.
- Mediante la realización de aforos, la determinación de criterios de diseño y parámetros como de la DBOe y el TRH, se determinó el caudal a tratar.
- El diseño del sistema de tratamiento o biojardineria casera, se desarrolló con el cumplimiento de todas sus etapas, la realización de un pretratamiento, la realización del humedal o biojardineria y la realización del depósito de almacenamiento como etapa final.

- La realización de un pretratamiento para este tipo de proyectos es muy importante, ya que la procedencia del afluente es de lavabos y fregaderos de la residencia por lo que se tiene una gran cantidad de grasas y sólidos y estos son removidos en esta etapa por las trampas de grasas implementadas, evitando que toda esta contaminación llegue al humedal y poder tener agua de mejor calidad.
- Con la caracterización tanto del afluente como del efluente, se logró obtener resultados factibles y concisos para su comparación.
- Al transcurrir menos de un mes del funcionamiento de la biojardinera y al comparar las características del afluente y el efluente de los primeros análisis, se verificó que existe un promedio de 71,2 % de remoción en las concentraciones de los contaminantes. Se espera que al pasar los meses y al haber realizados modificaciones en la implementación del sistema exista una remoción de concentración más alta y también debido al prendimiento de las plantas semiacuáticas, ya que son las encargadas de degradar los contaminantes.
- Respecto a las concentraciones de nitrógeno (como nitratos) en agua para usarse en riego agrícola, no existe inconveniente en que presente concentraciones altas ya que el nitrógeno es aprovechado por los cultivos en su desarrollo.
- Con la implementación del proyecto, el manual de operación y mantenimiento del sistema, se evidenció la aceptación del proyecto, así como la concientización sobre la importancia que tiene el agua.

4.2. Recomendaciones

- Es recomendable colocar una malla o rejilla en lavabos para evitar el taponamiento de la tubería y que sólidos en gran cantidad ingresen al sistema.
- Para evitar filtraciones al suelo lo más recomendable es la utilización de geomembrana para la construcción del humedal, pero en caso de poseer los recursos económicos colocar plástico de 1.4 mm de espesor.
- Si el terreno necesita ser nivelado para implementar el humedal, se deben realizar compactaciones del terreno que conforman los taludes, para evitar deslizamientos.
- El material granular que se coloque en el humedal, debe ser lavado para evitar que el agua se contamine de impurezas y será colocado cuidadosamente para evitar daños o perforaciones en la capa impermeable.
- Como la mayor descarga de afluente es proveniente de la lavadora es importante incorporar un detergente biodegradable o a su vez adaptar alguna planta de fam.

Pontederiaceae “Lechuguín”, la misma que es altamente eficaz en la eliminación de este este parámetro ayudando en el tratamiento de tensoactivos.

- Colocar las plantas con una separación aproximadamente de 35 cm para que exista una mayor remoción de contaminantes en el agua ya que en el área del humedal entrará más plantas.
- Para llevar a cabo un muestreo en este tipo de aguas, se debe realizar un muestreo compuesto, el cual tomará la muestra del afluente y esperar su TRH para la toma de muestra del efluente y realizar previamente su mantenimiento, con esto se obtendrá resultados más estables en el laboratorio.
- En el momento de colocar el material pétreo como piedra bola y ripio hacerlo cuidadosamente, es preferible colocar antes como material amortiguador costales o cartones para que la capa impermeable no sufra daños.
- Las plantas seleccionadas para la biojardinería deben ser familiarizadas con las aguas a tratar para que posterior se adapten con mayor facilidad al humedal, la adaptación va a variar de acuerdo a la zona y el tipo de planta que se utilice para el proyecto. Pero puede ser entre una o dos semanas de adaptación.
- Realizar cunetas o zangas alrededor del sistema para evitar el ingreso de agua lluvia en invierno.

5. BIBLIOGRAFÍA

ACEPESA. (2010). *Manual Construcción y mantenimiento de biojardinerías*.
<https://es.scribd.com/doc/86342156/Manual-Construccion-y-mantenimiento-de-biojardinerias-ACEPESA>

Arias, C. A., & Brix, H. (2003). Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*.
<https://doi.org/10.18359/rcin.1321>

Betty González, Renato Baque, Luis Simba. (2016). *Calidad del agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador*.

Bolaños-Alfaro, J. D., Cordero Castro, G., & Segura Araya, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). <https://doi.org/10.18845/tm.v30i4.3408>

Cevallos Denisse & Guañuna Jeferson. (2019). *IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISAS MEDIANTE BIOJARDINERAS EN*

UNA RESIDENCIA DE LA PARROQUIA «CALDERÓN» PARA SU REUTILIZACIÓN.

Corrales, S. M. (2011). *EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE UNA BIOJARDINERA DE FLUJO SUBSUPERFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES EN ZAPOTE, SAN JOSÉ.* 160.

Cubillo Maria Fernanda & Gómez William. (2017). *Biojardineras como alternativa.*

Delgadillo Oscar, Camacho Alan, & Andrade Mauricio. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales.*

Ever Centeno & Pastor Gutiérrez. (2019). *IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA AGUAS GRISES MEDIANTE HUMEDALES EN LA COMUNIDAD PASO ANCHO, DEL MUNICIPIO DE ESTELI.*

GAD TUMBACO. (2016). *La Parroquia – GAD de Tumbaco.* <https://tumbaco.gob.ec/la-parroquia/>

GEOECUADOR. (2008). *Capítulo 3. Estado del agua.*
<http://www.pnuma.org/deat1/pdf/Ecuador%20pdf/05.%20Capitulo%203.%20Estado%20del%20agua-1.pdf>

Google Maps. (2021). *Google Maps.*
<https://www.google.com/maps/place/San+Jose+De+Collaqui/@-0.176299,-78.3996801,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x91d5919b1d958e5b:0x8511758d06a6cf18m2!3d-0.176299!4d-78.3974914>

Guastay Cajo, W. E., & Llanes Cedeño, E. A. (2020). EL USO DE LA ENERGÍA HIDRÁULICA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA COMO ESTRATEGIA PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL EN EL ECUADOR. *Universidad Ciencia y Tecnología*, 24(104), 28-35.
<https://doi.org/10.47460/uct.v24i104.363>

INEC & Unicef. (2010). *Agua Saneamiento e Higiene.*
https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Libros/AGUA,_SANEAMIENTO_e_HIGIENE.pdf

Jose Chang. (2009, julio 27). *Calidad de Agua.*
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6145/2/Calidad%20de%20Agua%20Unidad%201%2C2%2C3.pdf>

- Junta de Andalucía. (2010). *Macrófitos*.
https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/agencia_andaluza_del_agua/participacion/publicaciones/macrophytos/macrophytos.pdf
- Maxe Maria, & LLochla Herry. (2016). Microorganismos depuradores asociados con enneas (*Typha latifolia*) en la depuración de aguas residuales. 2016, 5(1), 7.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *ACUERDO_MINISTERIAL 028*.
- Ministerio del Ambiente. (2016). *NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES : RECURSO AGUA*.
- Moina Rocio & Aldaz Geovanny. (2012). *Implementación de un Sistema de Tratamiento para Aguas Residuales Provenientes de las Porquerizas en la Comunidad de San Martín de Veranillo utilizando Tamuz Comercial*.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2640/1/236T0072.pdf>
- Shiguango Shiguango Jose. (2016). *“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA BIOJARDINERA MEDIANTE FITODEPURACIÓN, PARA EL TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES DOMICILIARIAS EN LA COMUNIDAD DE YAWARI”*.
- Sierra José. (2006). *Tratamiento y Reutilización de Aguas Grises en Proyectos de Vivienda de Interés Social a partir de Humedales Artificiales*.
- Solís, W. G. (2016). *Biojardineras y Cosecha de agua de lluvia (Reservorios y sistema de purificación)*. 3(2), 7.
- TULSMA. (2012). *Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente*.
- V de Ita. (2018). *Método de Evaluación Rápida de Invasividad (MERI) para especies exóticas en México*.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/220947/Arundo_donax.pdf