

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE QUÍMICA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería
Ambiental

**“Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales generadas en el centro
de lavado de vehículos de la Municipalidad de Pococí”**

Michelle Ariana Montero Marín

Cartago, Agosto, 2021

TEC | Tecnológico de Costa Rica
Ingeniería Ambiental

“Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales generadas en el centro de lavado de vehículos de la Municipalidad de Pococí”

Informe presentado a la Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Ambiental con el grado de licenciatura

Miembros del tribunal

Ing. Jorge Calvo Gutiérrez

Director

Ing. Lilliana Gaviria Montoya

Lector 1

MSc. Ana Lorena Arias Zúñiga

Lector 2

Ing. Mary Luz Barrios Hernández
Coordinador COTRAFIG

MGA. Ricardo Coy Herrera

Director Escuela de Química

MSc. Ana Lorena Arias Zúñiga
Coordinadora Carrera de Ingeniería Ambiental

DEDICATORIA

A mi mamá, por su apoyo incondicional.

Por sus palabras de aliento, confianza y por ser mi sostén durante todos mis años de estudio, sin ella definitivamente no sería quien soy.

A mis abuelitos y familia, que siempre me han tenido en sus oraciones.

A ti, por tu apoyo incondicional durante los últimos años.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirme llegar hasta aquí y darme las fuerzas para seguir adelante.

A mi familia, por estar siempre conmigo, por creer en mí y apoyarme en todo momento. A mi abuelo, que siempre estuvo para mí y por ayudarme a transportar todas las muestras siempre con la mayor disposición.

A mi profesor tutor Jorge Calvo, gracias por el apoyo, el tiempo y el conocimiento que me brindó en todo este proceso, por ser tan especial y siempre estar cuando necesité ayuda.

Al Departamento de Gestión Ambiental de la Municipalidad de Pococí, por abrirme las puertas, siempre tener la mayor disposición para brindar la información pertinente y por el apoyo brindado.

Al CEQIATEC y a la Escuela de Ingeniería Ambiental, por su colaboración para la realización de los análisis y el préstamo de equipo.

A todos los profesores y compañeros de la carrera de Ingeniería Ambiental, a todas las personas que de una u otra manera me han ayudado y apoyado durante mi recorrido universitario y que han contribuido a mi crecimiento profesional y personal.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	OBJETIVOS.....	2
2.1.1	Objetivo general.....	2
2.1.2	Objetivos específicos.....	2
3	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
3.1	<i>Aguas Residuales en Costa Rica</i>	3
3.2	<i>Lixiviados y su impacto ambiental</i>	4
3.2.1	Composición de los lixiviados.....	4
3.2.2	Tratamiento de lixiviados.....	5
3.3	<i>Aguas jabonosas y su impacto ambiental</i>	7
3.4	<i>Biojardinera</i>	7
3.4.1	Funcionamiento de remoción.....	10
3.4.2	Consideraciones de diseño de las biojardineras.....	11
3.4.3	Ventajas.....	12
3.4.4	Desventajas.....	13
3.4.5	Mantenimiento.....	13
3.5	<i>Cosecha de Agua lluvia</i>	14
3.5.1	Componentes.....	15
3.5.2	Ventajas.....	16
3.5.3	Desventajas.....	16
4	MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
4.1	<i>Lugar de estudio</i>	17
4.2	<i>Situación actual y alcance del estudio</i>	18
4.3	<i>Medición de caudal</i>	19
4.4	<i>Muestreo y análisis</i>	21
4.4.1	Medición de Temperatura y pH.....	21
4.4.2	Toma de muestras y análisis.....	21
4.5	<i>Diseño de la biojardinera</i>	24
4.6	<i>Captación de agua pluvial</i>	26
4.6.1	Determinación de la oferta.....	26
4.6.2	Determinación de la demanda.....	27
4.6.3	Cálculo del volumen del tanque de almacenamiento.....	27

4.7	<i>Costos del sistema</i>	28
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
5.1	<i>Consumo de agua para lavado</i>	29
5.2	<i>Calidad de aguas residuales</i>	31
5.2.1	Demanda bioquímica de oxígeno	32
5.2.2	Demanda química de oxígeno	33
5.2.3	Sólidos Suspendidos Totales	34
5.2.4	Sólidos Sedimentables.....	35
5.2.5	Grasas y aceites	36
5.2.6	Sustancias Activas al Azul de Metileno	37
5.2.7	Nitrógeno Total	38
5.2.8	Fósforo.....	39
5.2.9	Coliformes Fecales	39
5.2.10	pH.....	40
5.2.11	Temperatura	41
5.3	<i>Diseño del sistema de tratamiento</i>	42
5.3.1	Canaleta	42
5.3.2	Tubería del canal al pretratamiento	43
5.3.3	Pretratamiento	43
5.3.4	Biojardinera	46
5.4	<i>Diseño del sistema de captación de agua pluvial</i>	55
5.4.1	Dimensionamiento.....	55
5.4.2	Tubería hacia el tanque de captación.....	60
5.5	<i>Costos</i>	64
5.5.1	Materiales	64
5.5.2	Ahorro de agua potable	67
6	CONCLUSIONES	68
7	RECOMENDACIONES	70
8	REFERENCIAS	71
	Anexos	74
	<i>Anexo 1: Listado de vehículos pertenecientes a la Municipalidad de Pococí</i>	75
	Anexo 2: Tablas de relaciones hidráulicas	78

APÉNDICES.....	80
Apéndice 1: Calendario de lavado de los vehículos de la Municipalidad de Pococí.....	81
Apéndice 2: Resultados de los análisis físico químicos y microbiológicos.....	92
Apéndice 3: Memoria de Cálculo.....	99
Apéndice 4: Plantas utilizadas en las biojardineras.....	108

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 Tratamiento primario de una biojardinera	8
Figura 3.2 Principales componentes de una biojardinera de flujo subsuperficial	9
Figura 3.3 Representación gráfica de los componentes de un sistema de cosecha de agua pluvial.	15
Figura 4.1 Ubicación del plantel municipal.....	17
Figura 4.2 Croquis de las instalaciones del plantel municipal	19
Figura 4.3 Lavado de vehículo recolector de residuos no valorizables.....	20
Figura 4.4 Lavado de vehículo recolector de residuos valorizables.....	20
Figura 4.5 Lavado de vehículo liviano	20
Figura 4.6 Lavado de vehículo de limpieza de parques	20
Figura 4.7 Construcción de canal para muestreo.....	22
Figura 4.8 Recolección y trasvase de muestras	23
Figura 5.1 Consumo de agua para lavado.....	31
Figura 5.2 Valores de DBO obtenidos en los análisis fisicoquímicos.....	32
Figura 5.3 Valores de DQO obtenidos en los análisis fisicoquímicos	33
Figura 5.4 Valores de SST obtenidos en los análisis fisicoquímicos	34
Figura 5.5 Valores de SS obtenidos en los análisis fisicoquímicos	35
Figura 5.6 Valores de grasas y aceites obtenidos en los análisis fisicoquímicos	36
Figura 5.7 Valores de SAAM obtenidos en los análisis fisicoquímicos	37
Figura 5.8 Valores de nitrógeno total obtenidos en los análisis fisicoquímicos	38
Figura 5.9 Valores de fósforo obtenidos en los análisis fisicoquímicos	39
Figura 5.10 Valores de pH tomados en campo.....	40
Figura 5.11 Valores de temperatura tomados en campo	41
Figura 5.12 Vista en planta del canal de recolección de aguas de lavado y pretratamiento.	45
Figura 5.13 Perfil del sistema de recolección de aguas de lavado	45
Figura 5.14 Vista en planta y dimensiones del diseño de la biojardinera	48
Figura 5.15 Vista del corte longitudinal y dimensiones de la biojardinera	49
Figura 5.16 Vista del corte transversal y dimensiones de la biojardinera	50
Figura 5.17 Vista en planta del sistema de tratamiento.....	51
Figura 5.18 Perfil del sistema de tratamiento	51

Figura 5.19 Diseño de la tubería de ingreso y salida de la biojardinera.....	52
Figura 5.20 Desnivel de la tubería de ingreso y salida de la biojardinera.....	53
Figura 5.21 Sector de mantenimiento de vehículos.....	55
Figura 5.22 Malas condiciones del techo del sector de lavado de vehículos	56
Figura 5.23 Precipitación mensual del sitio de estudio	57
Figura 5.24 Diseño de la estructura que alberga el tanque de almacenamiento.....	59
Figura 5.25 Vista en planta del sistema de recolección de agua pluvial	61
Figura 5.26 Perfil del sistema de recolección de agua pluvial	61
Figura 5.27 Curvas de nivel del sistema de tratamiento y de recolección de agua pluvial ..	62
Figura 5.28 Ubicación del sistema de tratamiento y de recolección de agua pluvial.....	63

LISTA DE CUADROS

Cuadro 4.1 Distribución de la toma de muestras.....	21
Cuadro 4.2 Análisis realizados y sus métodos	23
Cuadro 5.1 Tiempo de lavado de los vehículos.....	29
Cuadro 5.2 Tiempo de lavado promedio de los vehículos	30
Cuadro 5.3 Parámetros de diseño de la canaleta	42
Cuadro 5.4 Parámetros de diseño de la tubería al pretratamiento	43
Cuadro 5.5 Parámetros de diseño del pretratamiento	44
Cuadro 5.6 Parámetros de diseño del sistema de tratamiento	47
Cuadro 5.7 Parámetros de diseño del sistema de agua pluvial.....	56
Cuadro 5.8 Oferta y demanda de agua pluvial mensual.....	58
Cuadro 5.9 Parámetros de diseño de la tubería hacia el tanque de captación	60
Cuadro 5.10 Materiales necesarios para la construcción del sistema de tratamiento y de captación de agua pluvial	64
Cuadro 5.11 Costos totales de construcción.....	66

LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
PNSAR	Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica
AyA	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
COT	Carbono Orgánico Total
DQO	Demanda Química de Oxígeno
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
pH	Potencial de Hidrógeno
SST	Sólidos Suspendidos Totales
SS	Sólidos Sedimentables
SAAM	Sustancias Activas al Azul de Metileno
ACEPESA	Asociación Centroamericana para la Economía la Salud y el Ambiente
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
OPS	Organización Panamericana de la Salud
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censo
CEQIATEC	Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos
IMN	Instituto Meteorológico Nacional

LISTA DE SÍMBOLOS

K_t	Constante a la temperatura del agua residual
K_{20}	Constante del agua a 20 °C
T	Temperatura
C_e	Concentración en el efluente
C_o	Concentración en el afluente
TRH	Tiempo hidráulico de retención
N	Porosidad efectiva del medio
L	Longitud del humedal
W	Ancho del humedal
d	Profundidad del agua
Q	Caudal
V	Volumen del humedal
A_s	Área superficial del humedal
A_i	Oferta de agua en el mes “ <i>i</i> ”
P_{pi}	Precipitación en el mes “ <i>i</i> ”
D_i	Demanda mensual en el mes “ <i>i</i> ”
C_{esc}	Coefficiente de escorrentía
N_{di}	Número de días del mes “ <i>i</i> ”
Dot	Dotación de agua al día
S	Pendiente
n	Rugosidad de Manning
b	Ancho del canal
D	Diámetro del tubo
R_h	Radio Hidráulico
Y_c	Tirante crítico
Y_n	Tirante normal
g	Gravedad

RESUMEN

El país ha hecho grandes esfuerzos en el mejoramiento de la red de agua potable, sin embargo el saneamiento ha quedado rezagado. La falta de tratamiento de las aguas residuales provenientes del centro de lavado de la Municipalidad de Pococí contribuye a un saneamiento inadecuado. Este último vierte a un cuerpo receptor sin ningún tratamiento previo las aguas residuales que se generan del lavado de vehículos que están compuestas principalmente de aguas jabonosas y lixiviados provenientes de los camiones recolectores de residuos no valorizables. Esta investigación propone el diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales generadas en dicho centro de lavado y el diseño de un sistema de captación de aguas pluviales para que las mismas sean utilizadas en el lavado de los vehículos en vez de agua potable. Se realizó un calendario de lavado para los vehículos pertenecientes a la Municipalidad para establecer el caudal de diseño, posteriormente se efectuaron análisis fisicoquímicos y microbiológicos a las aguas residuales de lavado y se propuso el diseño una biojardinera junto con el diseño del sistema de captación de aguas pluvial para finalmente establecer los costos de la construcción. Se encontró que el caudal de generación de aguas residuales es de 3,51 m³/día y que la calidad del agua residual excede los valores permitidos para el vertido en cuerpos receptores, con la implementación del sistema de captación de agua pluvial se ahorrará en agua potable un total de ¢210 000 al mes. El costo total de la construcción de la biojardinera es de ¢1 444 268 y el costo total del sistema de agua pluvial es de ¢1 473 686, para un total de ¢ 2 917 954.

Palabras clave: Centro de lavado, Sistema de tratamiento, Biojardinera, Lixiviados, Aguas jabonosas, Agua pluvial.

ABSTRACT

The country has made great efforts to improve the potable water network, however sanitation has lagged. The lack of wastewater treatment from the Pococí Municipality's washing center contributes to inadequate sanitation. The latter discharges into a receiving body without any previous treatment the wastewater generated from the washing of vehicles, which is mainly composed of soapy water and leachate from the trucks that collect non-recoverable waste. This research proposes the design of a treatment system for the wastewater generated in said washing center and the design of a rainwater catchment system so that it can be used in the washing of vehicles instead of drinking water. A washing schedule was carried out for the vehicles belonging to the Municipality to establish the design flow, subsequently, physicochemical and microbiological analyzes were carried out on the washing wastewater and the design of a wastewater garden was proposed together with the design of the water collection system. pluvial to finally establish the construction costs. It was found that the wastewater generation flow is 3,51 m³/day and that the quality of the wastewater exceeds the values allowed for discharge into receiving bodies, with the implementation of the rainwater collection system, water will be saved drinking a total of ¢210 000 per month. The total cost of the construction of the wastewater garden is ¢1 444 268 and the total cost of the rainwater system is ¢1 473 686, for a total of ¢2 917 954.

Key words: Washing center, Treatment system, Wastewater Garden, Leachates, Soapy water, Rainwater.

1 INTRODUCCIÓN

En el mundo se vive una crisis que se deriva de un ineficiente abastecimiento de agua, dicha crisis está directamente relacionada con el aumento de la demanda de agua potable para satisfacer el desarrollo industrial, poblacional y agrícola. Lo que no se debe dejar de lado es que, para el desarrollo humano y salud pública, el agua potable y el saneamiento no deben de tratarse como aspectos separados. Se calcula que cerca de 785 millones de personas no tienen acceso al agua potable, mientras que 2000 millones de personas carecen de servicios básicos de saneamiento, estas se vierten sin ningún tratamiento previo a los ríos y posteriormente llegan a los océanos (UNICEF & World Health Organization, 2019).

Costa Rica no es la excepción, gran parte de las inversiones en los últimos años se han dirigido al mejoramiento en la infraestructura para agua potable por lo que el saneamiento a nivel nacional de las aguas residuales ha quedado rezagado, dando como resultado el deterioro de la calidad en los cuerpos de agua, la cual se ha visto afectada de sobre manera a causa del crecimiento poblacional e industrial. A partir del compromiso de Costa Rica en el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), se constituye la Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales (PNSAR), cuyo fin es lograr para el año 2045, el manejo seguro del total de las aguas residuales generadas en el país, es decir que las aguas residuales no afecten al medio ambiente, mediante sistemas de tratamiento individuales o colectivos (MINAE, AyA, & Ministerio de Salud, 2016)

Con base en la situación existente, es la preocupación de la Municipalidad de Pococí de buscar una solución mediante un sistema de tratamiento que mejore la calidad de las aguas residuales provenientes del lavado de los vehículos y camiones recolectores del municipio, las cuales propias de su actividad no deben ser vertidas sin ningún tratamiento previo a un cuerpo receptor; por otra parte, para lograr la gestión integrada del recurso hídrico se plantea el diseño de un sistema de captación de agua pluvial para utilizarla en el lavado, con el fin de ahorrar agua potable y disminuir la factura por este concepto.

2 OBJETIVOS

2.1.1 Objetivo general

- Desarrollar un sistema de gestión y diseño para el adecuado manejo del recurso hídrico en el centro de lavado de los vehículos de la Municipalidad de Pococí.

2.1.2 Objetivos específicos

- Diseñar un sistema de tratamiento para las aguas residuales del centro de lavado.
- Diseñar un sistema de captación de agua pluvial, para ser utilizado en el lavado de vehículos disminuyendo el consumo de agua potable.
- Determinar los costos de la propuesta del sistema de tratamiento del lavado de vehículos y del sistema de captación de agua pluvial.

3 REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 AGUAS RESIDUALES EN COSTA RICA

El Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales N° 33601 de Costa Rica define las aguas residuales como: “Aguas que han recibido un uso y cuya calidad ha sido modificada por la incorporación de agentes contaminantes.”(Poder Ejecutivo, 2010).

Costa Rica ha hecho muchos esfuerzos para mejorar la situación en cuanto al manejo de aguas residuales, ya que existe una gran parte de la población que vierte las aguas residuales a los ríos y mares con deficiente o inexistente tratamiento previo. Actualmente, se encuentra en vigencia la Política Nacional de Saneamiento de Aguas Residuales la cual expone algunos de los problemas que se viven en esta área, siendo el principal de ellos la poca cobertura de plantas de tratamiento de aguas residuales ordinarias, pues se trata solamente el 14,43% a nivel nacional y 19,4% a nivel urbano del total de las aguas residuales que se generan anualmente (MINAE et al., 2016).

Lo anterior puede causar que la población entre en contacto directo con las aguas residuales ya sea por inadecuados sistemas de evacuación, transporte, tratamiento o por la carencia de ellos; estas aguas residuales pueden llegar a las aguas costeras, marítimas, aguas superficiales y/o subterráneas y contaminarlas. Y estas a su vez pueden ser utilizadas para diferentes fines como la pesca, el riego agrícola o por los mismos sistemas de agua potable y ser, nuevamente consumida por la población, creando lo que se denomina contaminación cruzada (MINAE et al., 2016).

Para evitar lo mencionado es que se promueve la búsqueda de sistemas de saneamiento de bajo costo que puedan ser desarrollados de forma privada y que se adapten a las condiciones existentes del entorno, estas condiciones se relacionan con: las condiciones del suelo, clima, planificación urbana, prácticas culturales de la población, entre otros (Cubillo & Gómez, 2017).

3.2 LIXIVIADOS Y SU IMPACTO AMBIENTAL

Los lixiviados están compuestos por agua residual producto de la descomposición de los desechos orgánicos y disolución de desechos inorgánicos. Los lixiviados, además se originan por la infiltración de agua en la masa de desechos sólidos o también por su compactación progresiva (Pérez-Salazar et al., 2019).

Los principales impactos ambientales potenciales relacionados con los lixiviados son la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales. De manera que, las malas prácticas de manejo y control de los lixiviados, pueden convertirlos en una fuente potencial de contaminación hidrogeológica, debido al riesgo que existe en el caso de que estos se infiltren y lleguen a las aguas subterráneas, significando una fuente alta de toxicidad y un riesgo alto de contagio de enfermedades cancerígenas (Quintero-Ramírez, Valencia-González, & Lara-Valencia, 2017); o que puedan llegar al agua superficial en donde entre los principales efectos potenciales se tiene: el agotamiento de oxígeno en el cuerpo de agua, cambios en la fauna y la flora (Kjeldsen et al., 2002).

3.2.1 Composición de los lixiviados

Las características de los lixiviados estarán influenciadas por varios factores, tales como: la composición de los residuos vertidos, la precipitación pluvial y la temperatura. Además, entre las características típicas del lixiviado se incluye: color oscuro, baja concentración de metales pesados, altas concentraciones de materia orgánica (biodegradable y refractaria, como sustancias húmicas), alta concentración de amoníaco, sólidos suspendidos y compuestos xenobióticos (plaguicidas, fenoles, entre otros.) (Ferraz & Yuan, 2020).

Por otra parte, Kjeldsen *et al* (Kjeldsen et al., 2002) clasifica los contaminantes de los lixiviados en cuatro grupos, los cuales se presentan a continuación:

- Materia orgánica disuelta: cuantificada como demanda química de oxígeno (DQO), carbono orgánico total (COT), ácidos grasos volátiles, compuestos húmicos y fúlvicos.
- Macro componentes inorgánicos: calcio, magnesio, sodio, potasio, amonio, hierro, manganeso, cloruro, sulfato y bicarbonatos.
- Metales pesados: cadmio, cromo, cobre, plomo, níquel y zinc.

- Compuestos xenobióticos orgánicos: incluyen una variedad de compuestos como hidrocarburos aromáticos, fenoles, alifáticos clorados, pesticidas y plaguicidas.

3.2.2 Tratamiento de lixiviados

El Reglamento sobre el manejo de residuos sólidos ordinarios N° 36093-S establece en su Artículo 29 lo siguiente:

“Art 29. - [...] Los lixiviados almacenados en el vehículo que se originen durante la recolección y transporte de los residuos sólidos ordinarios serán depositados en el sitio de disposición final o en una planta de tratamiento de aguas residuales debidamente autorizada por el Ministerio de Salud.”(Poder Ejecutivo, 2011).

Además, el artículo 31 expresa que:

“Art 31.-Al término de la jornada de trabajo se lavarán los vehículos y el equipo, a efecto de mantenerlos en condiciones que no atenten contra la salud de las personas. Las aguas de lavado de los vehículos y equipos destinados a la recolección y transporte deben ser conducidas a un sistema de recolección y tratamiento.” (Poder Ejecutivo, 2011).

Existen diversos tipos de tratamiento convencionales de lixiviados y estos se pueden clasificar en tres grupos (Renou, Givaudan, Poulain, Dirassouyan, & Moulin, 2008):

3.2.2.1 Tratamiento combinado con aguas residuales domésticas.

Una de sus ventajas es su fácil mantenimiento, bajo costo de operación y que no se necesita agregar a la planta nitrógeno (que es traído por el lixiviado) y fósforo (que es traído por las aguas residuales). Sin embargo, presenta algunas desventajas tales como: la presencia en el lixiviado de compuestos inhibidores orgánicos con baja biodegradabilidad y metales pesados, los cuales pueden reducir la eficiencia del tratamiento (Renou et al., 2008).

3.2.2.2 Biodegradación.

Se utiliza para la eliminación de la mayor parte del lixiviado que contiene altas concentraciones de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). La biodegradación es llevada a cabo por microorganismos, los cuales en condiciones aeróbicas se encargan de degradar los

compuestos orgánicos en dióxido de carbono y lodo, y en condiciones anaeróbicas en biogás (principalmente dióxido de carbono y metano) (Renou et al., 2008).

- **Procesos aeróbicos:** Un tratamiento aeróbico permite la reducción parcial de contaminantes orgánicos biodegradables y también logra la nitrificación del nitrato de amonio. Entre los procesos biológicos aerobios basados en el crecimiento de la biomasa en suspensión se encuentran: las lagunas aireadas, los lodos activados y los reactores de secuenciación por lotes (SBR), estos han sido ampliamente estudiados y adoptados. Mientras que los sistemas de crecimiento unidos han atraído recientemente un gran interés, entre ellos se encuentran: el biorreactor de lecho móvil (MBBR) y los biofiltros. Por otra parte, la combinación de la tecnología de separación de membrana y los biorreactores aeróbicos, comúnmente llamados biorreactores de membrana, también ha llevado a un nuevo enfoque en el tratamiento de los lixiviados (Renou et al., 2008).
- **Procesos anaerobios:** Un tratamiento anaeróbico es utilizado en el caso de un lixiviado joven, en especial lixiviados con altos contenidos de materia orgánica fácilmente biodegradable (Corena, 2008). Entre los procesos biológicos anaeróbicos basados en el crecimiento de la biomasa en suspensión se encuentran: los reactores anaerobios, los reactores de secuenciación por lotes o los reactores anaeróbicos de flujo ascendente (UASB). Mientras que entre los sistemas de crecimiento unidos se tienen: los filtros anaeróbicos, los filtros de lecho híbrido y los reactores de lecho fluidizado (Renou et al., 2008).

3.2.2.3 Métodos químicos y físicos

Los procesos físicos y químicos son usados para la eliminación de sólidos suspendidos, partículas coloidales, material flotante, color y compuestos tóxicos. Específicamente para el caso de los lixiviados se utiliza en la línea de tratamiento (pretratamiento o última purificación) o para tratar un contaminante específico (eliminación de amoníaco). Entre los métodos utilizados se tiene: la flotación, coagulación/floculación, precipitación química, la adsorción, la oxidación química y la extracción de aire (Renou et al., 2008).

3.3 AGUAS JABONOSAS Y SU IMPACTO AMBIENTAL

El lavado de vehículos requiere un gran volumen de agua por lo que consecuentemente genera un volumen importante de aguas residuales que contienen varios tipos de contaminantes. Principalmente las aguas residuales de lavado de autos contienen contaminantes como: nutrientes, materia orgánica, partículas, arena, aceite, grasa, detergentes (Rodriguez Boluarte et al., 2016). Sumado a lo anterior se producen aguas residuales que pueden contener productos de petróleo como diésel, gasolina, aceite de motor, grasas y lubricantes, provenientes del lavado de la superficie y el motor del vehículo (Qamar et al., 2017).

La problemática principal deriva en que las aguas residuales del lavado de autos se descargan a los sistemas de alcantarillado sin ningún tratamiento previo a llegar a los cuerpos de agua subterráneos o superficiales.

Esto puede no sólo afectar la calidad de las aguas superficiales y convertirlas en perjudiciales para los organismos acuáticos, sino que también pueden afectar las aguas subterráneas y convertirlas en no potables o no para consumo humano, debido a las concentraciones elevadas de contaminantes (Qamar et al., 2017). Además la presencia de componentes activos como el fósforo y el nitrógeno pueden estimular el crecimiento de algas en las aguas superficiales y por consiguiente problemas de eutrofización y reducción del oxígeno en el cuerpo de agua (Rengifo & Augusto, 2018).

3.4 BIOJARDINERA

La biojardinera es un sistema de depuración que funciona simulando un biofiltro, el cual combina el uso de plantas y microorganismos diversos para el tratamiento unificado de las aguas y los lodos. Su mecanismo de funcionamiento reproduce de forma localizada los procesos que la naturaleza realiza mediante la vegetación superior, los suelos y los microorganismos asociados para la mejora de la calidad del agua (Garcia, Manso, Aguado, & Mijangos, 2018).

La tecnología de depuración de las biojardineras está compuesta por tres etapas principales: el tratamiento primario o pretratamiento, posteriormente la biojardinera y por último el depósito o aprovechamiento de las aguas tratadas (Rodríguez, 2016).

La primera etapa está constituida por unidades previas para la remoción de partículas flotantes y de partículas pesadas; lo que se conoce como tratamiento primario o pretratamiento (Rodríguez, 2016; Rosales Escalante, 2010); la solución habitual es construir un tanque de flotación, el cual comúnmente se conoce como trampa de grasas, este requiere un mantenimiento periódico para evitar el aumento incontrolado de la capa de aceites, grasas y los malos olores (Garcia et al., 2018) en la figura 3.1 se puede observar un ejemplo.

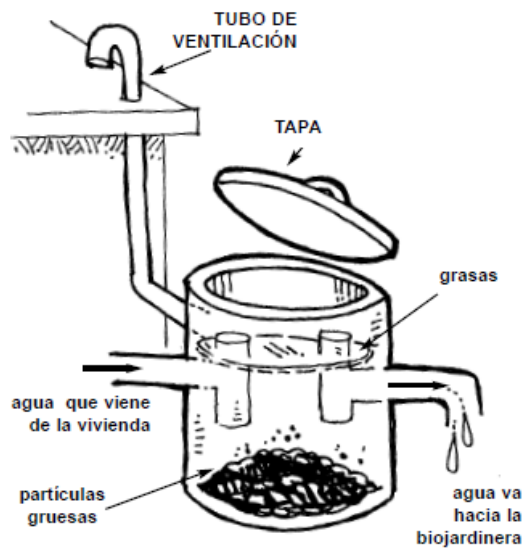


Figura 3.1 Tratamiento primario de una biojardinera
Fuente: (Rosales Escalante, 2006)

La eficiencia de los sistemas de eliminación de grasas oscila entre un 50% y un 90%, obteniendo el mayor porcentaje de remoción cuando el contenido predominante son los aceites y las grasas (Rengifo & Augusto, 2018). Es importante considerar al implementar un pretratamiento como la trampa de grasas la construcción de tubos de ventilación o una tapa en la unidad, debido a que el material sedimentado al acumularse y descomponerse puede generar malos olores (Cevallos & Guañuña, 2019). Para el tratamiento primario se usan tanques cuyo volumen debe asegurar tiempos de reposo entre 2 a 3 días, este volumen del debe ser mayor al volumen real de agua. Se pueden reutilizar recipientes plásticos cuyo

contenido previo no hayan sido químicos, así como unidades de plástico reforzadas con fibra de vidrio o construidas con cemento (Marín, 2010).

Las biojardineras se clasifican según sea la circulación del agua a través del medio granular, se clasifican en flujo superficial o subsuperficial. En las biojardineras de flujo superficial el agua está expuesta directamente a la atmósfera, con vegetación emergente y suelo impermeabilizado. Mientras que en las de flujo subsuperficial la circulación del agua es subterránea a través de un medio poroso (suelo, arena o grava), las plantas se siembran en la superficie y las aguas residuales que han sido pretratadas atraviesan de forma horizontal (biojardineras de flujo subsuperficial horizontal) o vertical (biojardineras de flujo subsuperficial vertical) el lecho filtrante (Chavarría, 2018; Moncada Corrales, 2011).

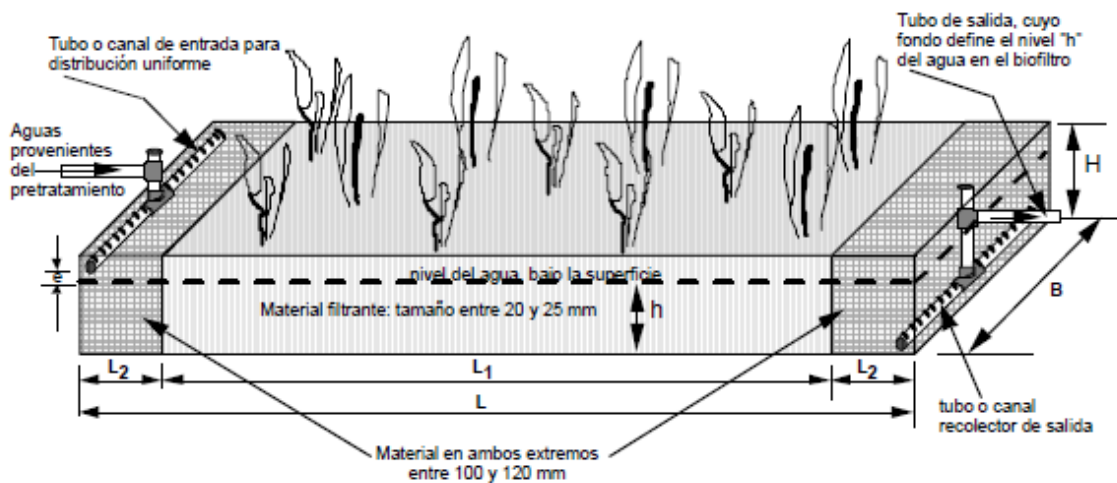


Figura 3.2 Principales componentes de una biojardinería de flujo subsuperficial
Fuente: (Rosales Escalante, 2006)

Las biojardineras deben construirse con materiales que aseguren su impermeabilidad como: concreto, ferrocemento, bloques o ladrillos, plástico reforzado con fibra de vidrio, telas de plástico o incluso se puede emplear suelo arcilloso. Los principales componentes del sistema se observan en la figura 3.2, en la entrada se coloca una tubería con perforaciones a todo lo ancho de la sección para procurar una descarga uniforme de flujo, en la salida se coloca también una tubería con ranuras en el fondo instalada para recoger el agua que viene por toda la sección transversal. Este “canal” colocado abajo permite conducir el agua por medio de otro ducto cerrado hacia arriba, a la altura conveniente. La posición del fondo de la tubería de entrada siempre debe estar más alta que el nivel o posición del ducto de salida, lo que permite el gradiente hidráulico requerido para que haya flujo (Rosales Escalante, 2006).

El agua ya tratada que se obtiene al final de este proceso no está 100% purificada, pero ya tiene una muy buena calidad como para ser utilizada en otras actividades que no incluyan el consumo directo o indirecto del agua tratada (Rosales Escalante, 2006).

3.4.1 Funcionamiento de remoción

Las biojardineras pueden eliminar un gran número de contaminantes incluyendo: materia orgánica (DBO y DQO), materia en suspensión (MES), nutrientes (nitrógeno y fósforo), trazas de metales pesados y microorganismos. Esta reducción es llevada a cabo por procesos físicos, químicos y microbiológicos (Moncada Corrales, 2011).

- Remoción de sólidos suspendidos: Cuando estos, entran a la biojardinera quedan retenidos principalmente por tres motivos: por las constricciones del flujo producidas por el lecho filtrante, por la baja velocidad del agua y por las fuerzas de adhesión entre partículas (Muñoz, 2015). Después de que quedan retenidos son degradados de forma aerobia, mediante la interacción con la biopelícula que se añade al material granular y las plantas contenidas en la biojardinera (Chavarría, 2018).
- Remoción de sólidos sedimentables: el sistema de trampa de grasas como pretratamiento sirve para la separación de los sólidos por gravedad, los que se acumularan en el fondo del recipiente (Rengifo & Augusto, 2018).
- Remoción de materia orgánica: La materia orgánica asociada a la materia en suspensión quedará retenida tal y como se ha descrito anteriormente, de manera que, habrá una reducción de la DBO asociada a los sólidos retenidos. La degradación de la materia orgánica disuelta se produce por la presencia de los microorganismos que forman la biopelícula. En este sentido se asume que los compuestos orgánicos son degradados de forma simultánea mediante procesos aeróbicos y anaerobios, dependiendo del oxígeno disponible (Moncada Corrales, 2011).
- Remoción de nitrógeno: Se encuentra principalmente unido al amoníaco, su remoción se da por un proceso combinado de nitrificación y desnitrificación, mediante la presencia de bacterias *Nitrosomonas* que oxidan el amoníaco a nitritos mediante

reacciones aeróbicas y posteriormente es reducido a nitrógeno gaseoso mediante condiciones anaeróbicas. Una de las bacterias principales en el proceso es la *Pseudomona spp.* La remoción del contaminante por parte de las plantas es aproximadamente del 5% (Chavarría, 2018).

- Remoción de fósforo: La eliminación del fósforo en biojardineras de flujo subsuperficial se puede dar por procesos bióticos y abióticos. Los bióticos incluyen la asimilación por las plantas y microorganismos, y la mineralización de los restos de vegetación y del fósforo orgánico. Los procesos abióticos incluyen la sedimentación, la adsorción por el suelo y los intercambios entre el suelo y el agua residual que circula. No obstante, la eliminación del fósforo es difícil en cualquiera de los sistemas de depuración normalmente utilizados, y las biojardineras no son la excepción (Moncada Corrales, 2011).
- Remoción de patógenos bacteriológicos: Algunos de los factores a tomar en cuenta en la eliminación de patógenos son: la muerte natural, temperatura, luz ultravioleta emitida por el sol, la química del agua y la sedimentación. Con este tratamiento se logra la reducción de hasta cinco ordenes de magnitud de la cantidad de patógenos existentes (Chavarría, 2018).

3.4.2 Consideraciones de diseño de las biojardineras

Algunas de las consideraciones en el diseño de las biojardineras son las siguientes:

- A. Identificación de distintos residuos líquidos producidos, así como el tipo de suelo donde se implementará la biojardineras (Marín, 2010) .
- B. La inclinación o pendiente en el terreno para la implementación de la biojardineras no debe ser mayor a un 5%, si no es así, se debe buscar la manera de nivelar el sitio. Tomar en cuenta que, para la implementación, el terreno no debe de encontrarse cerca de las tuberías de agua potable, del drenaje, de los tanques sépticos, entre otros (Marín, 2010).
- C. Implementar una fase de pretratamiento que permita la retención de grasas y sólidos.
- D. Para las dimensiones del humedal se considera una relación longitud/ancho de 2:1, una profundidad entre 40-80 cm; un caudal promedio, el tiempo de retención entre 3-

5 días, la temperatura ambiente del sitio, el análisis previo de la DBO y la reducción deseada de la cantidad de DBO (Neira, 2008).

- E. Las paredes del humedal deben cubrirse con material impermeable de espesor mínimo de 1,4 mm, material granular de diferentes tamaños y tubería PVC. Tomar en cuenta como vegetación grupos de plantas semiacuáticas tropicales de diferente especies tales como: heliconias, juncos, plantas nativas del lugar, entre otras (Neira, 2008).
- F. Entre recipiente y recipiente del pretratamiento se debe contar con una separación de por lo menos 50 cm, al igual que del tanque de tratamiento a la biojardinera (Marín, 2010)

3.4.3 Ventajas

Algunas de las ventajas que hacen a esta tecnología muy atractiva son las siguientes:

- I. Escalable para el tratamiento de aguas grises (Davis, 2005).
- II. Costos de mantenimiento y operación bajos (Davis, 2005).
- III. Bajos costos de construcción comparándose con otras tecnologías de tratamiento de aguas residuales (Davis, 2005).
- IV. Poca problemática debido a las fluctuaciones en el flujo de agua entrante (Davis, 2005).
- V. Posibilidad de reutilización del agua tratada en labores que no conlleven el consumo de las aguas de manera directa o indirecta. Si no se desea utilizar no presentan ningún daño para el ambiente (Davis, 2005).
- VI. El sistema permite embellecer la zona donde se construya, aprovechando los materiales para que combine con la vegetación del lugar y el estilo de la construcción del lugar (Davis, 2005).
- VII. No hay consumo de energía externa (Chavarría, 2018).
- VIII. Debido a que no se utilizan equipos mecánicos no hay averías que se tengan que mantener en supervisión continua (Chavarría, 2018).
- IX. La vegetación superficial produce una protección de los malos olores (Chavarría, 2018).
- X. La eficiencia que se puede obtener puede superar a otras opciones de tratamiento como son el biológico y el químico (Shiguango Shiguango, 2016).

3.4.4 Desventajas

Como todo sistema de tratamiento de agua residual también presenta sus desventajas o limitaciones que hay que tomar en consideración:

- I. Dependiendo del tamaño de la construcción puede representar un problema tomando en cuenta el área de construcción disponible (Davis, 2005).
- II. Ya que este tipo de sistema de tratamiento se basa en el uso de vegetación, su eficiencia puede variar a lo largo del año, principalmente por las condiciones climáticas, esto es si existe un exceso de lluvias o de sequías (Davis, 2005).
- III. La presencia de contaminantes en exceso en el agua puede afectar considerablemente la eficiencia en la remoción de estos. Además, la presencia de químicos tóxicos como el amoníaco y pesticidas son dañinos para los componentes microbiológicos del equipo (Davis, 2005).
- IV. Se necesita un flujo de agua mínimo para su funcionamiento adecuado, de no ser así, los componentes vegetales pueden perecer (Davis, 2005).
- V. Se requiere de un tiempo prudencial para que las plantas se adapten al medio (Shiguango Shiguango, 2016).
- VI. Después de un tiempo las rocas empiezan a mostrarse en un estado colmatado que no es más que la progresiva saturación de los poros existentes entre las mismas (Shiguango Shiguango, 2016).

3.4.5 Mantenimiento

Algunas de las medidas a tomar en cuenta son (ACEPESA, 2005):

- I. Las unidades para el tratamiento primario o pretratamiento requieren de mantenimiento frecuente, se debe considerar la inspección de estas cámaras, por lo menos una vez a la semana.
- II. Se deben remover las grasas flotantes y los sólidos que se encuentran depositados en el fondo de la trampa de grasas.
- III. Los materiales que se recojan se depositarán en recipientes para su posterior tratamiento. A estos desechos sólidos se le pueden implementar procesos como el compostaje o pueden ser enterrados al agregárseles cal con el fin de evitar olores y para su deshidratación.

- IV. Es conveniente verificar con cierta frecuencia el estado de la línea de ventilación, la cual siempre debe tener su salida en partes altas, superior al nivel de la nariz de las personas.
- V. Cuando exista problemas del flujo del agua, se empezarán a formar "charcos" o acumulaciones de agua. Esto significa que existen zonas atascadas o llenas de sólidos. Será entonces necesario remover las piedras, lavarlas y volver a colocarlas en su sitio.

3.5 COSECHA DE AGUA LLUVIA

La captación de agua de lluvia está definida como la recolección de escorrentía superficial para su uso productivo, y que puede lograrse de las superficies de techados, así como de corrientes de agua intermitentes o efímeras (FAO, 2000). La utilización del agua de lluvia para satisfacer las necesidades del ser humano es una práctica dada desde la antigüedad.

En la captación del agua de lluvia con fines domésticos se acostumbra a utilizar la superficie del techo como captación, conociéndose a este modelo como SCAPT (sistema de captación de agua pluvial en techos). Este modelo tiene un beneficio adicional y es que además de su ubicación minimiza la contaminación del agua (OPS, 2004).

En el país el 99,6% de la población del país tiene acceso a servicios de suministro de agua por tubería (AyA, 2020). Sin embargo, con el paso del tiempo ha sido necesario tomar medidas de ahorro y aprovechamiento eficiente de los recursos, es por ello por lo que se considera necesario desarrollar proyectos en los que se implementen alternativas de solución ante los efectos del cambio climático.

Por otra parte, algunas regiones del país presentan déficit hídrico en ciertas épocas del año en cuanto a precipitación, como es el caso de la región Chorotega. Esta situación propicia la realización de un esfuerzo para brindar soluciones para suplir las necesidades de agua con fuentes alternativas, en este caso la cosecha de agua de lluvia (MAG, 2010).

Dentro del aprovechamiento que se le puede dar al agua pluvial en el hogar, con el fin de no utilizar el agua potable están: descargas del sanitario, lavado de ropa, aseo de la vivienda, lavado de vehículos y riego de jardines.

3.5.1 Componentes

Dentro de los principales componentes de los sistemas de captación de agua pluvial se tienen (OPS, 2004):

- A. Captación: la captación está conformada por el techo de la edificación, está deberá contar con pendiente y superficie adecuada para que facilite el escurrimiento del agua de lluvia hacia el sistema de recolección. El área efectiva y el tipo de material de este afectan de manera directa la eficiencia y la calidad del agua recolectada.

- B. Recolección y conducción: está conformado por las canaletas que van adosadas en los bordes más bajos del techo, en donde el agua tiende a acumularse antes de caer al suelo.

- C. Almacenamiento: Es la obra destinada a almacenar el volumen de agua de lluvia necesaria para el consumo diario, en especial durante el período de sequía. Existen de diferentes materiales como: plástico, metal galvanizado, concreto o fibra de vidrio.

Dependiendo del uso que se le vaya a dar al agua recolectada, el sistema puede tener los siguientes componentes: interceptor de las primeras aguas, filtros, sistemas de bombeo, red de distribución y planta de potabilización. En la figura 3.3 se presenta la representación gráfica del sistema con los principales componentes.

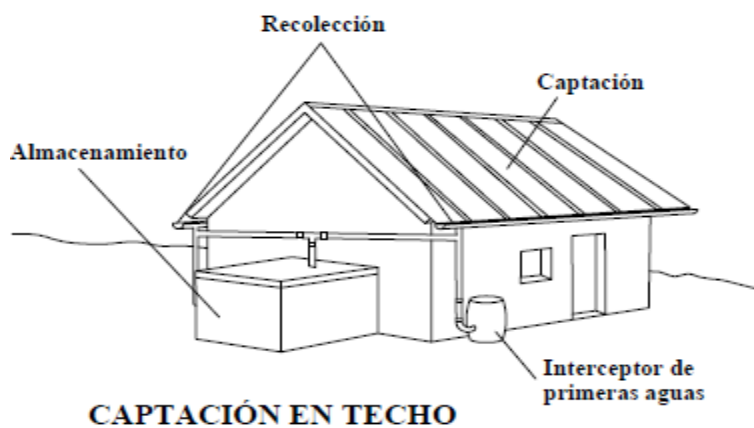


Figura 3.3 Representación gráfica de los componentes de un sistema de cosecha de agua pluvial.
Fuente: (OPS, 2004)

3.5.2 Ventajas

Según la OPS (2004) la captación de agua pluvial presenta las siguientes ventajas:

- I. Alta calidad fisicoquímica del agua de lluvia.
- II. Sistema independiente y por lo tanto ideal para comunidades dispersas y alejadas.
- III. Empleo de mano de obra y/o materiales locales.
- IV. No requiere energía para la operación del sistema.
- V. Fácil de mantener.
- VI. Comodidad y ahorro de tiempo en la recolección.
- VII. No se utiliza agua potable para labores que no lo requieran.
- VIII. Reducción de la factura de agua.

3.5.3 Desventajas

A su vez la OPS (2004) menciona algunas de las desventajas de este método de abastecimiento de agua las cuales son:

- I. Alto costo inicial.
- II. La cantidad de agua captada depende de la precipitación del lugar y del área de captación.
- III. Límite de almacenamiento.

4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 LUGAR DE ESTUDIO

La Municipalidad de Pococí perteneciente a la provincia de Limón cuenta con un plantel municipal el cual se encuentra ubicado en el distrito de Guápiles, como se muestra en la figura 4.1. El cantón de Pococí cuenta con una población de 152 689 personas para el año 2021 según las proyecciones realizadas en el último censo en el 2011 por el Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC).

El clima en el distrito de Guápiles se caracteriza por veranos cortos, calientes, bochornosos y nublados, los inviernos son calientes, húmedos, mojados y parcialmente nublados. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía entre los 24°C y los 33°C y las precipitaciones anuales varían entre 3500 mm y 5000 mm.

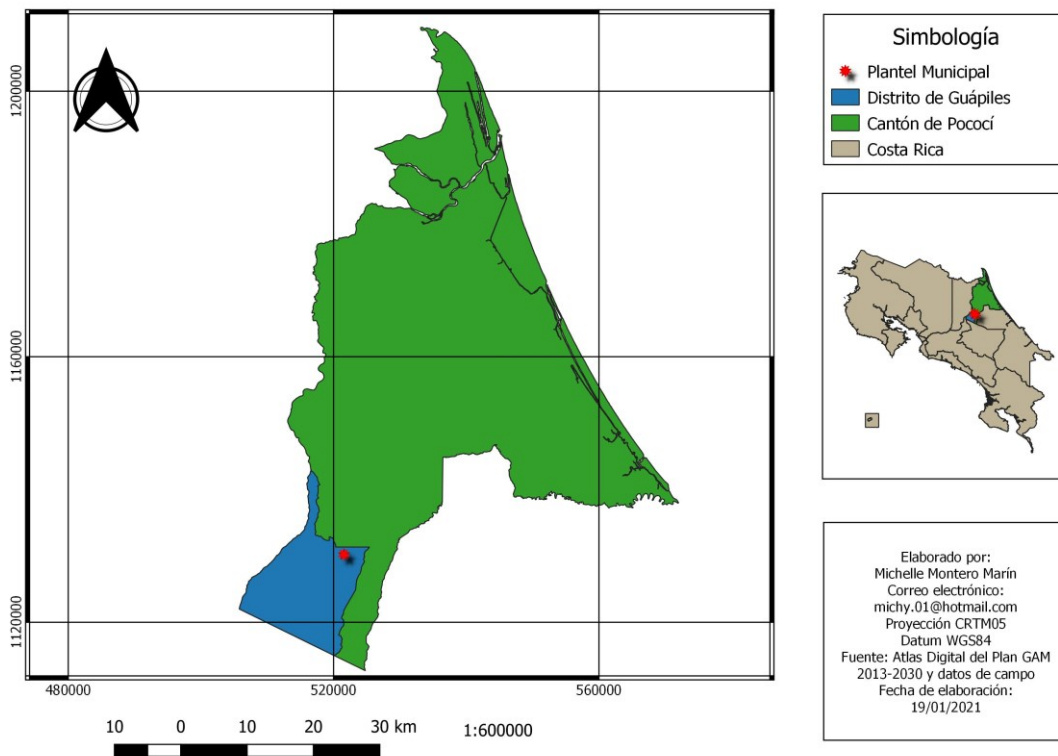


Figura 4.1 Ubicación del plantel municipal

4.2 SITUACIÓN ACTUAL Y ALCANCE DEL ESTUDIO

En el plantel municipal se realizan actividades administrativas, fabricación de alcantarillas, lavado de vehículos municipales, mantenimiento de los vehículos municipales, entre otros; en la figura 4.2 se presenta un croquis de las instalaciones del plantel municipal. El alcance del proyecto es únicamente al sector de lavado en donde se diseñará un sistema de tratamiento para las aguas residuales que se generan y se diseñará un sistema de captación de agua pluvial para el lavado, ya que en el presente se utiliza agua potable.

Actualmente las aguas residuales que se generan provenientes del lavado de vehículos recolectores de residuos sólidos no valorizables se vierten en el Río San Rafael sin ningún tratamiento previo. Dichos vehículos, se lavan cada quince días aproximadamente, ya que no se cuenta con personal suficiente que realice esta labor y operativamente es difícil dado que los camiones realizan su ruta de recolección cerca de las 5:30 a.m. y vuelven al plantel hasta las 5 p.m. a excepción de los viernes y sábados que las rutas son más cortas, estos son los días que en la actualidad se aprovechan para el lavado de los camiones. Por otra parte, para los otros tipos de vehículos no existe un calendario de lavado, este se realiza el día de preferencia del conductor del vehículo.

A continuación, se muestra el croquis de las instalaciones del plantel municipal.

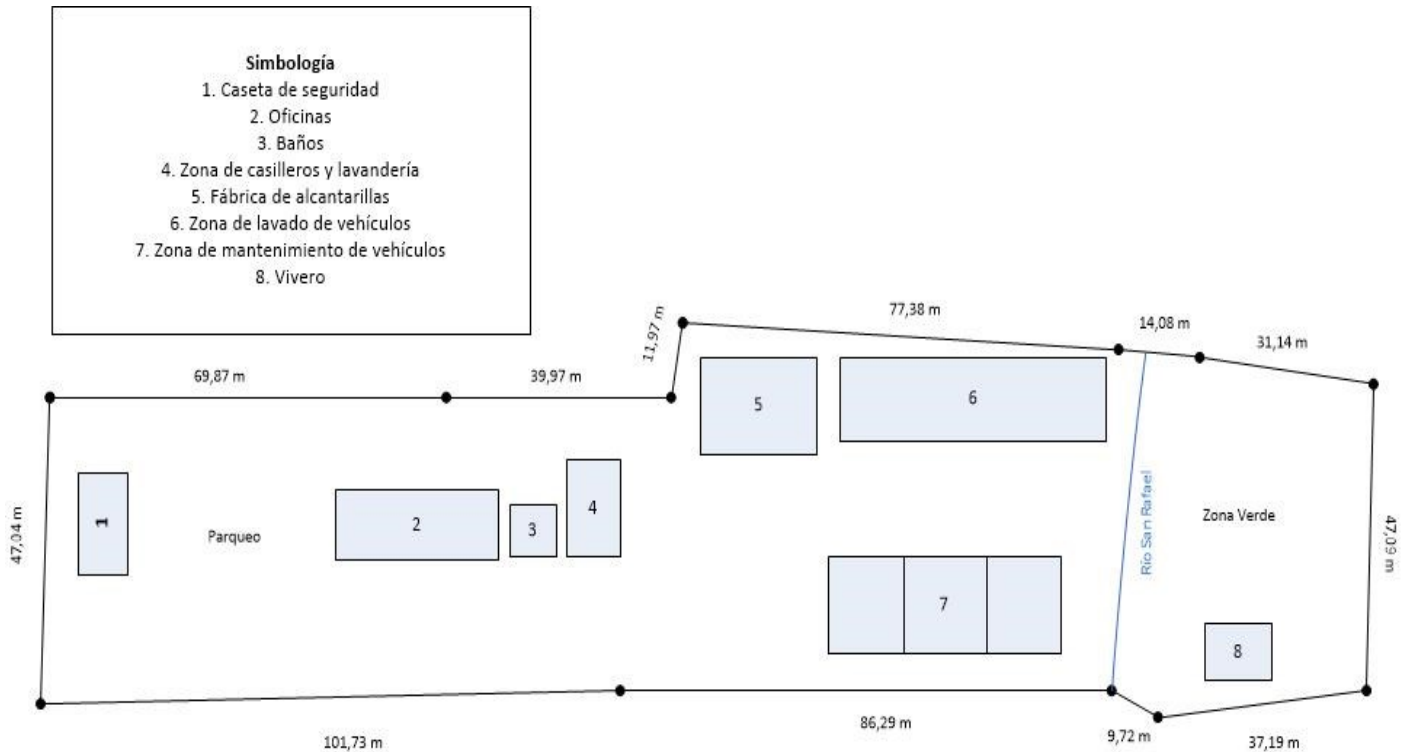


Figura 4.2 Croquis de las instalaciones del plantel municipal

4.3 MEDICIÓN DE CAUDAL

En el sitio de estudio no se cuenta con micro medición por sector de trabajo, por lo que para la medición del caudal se utilizó un cronómetro marca CASIO HS-30W proporcionado por el Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Ambiental. Para el lavado de vehículos se cuenta con una hidro lavadora marca GENERAC la cual genera un caudal de 15,1 L/minuto.

Se tomó el tiempo de lavado de 4 camiones recolectores de residuos no valorizables, 2 camiones recolectores de reciclaje, 1 motocicleta, 1 vagoneta, 1 vehículo liviano y 1 camión de limpieza de parques (Ver figuras 4.3, 4.4, 4.5 y 4.6), estos son los vehículos que se lavan con mayor frecuencia. Conociendo el tiempo que se tarda en lavar y el caudal de la hidro lavadora, se procedió a calcular el volumen de agua que se utiliza en el lavado de cada tipo de vehículo.



Figura 4.3 Lavado de vehículo recolector de residuos no valorizables



Figura 4.4 Lavado de vehículo recolector de residuos valorizables



Figura 4.5 Lavado de vehículo liviano



Figura 4.6 Lavado de vehículo de limpieza de parques

En el Anexo 1 se presenta el listado de vehículos que pertenecen a la Municipalidad de Pococí. Para el cálculo del caudal de diseño se procedió a crear un calendario en el que se estableció la distribución del lavado de los vehículos en el mes, asignó cada día de la semana a un área laboral respectiva y el lavado de vehículos recolectores de residuos no valorizables todos los días laborados cumpliendo con lo que establece el Reglamento sobre el manejo de residuos sólidos ordinarios N° 36093-S en su artículo 31; además procurando que las semanas tengan una generación de caudal de las aguas residuales similar, este calendario de lavado se encuentra en el Apéndice 1.

4.4 MUESTREO Y ANÁLISIS

4.4.1 Medición de Temperatura y pH

La medición de temperatura y pH se realizó utilizando un pH metro digital, previamente calibrado. El pH metro fue proporcionado por el laboratorio de la carrera de Ingeniería Ambiental y es de marca HANNA.

4.4.2 Toma de muestras y análisis

Para la toma de muestras se contaba con un total de 6 muestras, de las cuales se tomaron 2 muestras cada semana a diferentes tipos de vehículos. La primera semana se tomaron 2 muestras a vehículos recolectores de residuos no valorizables, la segunda semana se muestrearon 2 vehículos recolectores de residuos valorizables (reciclaje) y la tercera semana se tomó una muestra al camión de limpieza de parques y a un vehículo liviano.

Cuadro 4.1 Distribución de la toma de muestras

Muestra	Tipo de vehículo	Fecha y hora de recolección
1	Vehículo recolector de residuos no valorizables	03/11/2020 a las 12:30 pm
2	Vehículo recolector de residuos no valorizables	03/11/2020 a la 01:20 pm
3	Vehículo recolector de residuos valorizables	10/11/2020 a las 12:20 pm
4	Vehículo recolector de residuos valorizables	10/11/2020 a las 12:35 pm
5	Camión de limpieza de parques	24/11/2020 a la 01:00 pm
6	Vehículo liviano	24/11/2020 a la 01:35 pm

Para la toma de las muestras debido a que no se contaba con un canal para la recolección de la muestra, se construyó uno al final del sector de lavado y se impermeabilizó con plástico para evitar la contaminación de las muestras, como se muestra en la figura 4.7. Posterior a cada toma de muestra, se lavó el plástico para evitar la contaminación entre muestras.



Figura 4.7 Construcción de canal para muestreo

Para la recolección de las muestras se utilizó un balde como se observa en la figura 4.7 el cual se ambientó previo a la toma de muestra, una vez recolectada la muestra se trasvasó a los recipientes (ambientados previamente) brindados por el CEQIATEC para el análisis de cada parámetro. Para los análisis fisicoquímicos se utilizaron recipientes de plástico y de vidrio, y para el análisis microbiológico se utilizaron recipientes de plástico esterilizados suministradas también por el CEQIATEC, en la figura 4.8 se muestra el proceso anteriormente descrito.



Figura 4.8 Recolección y trasvase de muestras

Los métodos utilizados en los análisis fisicoquímicos y microbiológicos se muestran en el cuadro 4.2

Cuadro 4.2 Análisis realizados y sus métodos

Parámetro	Método
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO)	Standard methods 5210-B
Demanda Química de Oxígeno (DBO)	Standard methods 5220-D
Sólidos Suspendidos Totales	Standard methods 2540-D
Sólidos Sedimentables	Standard methods 2540-F
Grasas y Aceites	Standard methods 5520-B
Sustancias Activas al Azul de Metileno	PT-QU-24
Nitrógeno Total	Standard methods 4500 N org-D
Fósforo	Standard methods 4500-P-C
pH	Standard methods 4500H+-B
Coliformes fecales	Standard Methods 9221-E.

Todos los análisis fueron realizados en el Laboratorio CEQIATEC del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

4.5 DISEÑO DE LA BIOJARDINERA

Para diseñar una biojardinera, primero se deben determinar los siguientes parámetros: temperatura del sitio de estudio, concentración de DBO de entrada al sistema y la concentración de DBO deseado para el agua del efluente.

La constante de degradación del agua residual corregida a la temperatura del sitio se calcula con la Ecuación 1.

$$K_t = K_{20} \times \theta^{(T-20)} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde,

K_{20} = Constante del agua a 20 °C = 1,104 días⁻¹

θ = 1,06

T = Temperatura del agua residual (°C)

K_t = Constante a la temperatura del agua residual (días⁻¹)

Por otra parte, para la obtención de las ecuaciones de diseño se considera que las biojardineras se comportan como reactores de flujo ideal en pistón, de tal manera que los contaminantes se degradan siguiendo modelos cinéticos de primer orden la cual se presenta en la Ecuación 2 (García Serrano & Corzo Hernández, 2008).

$$\frac{dc}{dt} = -k_v C \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde,

C= concentración del contaminante (mg/L)

k_v = constante cinética de primer orden (días⁻¹)

t= tiempo (días)

Fijando las condiciones iniciales y aplicando ecuaciones diferenciales para despejar la ecuación, se define el comportamiento de la concentración de los contaminantes con respecto al tiempo. A su vez, despejando el tiempo hidráulico de retención de la ecuación cinética de primer orden, se obtiene la Ecuación 3 (García Serrano & Corzo Hernández, 2008).

$$TRH = \frac{-\ln\left(\frac{C_e}{C_o}\right)}{K_t} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde,

C_e = Concentración en el efluente (mg/L)

C_o = Concentración en el afluente (mg/L)

K_t = Constante a la temperatura del agua residual (días⁻¹)

TRH= Tiempo de retención hidráulico (días)

De la misma forma, el tiempo hidráulico se puede obtener con la Ecuación 4.

$$TRH = \frac{V}{Q} = \frac{N \times L \times W \times d}{Q} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde,

TRH = Tiempo hidráulico de retención (días)

N = Porosidad efectiva del medio (%)

L = Longitud del humedal (m)

W = Ancho del humedal (m)

d = Profundidad del agua (m)

Q = Caudal de diseño (m³/día)

V= Volumen de la biojardinera (m³)

Igualando el tiempo hidráulico de retención de las Ecuaciones 3 y 4 se obtiene la Ecuación 5, a partir de la cual se puede determinar el área superficial del humedal.

$$As = L \times W = \frac{\ln\left(\frac{C_o}{C_e}\right) \times Q}{K_t \times N \times d} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Una vez que se tiene el área superficial de la biojardinera, con la relación largo: ancho se pueden calcular las dimensiones de esta.

Por otra parte, teniendo en cuenta los límites recomendados para la conductividad hidráulica y para el gradiente hidráulico ($K_s < 1/3$ K_s efectiva, $S < 10$ % máximo potencial), se determina el flujo que debe pasar a través del lecho en condición de flujo subsuperficial

usando la Ley de Darcy, la cual se describe mediante la Ecuación 6 (García Serrano & Corzo Hernández, 2008).

$$Q_c = K_s \times A_t \times S \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde,

Q_c = Caudal de comprobación ($\text{m}^3/\text{día}$)

K_s = Coeficiente de conductividad hidráulica del medio ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{día}$)

A_t = Área transversal (m^2) = $d \times W$

S = Gradiente hidráulico (dh/dl).

4.6 CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL

4.6.1 Determinación de la oferta

Para el cálculo de la oferta se solicitó al Instituto Meteorológico Nacional (IMN) las precipitaciones mensuales del sitio de estudio, los datos brindados por el IMN pertenecen a la estación climática más cercana al sitio de estudio, la cual está ubicada en el distrito de Roxana (Estación: 71 019; ubicación: Latitud: $10^\circ 16' N$, Longitud: $83^\circ 44' O$; altitud: 75 m.s.n.m). Las precipitaciones promedio mensuales pertenecen al periodo del 2004 al 2019.

Posteriormente, se procedió a medir con una cinta métrica el área del techo que se tiene destinada, para determinar la cantidad del agua pluvial captada.

El volumen de agua pluvial que representa la oferta hídrica se calcula empleando la Ecuación 7, con los datos de precipitación mensual, área de las cubiertas y el coeficiente de escorrentía, que es de 0,9, dado el uso de láminas galvanizadas, este cálculo se repite para cada mes del año.

$$A_i = \frac{P_{pi} \times A_c \times C_e}{1000} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Fuente: (OPS, 2004)

Donde,

A_i : Oferta de agua en el mes “ i ” (m^3)

P_{pi} : Precipitación en el mes “ i ” (L/m^2)

A_c : Área de captación (m^2)

C_e : Coeficiente de escorrentía.

4.6.2 Determinación de la demanda

Para el cálculo de la demanda, con base al uso del lavado de vehículos que se le dará al agua pluvial, el consumo promedio diario de agua potable se multiplicará por el número de días de cada mes, este consumo es el mismo que se calcula en la Sección 4.3.

$$D_i = \frac{Dot \times N_{di}}{1000} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Fuente: (OPS, 2004)

Donde,

N_{di} : Número de días del mes “ i ”

Dot: Dotación de agua al día (L/día)

D_i : Demanda mensual (m^3)

4.6.3 Cálculo del volumen del tanque de almacenamiento

Una vez que se ha calculado la oferta y la demanda de cada mes, se procede a calcular el acumulado encabezado por el mes de mayor precipitación u oferta de agua. A continuación, se procede a calcular la diferencia de los valores acumulados de oferta y demanda de cada uno de los meses.

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

$$A_{ai} = A_{i-1} + \frac{Pp_i \times A_c \times C_e}{1000} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Fuente: (OPS, 2004)

$$D_{ai} = D_{i-1} + \frac{Dot \times N_{di}}{1000} \quad (\text{Ecuación 10})$$

Fuente: (OPS, 2004)

Donde,

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

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

Para calcular el volumen del tanque de almacenamiento necesario, se utiliza la Ecuación 11.

$$Va = Aai - Dai \quad \text{(Ecuación 11)}$$

Fuente: (OPS, 2004)

Donde,

V_i : Volumen de almacenamiento acumulado

A_{ai} : Oferta acumulada al mes "i" (m^3).

D_{ai} : Demanda acumulada al mes "i" (m^3).

Una vez que se ha calculado el volumen de almacenamiento acumulado para cada mes, se selecciona el volumen del tanque de almacenamiento como el volumen al que corresponde la mayor diferencia acumulativa (OPS, 2004).

4.7 COSTOS DEL SISTEMA

Se realizó un presupuesto de los materiales y servicios necesarios, para cada uno de los sistemas diseñados (Biojardinera y captación de agua pluvial). Se cotizaron los materiales para estimar el monto del valor total de la inversión para cada uno de estos.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 CONSUMO DE AGUA PARA LAVADO

En el cuadro 5.1 se presenta el tiempo de lavado que se utiliza para cada tipo de vehículo, conociendo que la hidro lavadora expulsa un caudal de 15,1 L/minuto se calcula el volumen de agua que se utiliza en el lavado y por consiguiente el volumen de agua residual generado.

Cuadro 5.1 Tiempo de lavado de los vehículos

Tipo de vehículo	Tiempo de lavado (min)	Volumen de agua residual generado (L)
Camión recolector 1	20:36	311,1
Camión recolector 2	32:00	483,2
Camión recolector 3	15:55	240,3
Camión recolector 4	28:24	428,8
Camión reciclaje 1	9:48	148,0
Camión reciclaje 2	9:25	142,2
Motocicleta	1:00	15,1
Camión limpieza parques	11:37	175,4
Vehículo liviano	9:51	148,7
Vagoneta	90:00	1359,0

Además, se calcula el promedio del consumo de agua para cada tipo de vehículo y se considera el tiempo de lavado para otro tipo de vehículos que se lavan pocas veces al año, basándose en su tamaño y función, estos se presentan en el cuadro 5.2.

Cuadro 5.2 Tiempo de lavado promedio de los vehículos

Tipo de vehículo	Tiempo de lavado promedio (min)	Volumen de agua residual generado (L)
Camión recolector	24:14	365,9
Camión reciclaje	9:37	145,1
Motocicleta	1:00	15,1
Camión limpieza parques	11:37	175,4
Vehículo liviano	9:51	148,7
Vagoneta	90:00	1359,0
Excavadora	45:00	679,5
Tanqueta	60:00	906,0
Compactadora	45:00	679,5
Back Hoe	45:00	679,5
Niveladora	45:00	679,5
Loaf Craft (Lowboy)	25:00	377,5

Teniendo el consumo promedio de agua por tipo de vehículo y el calendario de lavado que se encuentra en el Apéndice 1 se calcula el consumo de agua para lavado diario, el cual se presenta en la figura 5.1.

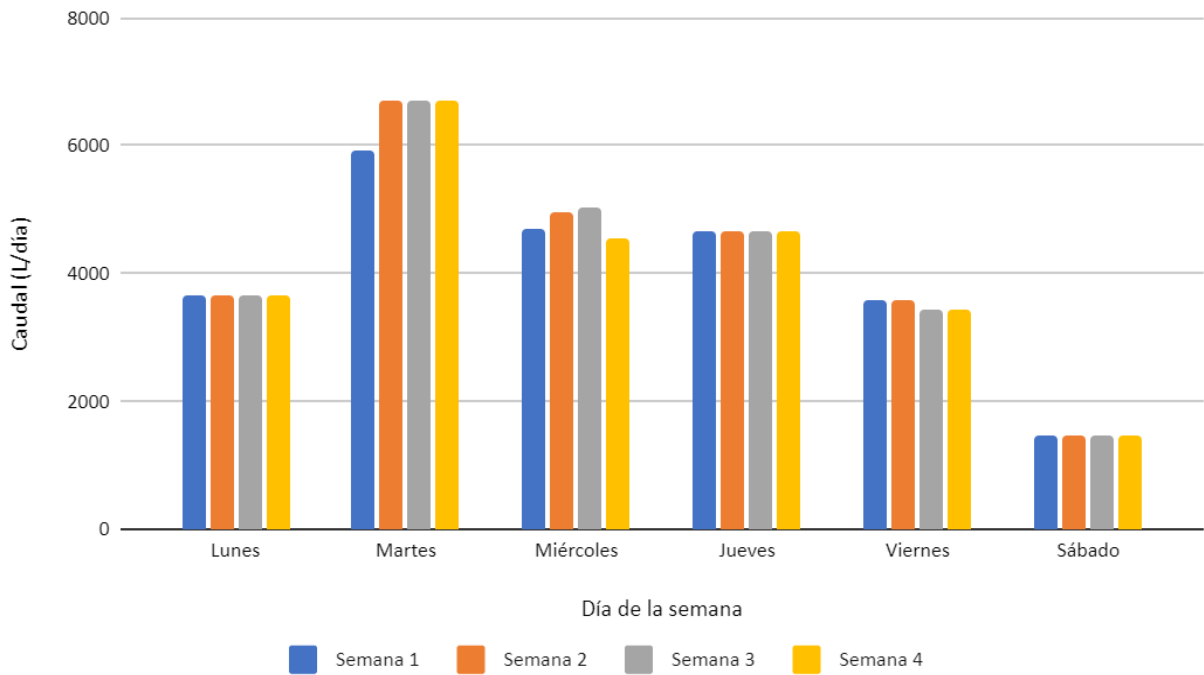


Figura 5.1 Consumo de agua para lavado

Como se puede observar el día de menor generación de agua residual es el sábado, lo anterior se debe a que este día se lava únicamente la mitad de los vehículos recolectores ya que la ruta de recolección es más corta, asimismo para los demás vehículos se calendarizó su lavado de lunes a viernes ya que el sábado se trabaja una jornada reducida. Los domingos no se lavan vehículos por lo cual el consumo promedio diario de agua para lavado es de 3515,6 L/día.

5.2 CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES

A continuación, se presenta un análisis de los resultados obtenidos para cada uno de los parámetros físicoquímicos y microbiológicos analizados. Los resultados de cada muestreo se pueden observar en el Apéndice 2 y la distribución de las muestras en el cuadro 4.1.

5.2.1 Demanda bioquímica de oxígeno

La demanda bioquímica de oxígeno es uno de los factores más importantes para el diseño de una biojardinera. De la figura 5.2 se obtiene que a excepción de la muestra 5 que corresponde a la muestra tomada al vehículo de limpieza de parques, todas las muestras presentan concentraciones de DBO superiores al límite establecido de vertido en cuerpos de agua. Además, se observa que los vehículos con mayor DBO son los recolectores de residuos no valorizables, esta gran cantidad de materia orgánica en el agua se debe principalmente a la presencia de lixiviados, lo que refleja una alta carga de contaminantes en el agua.

La muestra 3 y 4 que son de vehículos de reciclaje obtuvieron valores de DBO cercanos al límite permitido, al igual que para la muestra 5 que es un camión de limpieza de parques. La muestra 6 es de un vehículo liviano que debido a sus funciones se encontraba muy sucio y con presencia de barro, lo que representa una alta carga orgánica.

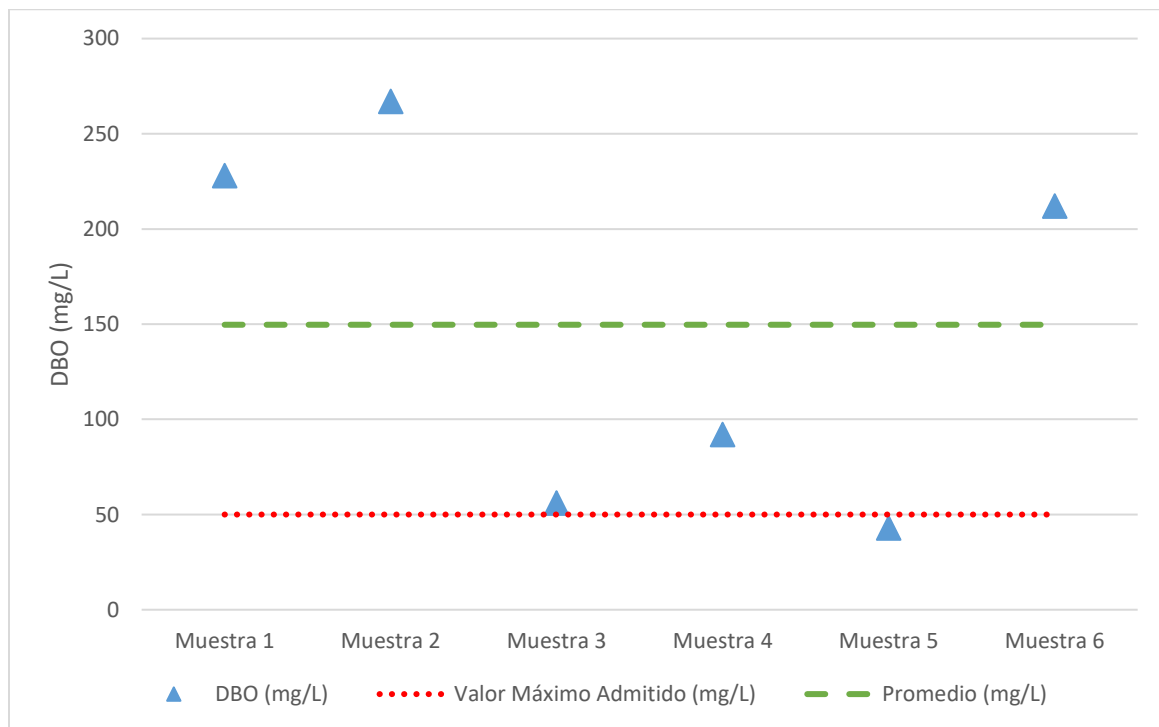


Figura 5.2 Valores de DBO obtenidos en los análisis fisicoquímicos

5.2.2 Demanda química de oxígeno

Al igual que ocurre con los valores de DBO, los valores de DQO que se obtuvieron están muy por encima de los límites permitidos para su vertido, debido a la gran presencia de materia orgánica en el agua a tratar. La muestra 3 y 4 que son de vehículos de reciclaje obtuvieron valores de DQO cercanos al límite permitido.

La muestra 1 y 2 son de recolectores de residuos no valorizables presentan alta carga de contaminantes debido a la presencia de lixiviados y la muestra 5 y 6 son de un vehículo de limpieza de parques y de un vehículo liviano respectivamente, estos debido a sus funciones se encontraban bastante sucios y con presencia de barro.

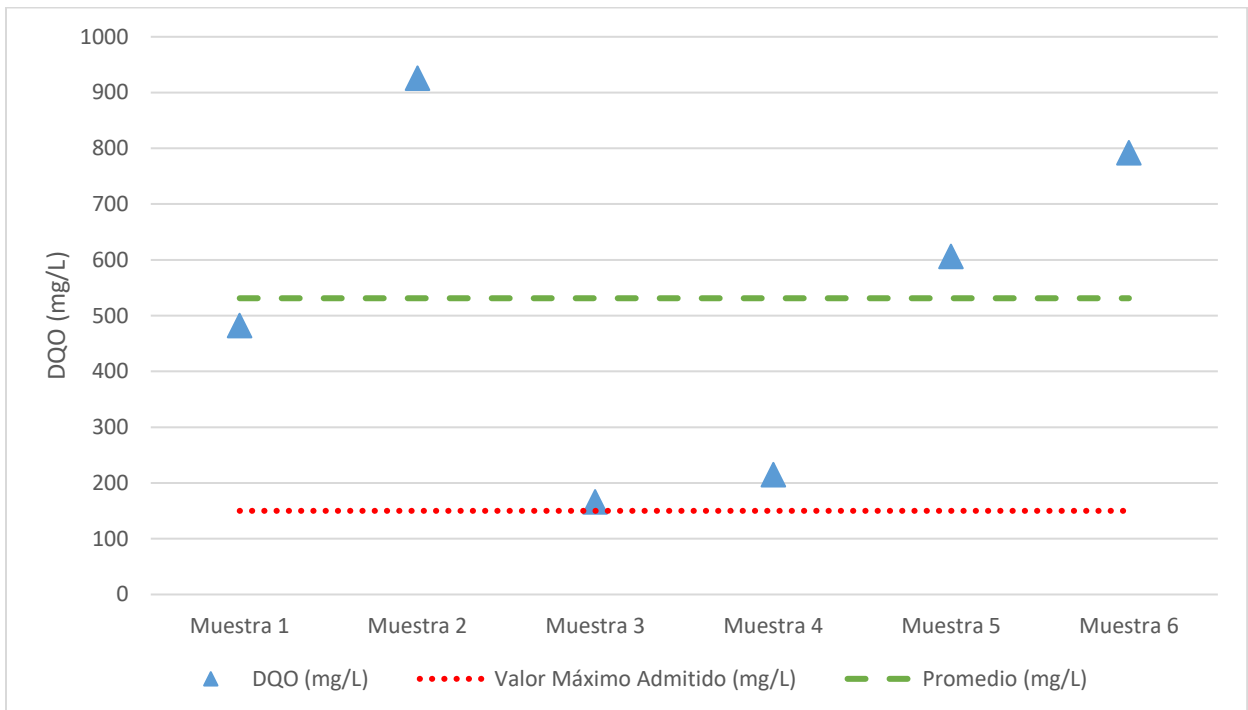


Figura 5.3 Valores de DQO obtenidos en los análisis fisicoquímicos

5.2.3 Sólidos Suspendidos Totales

La materia sólida se midió en el afluente como sólidos suspendidos totales y como sólidos sedimentables, siendo mayor cantidad los sólidos suspendidos totales. Todos los resultados de SST se encuentran por encima del límite permitido lo que nos dice que existe una gran cantidad de materia sólida en el agua a tratar, además visualmente a la hora de la toma de la muestra el agua presentaba un alto grado de turbiedad. Estos SST quedarán retenidos en la biojardinera por los mecanismos de remoción físicos y microbiológicos presentes.

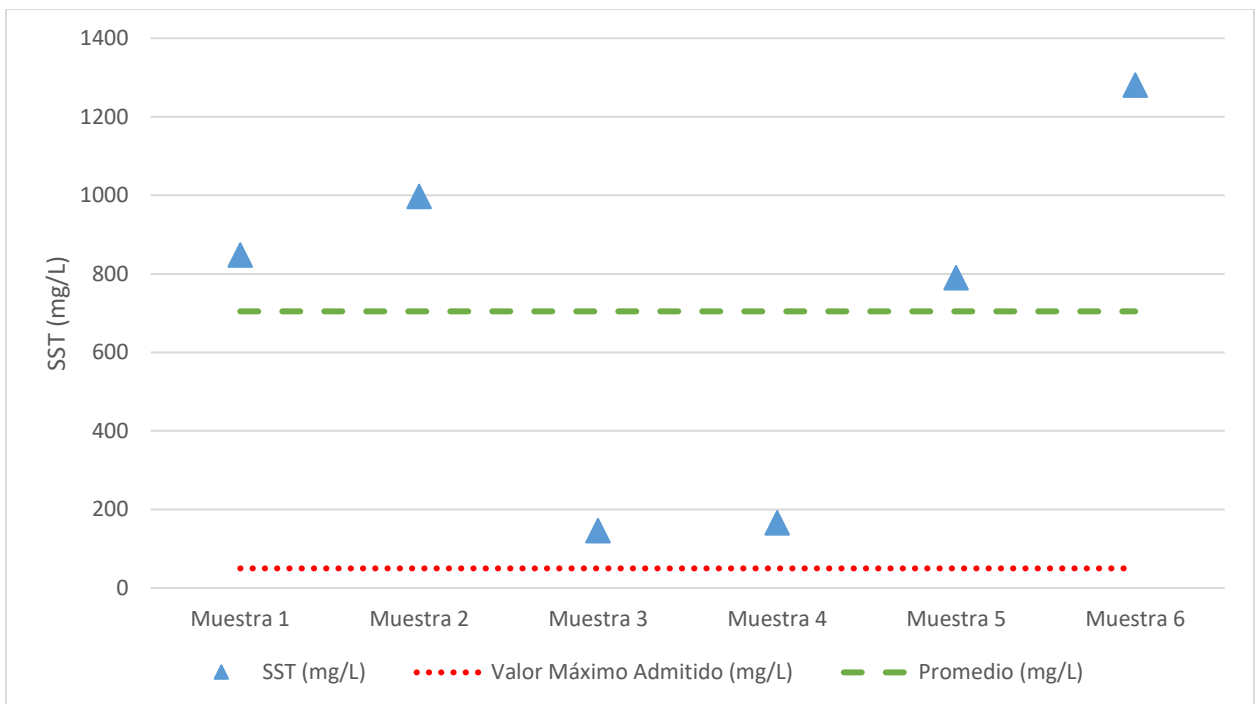


Figura 5.4 Valores de SST obtenidos en los análisis fisicoquímicos

5.2.4 Sólidos Sedimentables

En la figura 5.5. se puede ver que los valores de SS obtenidos tuvieron un valor menor al máximo admitido, únicamente la muestra 1 estuvo justo en el valor límite. En las muestras 3, 4, 5 y 6 los resultados fueron menores a 0,2 mL/L por lo que el método no pudo cuantificar el valor exacto. Los SS presentes en las muestras serán separados de las aguas mediante el pretratamiento en la trampa de grasas en donde se sedimentarán en el fondo.

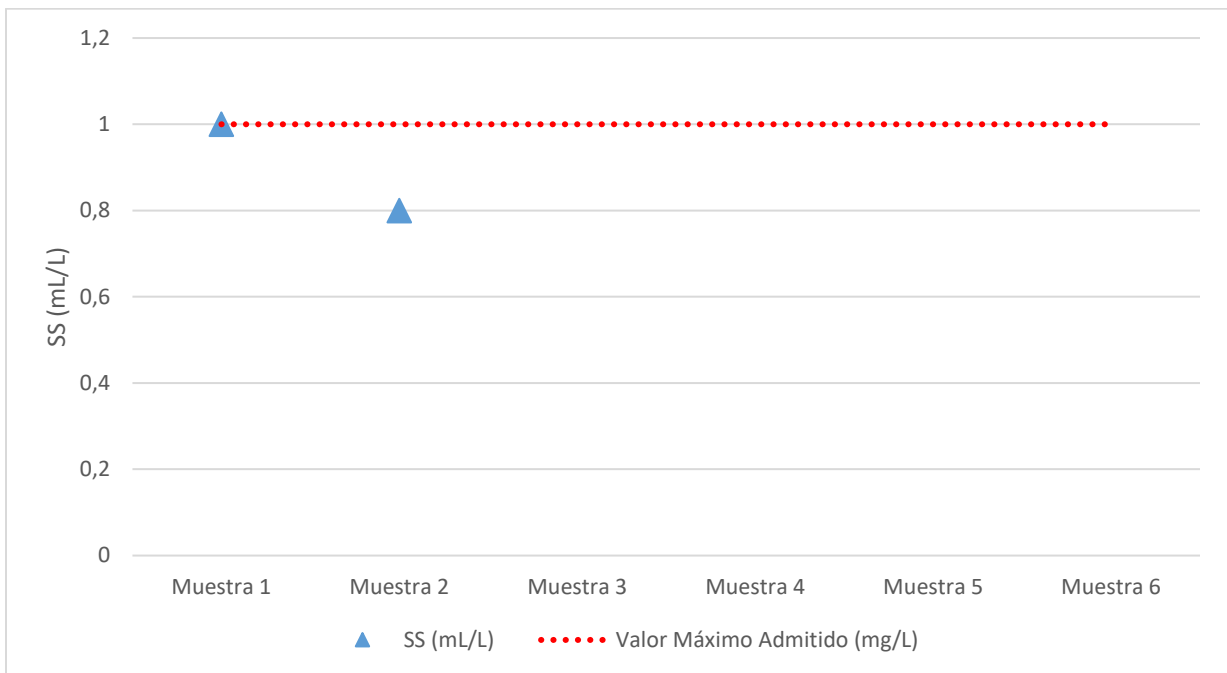


Figura 5.5 Valores de SS obtenidos en los análisis fisicoquímicos

5.2.5 Grasas y aceites

La concentración de grasas y aceites es muy variable en las muestras realizadas, las muestras 2, 5 y 6 se encuentran por encima del límite máximo permitido. En estos casos la presencia de grasas y aceites puede provenir de residuos de petróleo, de aceites del motor, grasas y lubricantes provenientes del lavado de la superficie y del interior del vehículo.

En estos casos la trampa de grasas que se instalará como pretratamiento separará grasas y aceites que, por su menor densidad comparado con el agua, flotarán para posteriormente ser separadas manualmente.

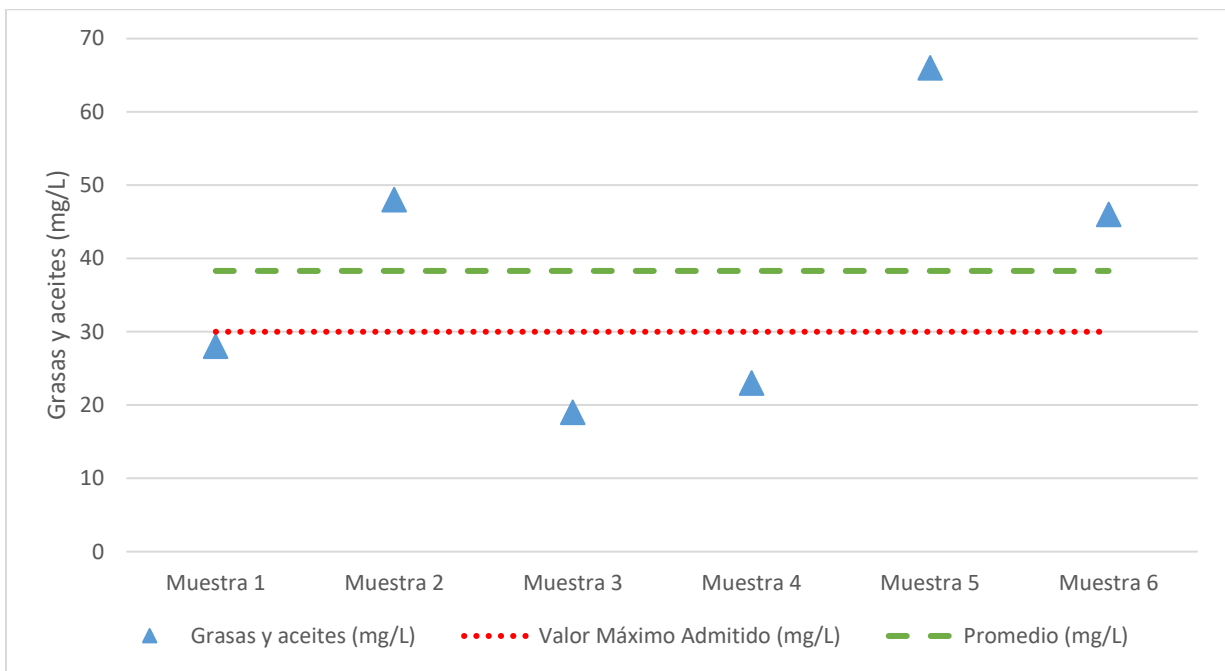


Figura 5.6 Valores de grasas y aceites obtenidos en los análisis físicoquímicos

5.2.6 Sustancias Activas al Azul de Metileno

De la figura 5.7 se obtiene que existe una baja presencia de detergentes y jabones en las aguas generadas, la totalidad de las muestras dieron un valor por debajo de la norma, lo anterior a pesar de ser aguas de lavado. Sin embargo, durante el lavado de los vehículos se pudo notar que la cantidad de jabón que se utiliza es muy poca y esta a su vez es diluida en agua.

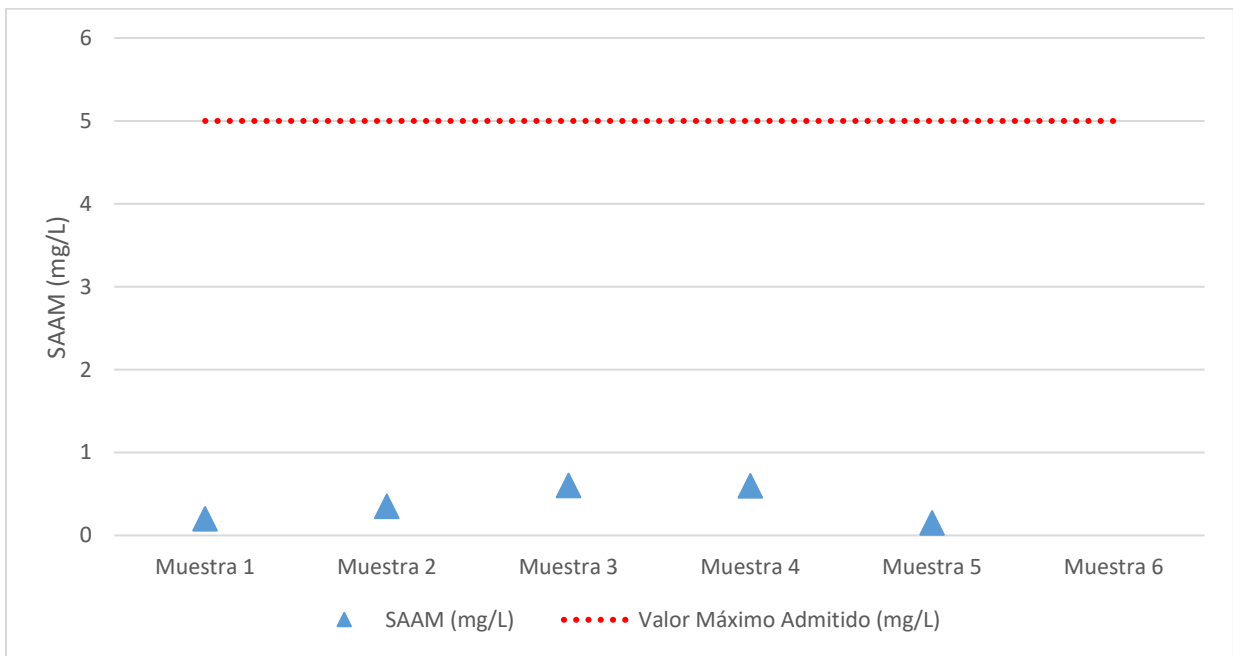


Figura 5.7 Valores de SAAM obtenidos en los análisis fisicoquímicos

5.2.7 Nitrógeno Total

Los valores de nitrógeno total obtenido de las muestras se encuentran por debajo de los límites máximos de vertido, el nitrógeno presente podrá ser removido por las bacterias *Nitrosomonas* pero en menor cantidad por la poca presencia de oxígeno en el sistema, la remoción del contaminante por parte de las plantas será de aproximadamente del 5%. En la muestra 3 y 4 los valores fueron inferiores a 0,5 mg/L por lo que el método de análisis no pudo cuantificarlo.

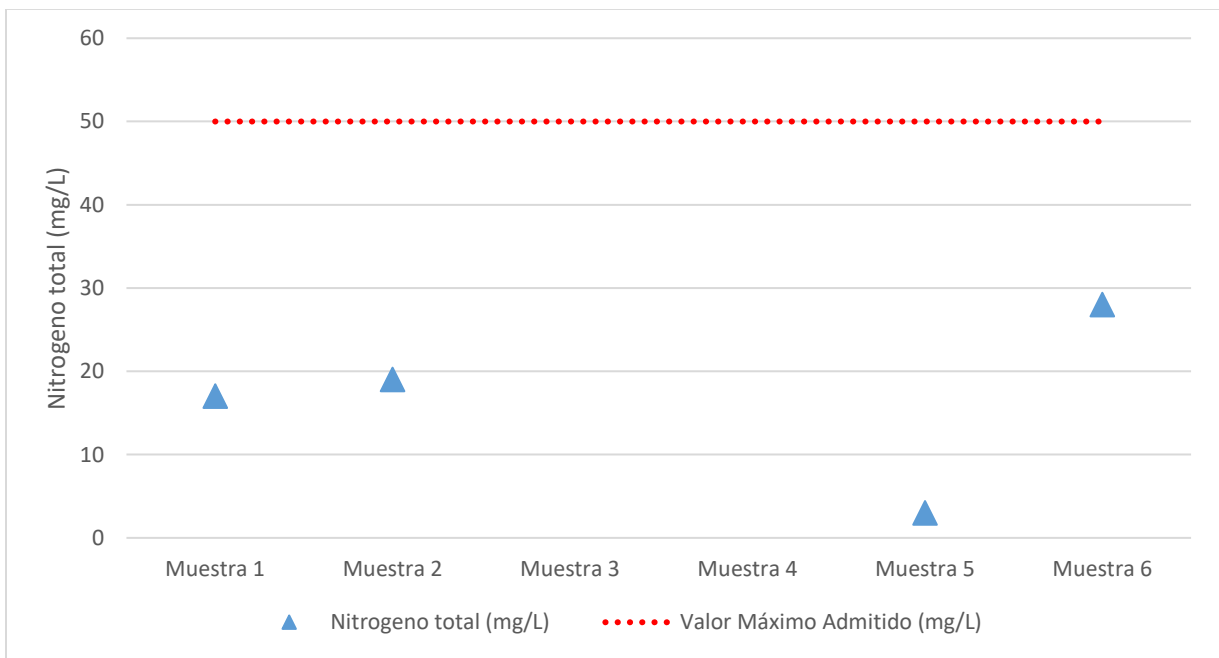


Figura 5.8 Valores de nitrógeno total obtenidos en los análisis fisicoquímicos

5.2.8 Fósforo

El comportamiento del fósforo es similar al del nitrógeno, por la baja presencia de oxígeno en el sistema su remoción será muy baja. Se decidió tomar este parámetro a pesar de que no es solicitado en el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales, lo anterior con el fin de determinar la cantidad de fósforo que puede contener el jabón utilizado para el lavado de los vehículos, se encontró con un promedio de fósforo de 2,7 mg/L, dato bajo a causa de la utilización de un detergente eco amigable y biodegradable.

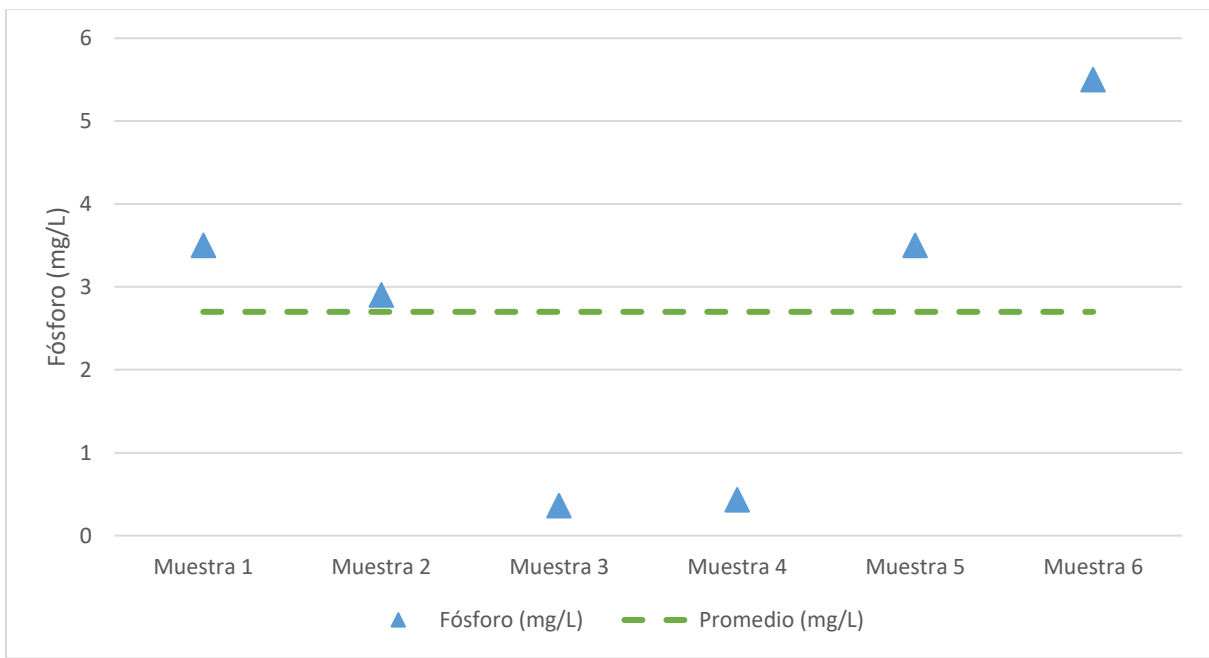


Figura 5.9 Valores de fósforo obtenidos en los análisis fisicoquímicos

5.2.9 Coliformes Fecales

Se detectó un número más probable de coliformes fecales que superan el valor permitido. en las muestras 3, 5 y 6 que corresponden a vehículo recolector de residuos valorizables, camión de limpieza de parques y vehículo liviano respectivamente.

5.2.10 pH

Las mediciones de pH fueron realizadas in situ, en la figura 5.10 se puede observar que todos los valores están dentro de la norma, con un promedio de 7,86. Este valor es favorable para el desarrollo y desempeño de los microorganismos que intervienen en el proceso de tratamiento de las aguas.

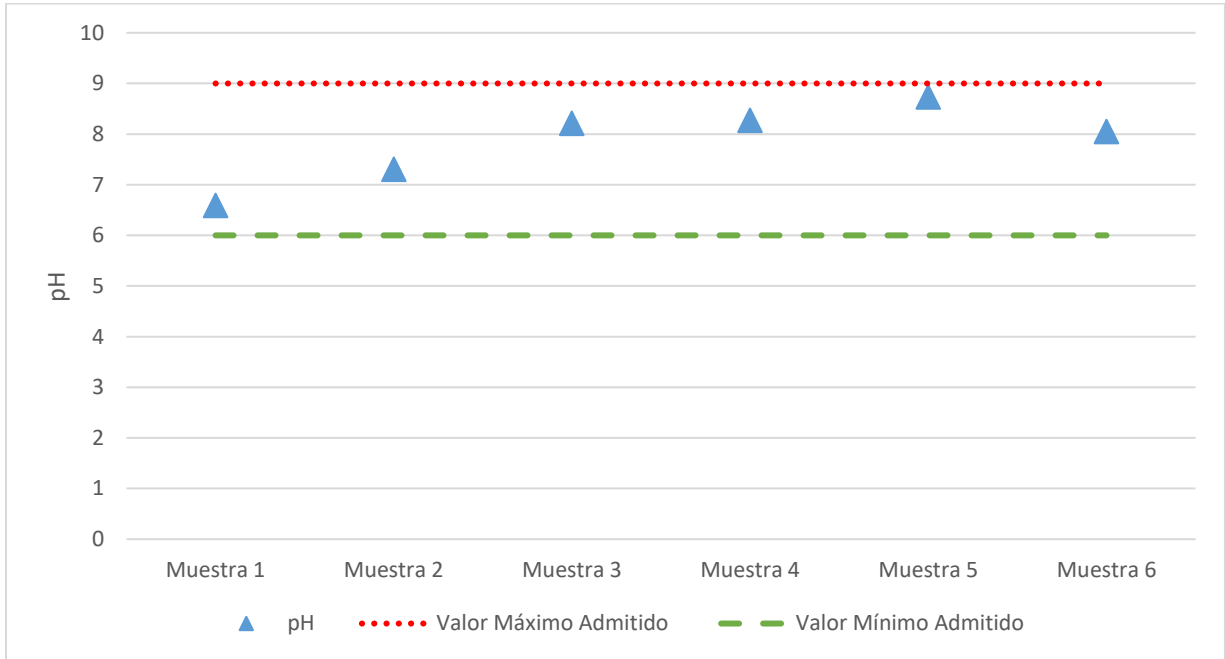


Figura 5.10 Valores de pH tomados en campo

5.2.11 Temperatura

La medición de la temperatura en las muestras se realizó in situ, todos los resultados de las muestras realizadas se encuentran dentro del ámbito aceptado por el Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales vigente, se encontró un promedio de 29,8 °C.

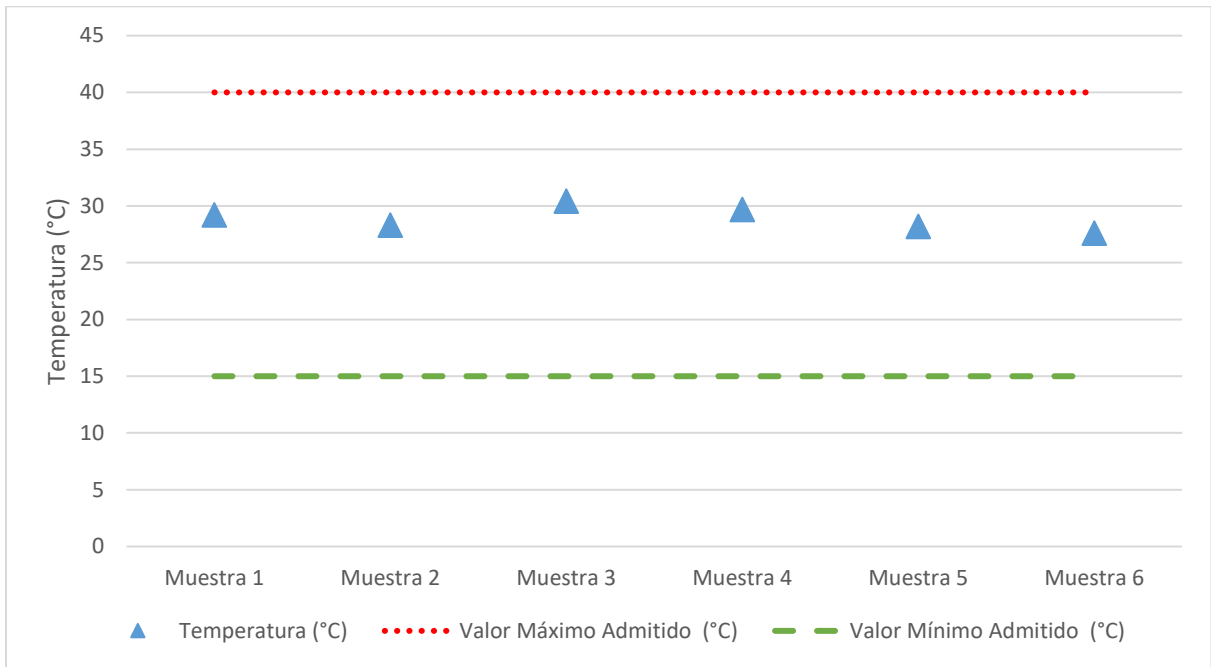


Figura 5.11 Valores de temperatura tomados en campo

5.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

5.3.1 Canaleta

Se diseña una canaleta que conduce las aguas residuales originadas desde el sitio de lavado hacia un pozo, para esto se selecciona una canaleta de sección rectangular construida de concreto, los parámetros de diseño se encuentran en el cuadro 5.3 y los cálculos de diseño de la canaleta se presentan en el Apéndice 3.

Cuadro 5.3 Parámetros de diseño de la canaleta

Parámetro	Valor
Caudal de diseño (L/s)	0,041
Pendiente	8%
Talud	0
Coefficiente de rugosidad	0,013
Ancho de solera (m)	0,3
Tirante normal (m)	0,00075
Área hidráulica (m ²)	0,00023
Perímetro mojado (m)	0,302
Espejo de agua (m)	0,3
Radio hidráulico (m)	0,0008
Velocidad (m/s)	0,180
Caudal Manning (m ³ /s)	0,00041
Número de Froude	2,089
Tipo de Flujo	Supercrítico
Energía (m*Kg/Kg)	0,0024
Fuerza tractiva (kg/m ²)	6,01
Alto (m)	0,2
Largo (m)	30,5

5.3.2 Tubería del canal al pretratamiento

Las aguas recolectadas se depositan en el pozo, el cual une la canaleta con la tubería que lleva las aguas al pretratamiento, los parámetros de diseño de la tubería se encuentran en el cuadro 5.4 y los cálculos de diseño de la tubería se presentan en el Apéndice 3.

Cuadro 5.4 Parámetros de diseño de la tubería al pretratamiento

Parámetro	Valor
Caudal de diseño (L/s)	0,041
Pendiente	4%
Coefficiente de rugosidad	0,01
Diámetro comercial	4"
Diámetro nominal (mm)	108,7
Velocidad tubo lleno (m/s)	1,81
Tirante normal (m)	0,0039
Tirante crítico (m)	0,0060
Velocidad de diseño (m/s)	0,38
Tipo de Flujo	Supercrítico
Fuerza tractiva mínima (kg/m ²)	0,104

5.3.3 Pretratamiento

El pretratamiento es fundamental para el buen funcionamiento de la biojardinera, este tiene como función retener las grasas y aceites además de separar los sólidos de mayor tamaño que provienen del lavado de los vehículos; es importante que esta materia no ingrese a la biojardinera ya que pueden llegar a obstruirla, tanto por la saturación de los vacíos de las piedras, así como de su descomposición. En el cuadro 5.5 se presentan los parámetros de diseño del pretratamiento.

El tiempo de retención del agua se estimó en base a lo presentado en el Manual para la construcción y Mantenimiento de las biojardineras en la Tabla A (Marín, 2010).

Cuadro 5.5 Parámetros de diseño del pretratamiento

Parámetro	Valor
Tiempo de retención	5 horas
Caudal	0,146 m ³ /h
Volumen requerido	732,41 L
Volumen del tanque	208 L (55 gal)
Cantidad de tanques	3,52
Distancia entre tanques	0,5 m

El volumen del recipiente que se utiliza debe ser mayor al volumen real de agua requerido, ya que entre mayor sea el volumen del recipiente, el tiempo de llenado se incrementará permitiendo una mejor sedimentación para los sólidos y la flotación de aceites y grasas.

Por lo anterior es que la cantidad de tanques se redondea hacia arriba por lo que se necesita un total de 4 tanques o estañones de 208 L (55 gal) tamaño que se encuentra en el mercado. Estos recipientes deben de contar con tapas para impedir la salida de los gases y la proliferación de zancudos. Esas tapas deben cerrar en forma hermética, pero deben quitarse fácilmente para hacer el mantenimiento.

En la figura 5.12 se presenta el diseño de la canaleta, el pozo, la tubería y el pretratamiento desde una vista en planta, en la figura 5.13 se muestra el perfil del terreno natural y la diferencia de niveles de los componentes para asegurar el flujo correcto del agua.

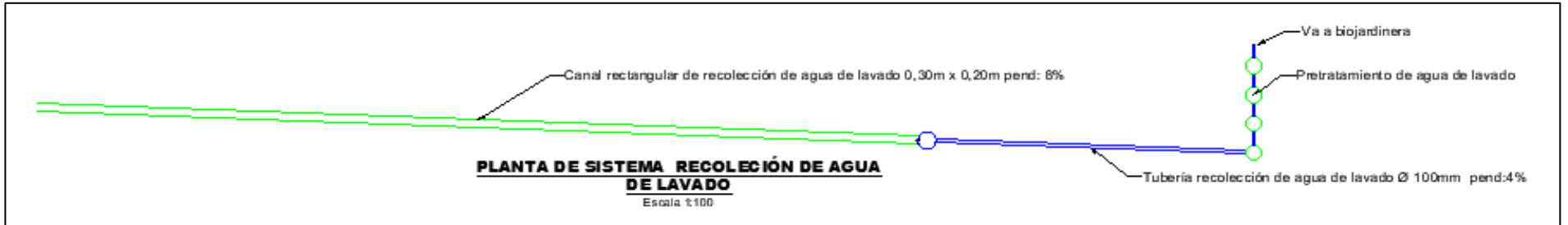


Figura 5.12 Vista en planta del canal de recolección de aguas de lavado y pretratamiento

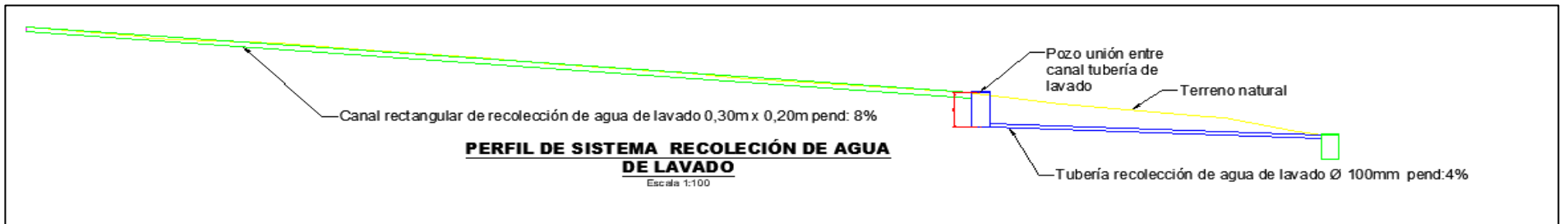


Figura 5.13 Perfil del sistema de recolección de aguas de lavado

5.3.4 Biojardinera

Para el diseño de la biojardinera se toman en cuenta los parámetros de diseño que se encuentran en el cuadro 5.6. El caudal de entrada es el caudal calculado en la sección 5.1, la temperatura promedio del lugar de estudio es de 25°C y el DBO de afluente es el promedio obtenido de los análisis fisicoquímicos realizados.

Los valores de la pendiente rondan entre 0,5 y 1% en el fondo para facilitar el desplazamiento del agua (Moncada Corrales, 2011). La profundidad de la biojardinera puede estar entre 0,4 m a 0,85 m, entre más profundo se encuentre el sustrato, mayor será la carga que el sistema puede procesar, pero si el sustrato es demasiado profundo, las condiciones en el fondo llegan a ser anaeróbicas y pueden suceder que la eliminación del DBO y nutrientes se vea reducida (Neira, 2008).

En cuanto al DBO influente se selecciona un valor de 30 mg/L, dato que se encuentra por debajo del límite permitido de vertido que es de 50 mg/L, lo anterior para tener un ámbito de seguridad, asimismo se toma en cuenta que los porcentajes de remoción de DBO en biojardineras están entre 80% y 90%.

Según Neira (2008) la relación largo ancho recomendada es de 2:1 a 4:1, siendo la 2:1 la más utilizada; debido a las características del lugar y el área disponible se selecciona la relación 3:1.

Para la construcción del lecho filtrante se utiliza piedra tipo gavión o piedra papa, las cuales deben tener un diámetro entre 3 a 5 pulgadas, la cual se coloca a unos 50 cm aproximadamente en los extremos de la biojardinera y en el centro de la misma se coloca piedra cuarta con un diámetro que se encuentra entre $\frac{3}{4}$ y 1 pulgada (Marín, 2010) con una conductividad hidráulica de $7500 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$ y una porosidad de 38% (Sierra, 2006).

Cuadro 5.6 Parámetros de diseño del sistema de tratamiento

Parámetro	Valor
Caudal de entrada (m ³ /día)	3,52
Temperatura (°C)	25
DBO afluente (mg/L)	149,7
Pendiente (m/m)	1%
Profundidad (m)	0,7
Eficiencia de remoción de DBO	80%
DBO influente (mg/L)	30
Relación largo: ancho	3
Porosidad del medio	38%
Conductividad hidráulica del medio filtrante (m ³ /m ² *día)	7500
Constante de degradación de DBO a 20°C (días ⁻¹)	1,104
Constante de degradación de DBO a 25°C (días ⁻¹)	1,48
Área superficial (m ²)	14,38
Ancho del humedal (m)	2,2
Largo del humedal (m)	6,6
Tiempo de retención hidráulico (días)	1,1

En la figura 5.14 se presenta la vista en planta y las dimensiones obtenidas de la biojardinera, en la figura 5.15 se muestra la vista longitudinal y en la figura 5.16 se presenta el corte transversal del diseño de la biojardinera.

En la figura 5.17 se presenta la vista en planta del sistema desde el pretratamiento hasta la salida del sistema, igualmente en la figura 5.18 se presenta el perfil del terreno desde el pretratamiento hasta la salida del sistema en donde se puede ver que el flujo de agua se dará de forma correcta.

En la figura 5.19 se muestra el diseño de la tubería de entrada y salida de la biojardinera con sus componentes y accesorios, en la figura 5.20 se presenta el desnivel de la tubería de ingreso y de salida del sistema.

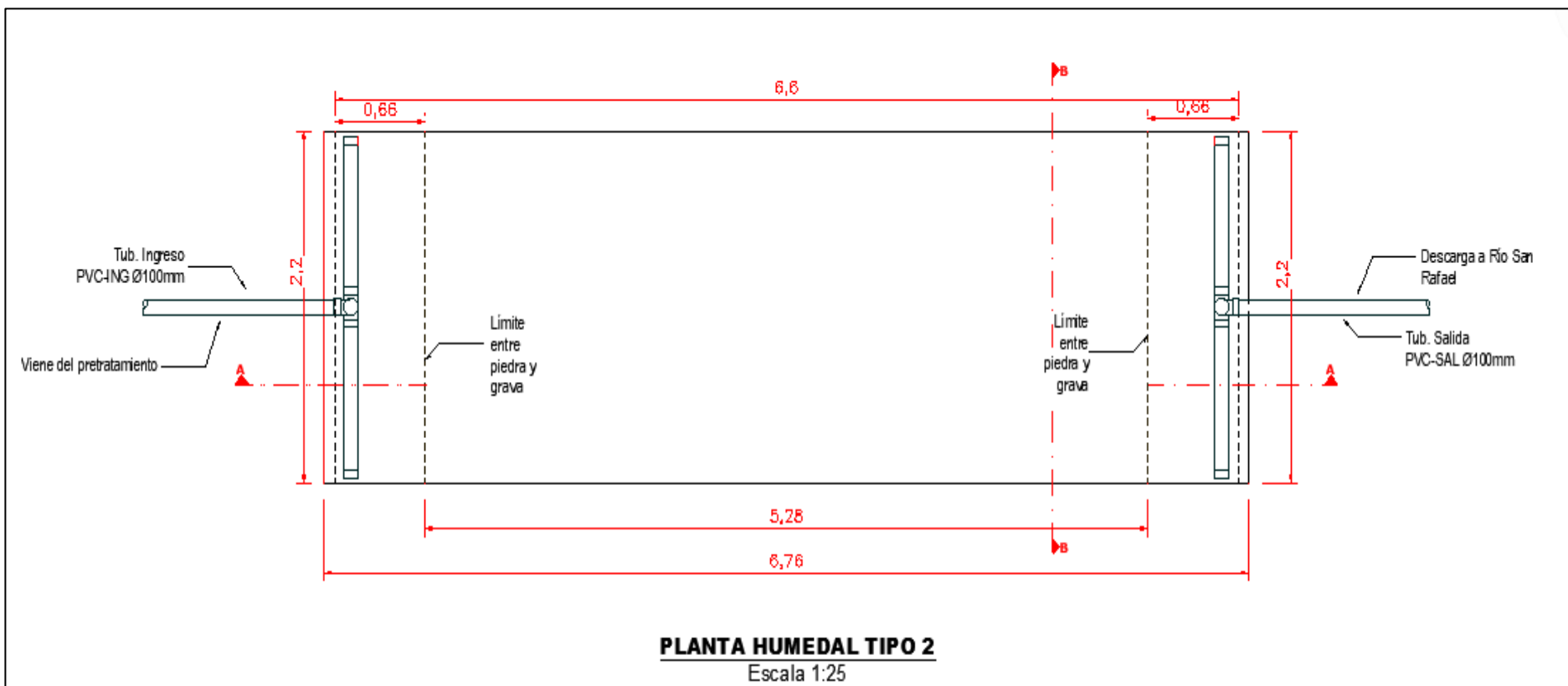


Figura 5.14 Vista en planta y dimensiones del diseño de la biojardinera

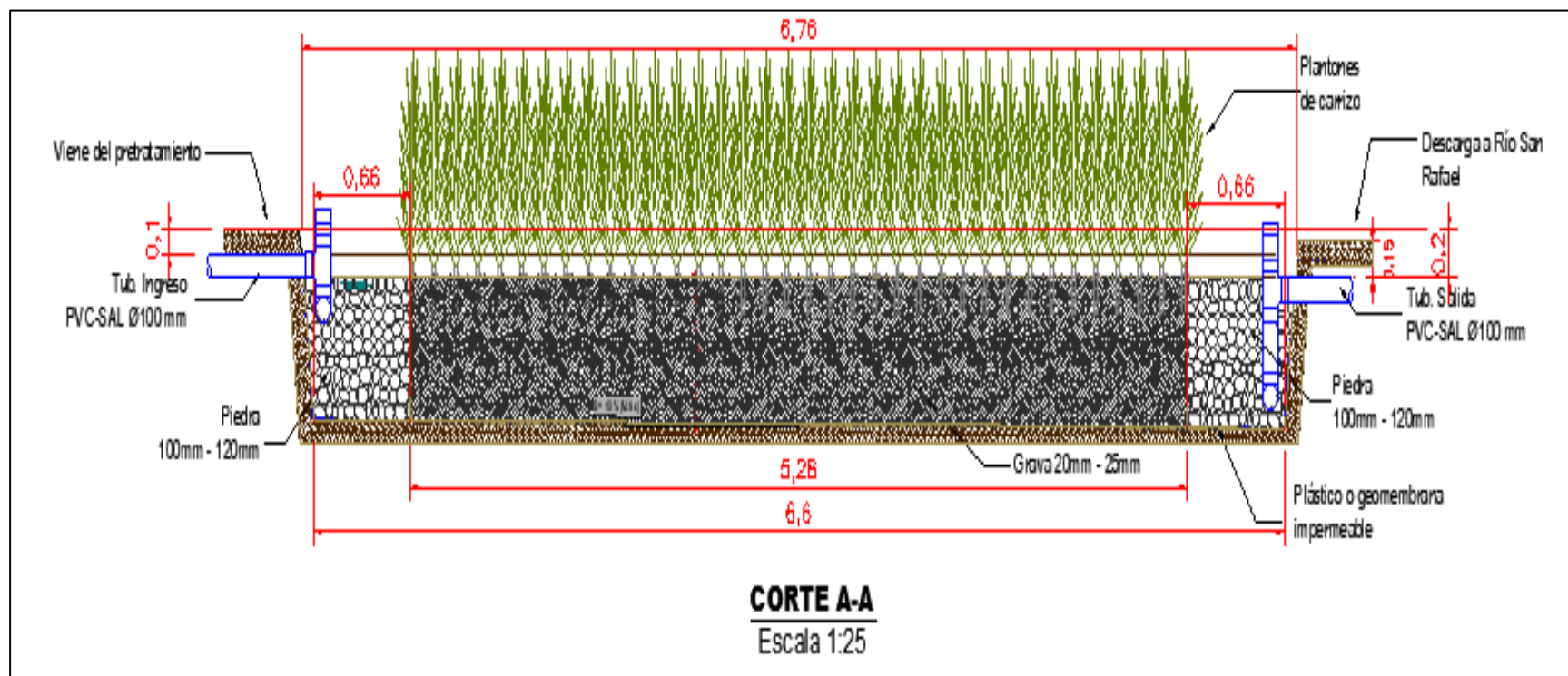


Figura 5.15 Vista del corte longitudinal y dimensiones de la biojardinera

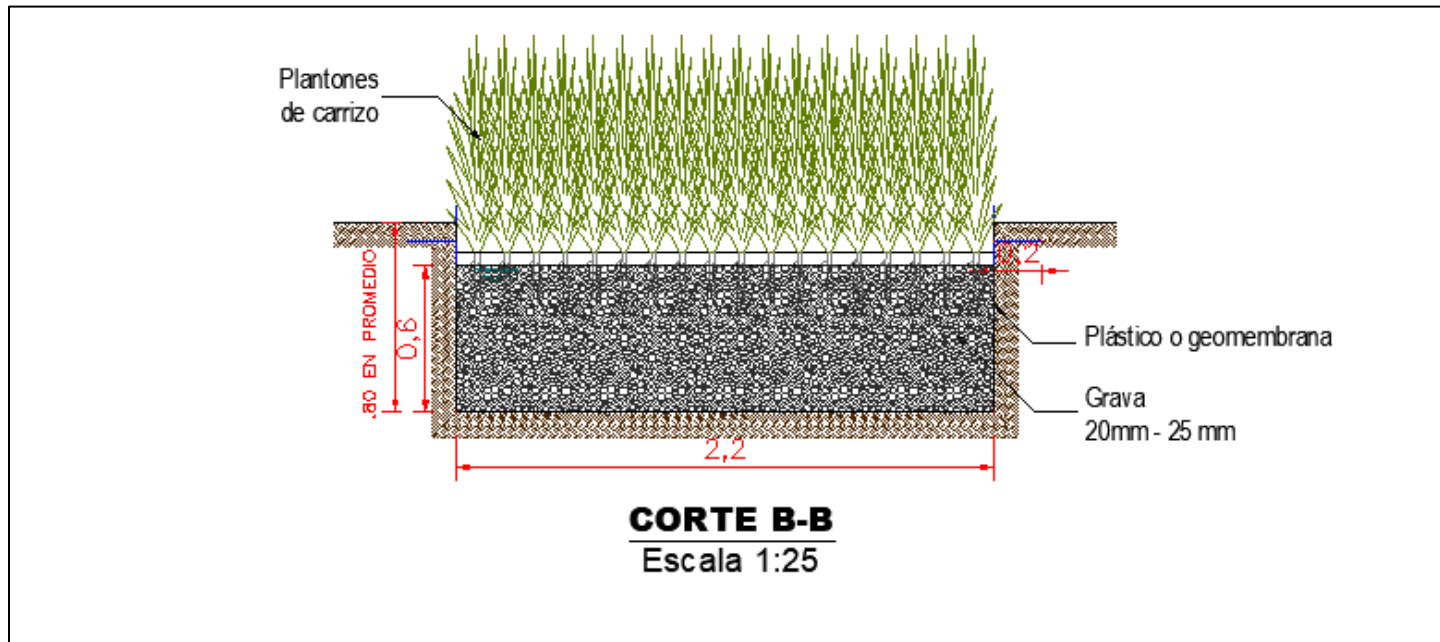


Figura 5.16 Vista del corte transversal y dimensiones de la biojardinera

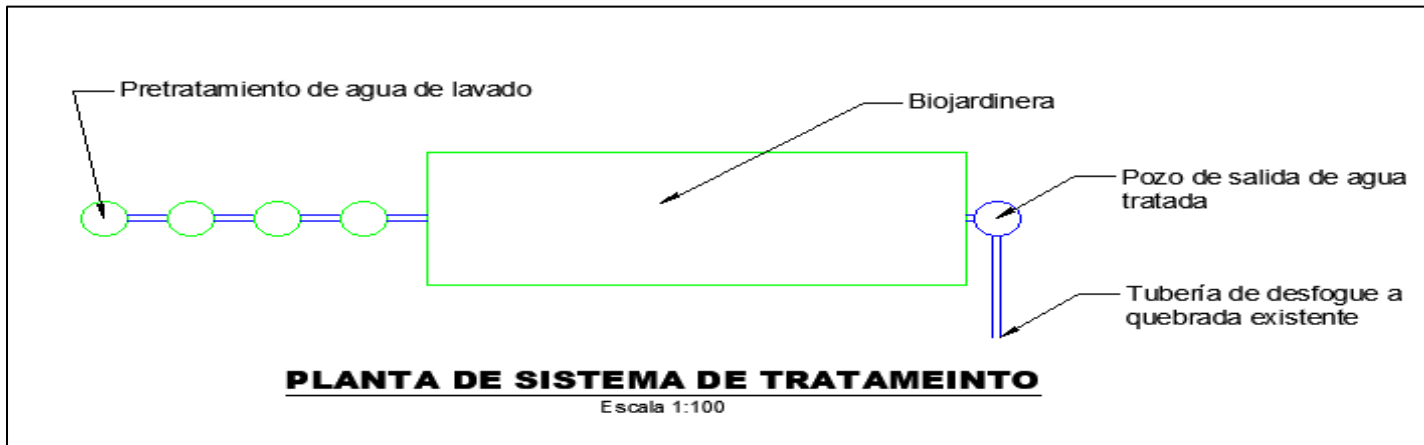


Figura 5.17 Vista en planta del sistema de tratamiento

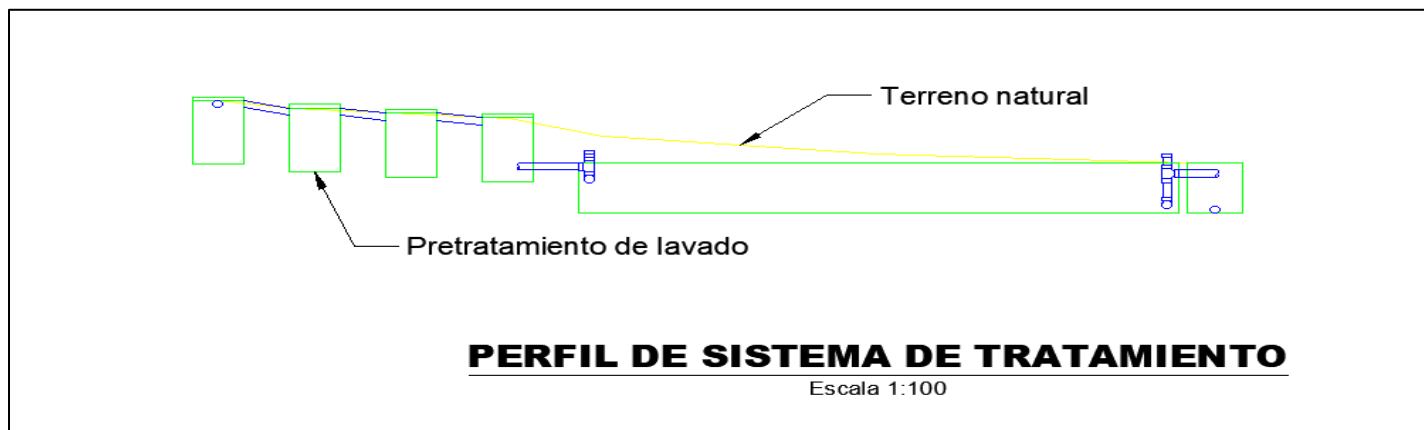


Figura 5.18 Perfil del sistema de tratamiento

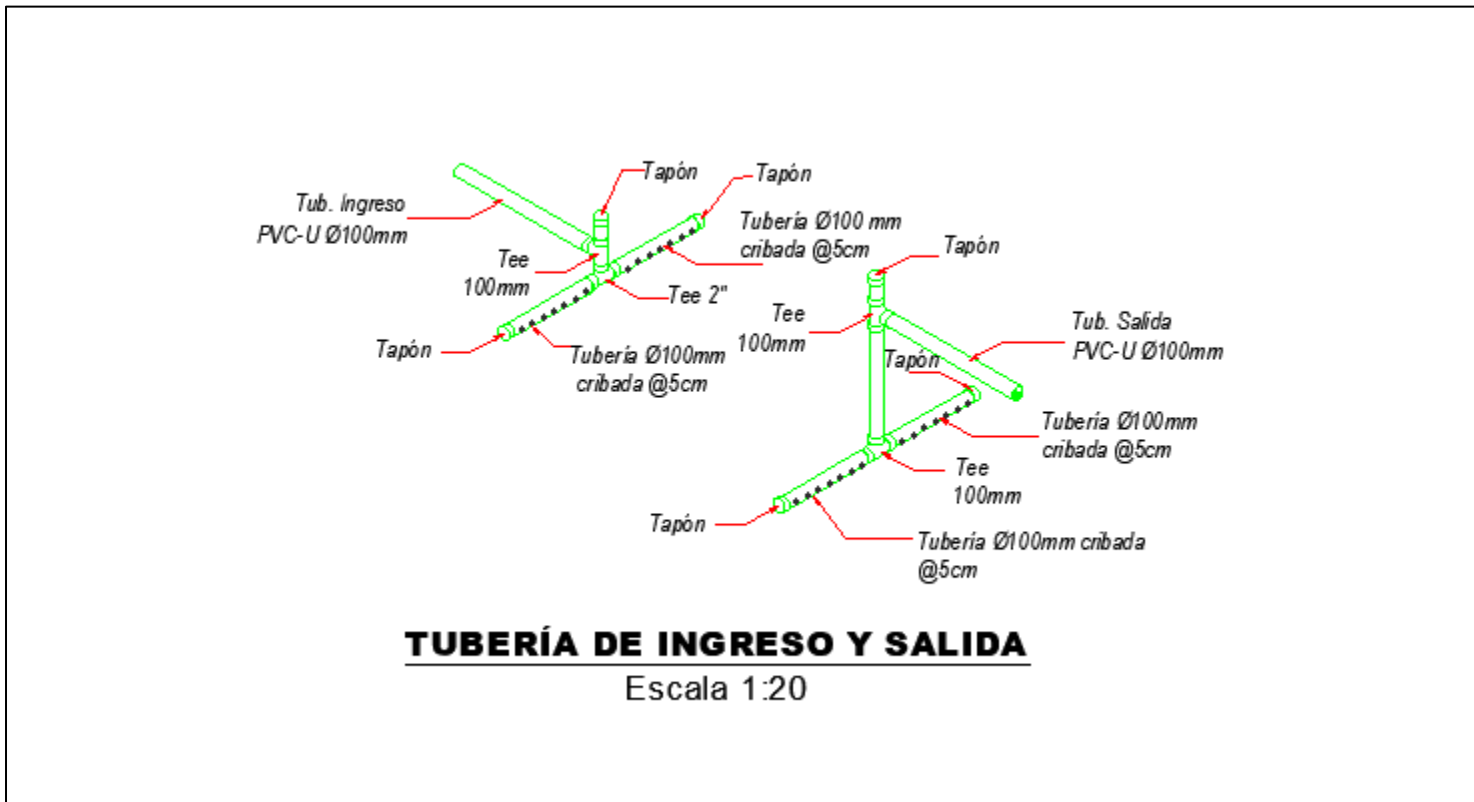


Figura 5.19 Diseño de la tubería de ingreso y salida de la biojardinería

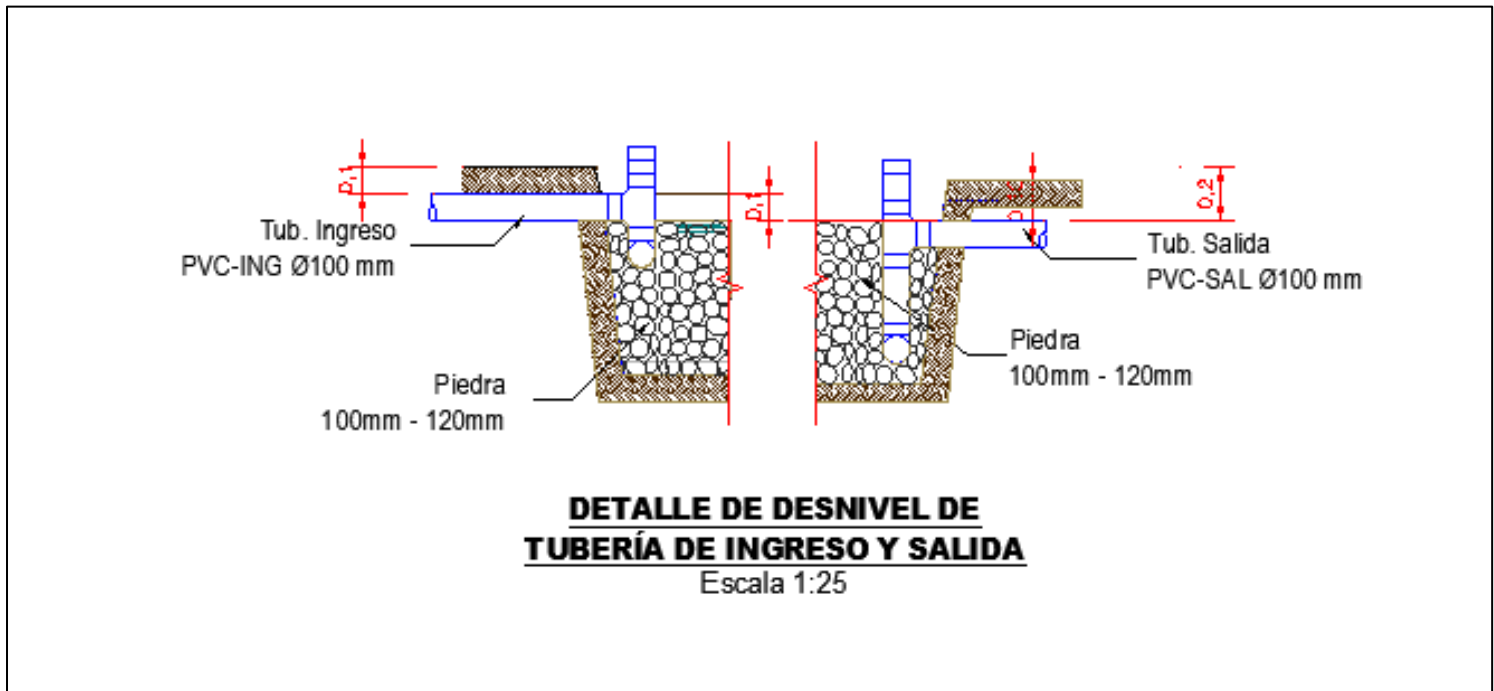


Figura 5.20 Desnivel de la tubería de ingreso y salida de la biojardinera

5.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL

5.4.1 Dimensionamiento

Debido a que las condiciones del estado de la cubierta del techo del galerón en donde se realiza el lavado de vehículos no son óptimas (Ver figura 5.22), es que se selecciona como área de recolección de las aguas pluviales al edificio que se utiliza para el mantenimiento de vehículos, dado que su construcción es más reciente y ya cuenta con el sistema de recolección y conducción de las aguas hacia un tanque de 3000 L de capacidad que se encuentra elevado y en desuso, como se muestra en la figura 5.21. Estos edificios se encuentran uno frente al otro.



Figura 5.21 Sector de mantenimiento de vehículos



Figura 5.22 Malas condiciones del techo del sector de lavado de vehículos

Las dimensiones del área de captación y el coeficiente de escorrentía en este caso para láminas de zinc se presentan en el cuadro 5.7.

Cuadro 5.7 Parámetros de diseño del sistema de agua pluvial

Parámetro	Valor
Largo	44 m
Ancho	13,6 m
Área de captación	598,4 m ²
Coeficiente de escorrentía	0,9

Los datos de precipitaciones promedio mensuales para el periodo que comprende del 2004 al 2019 brindados por el IMN, se presentan en la figura 5.23.

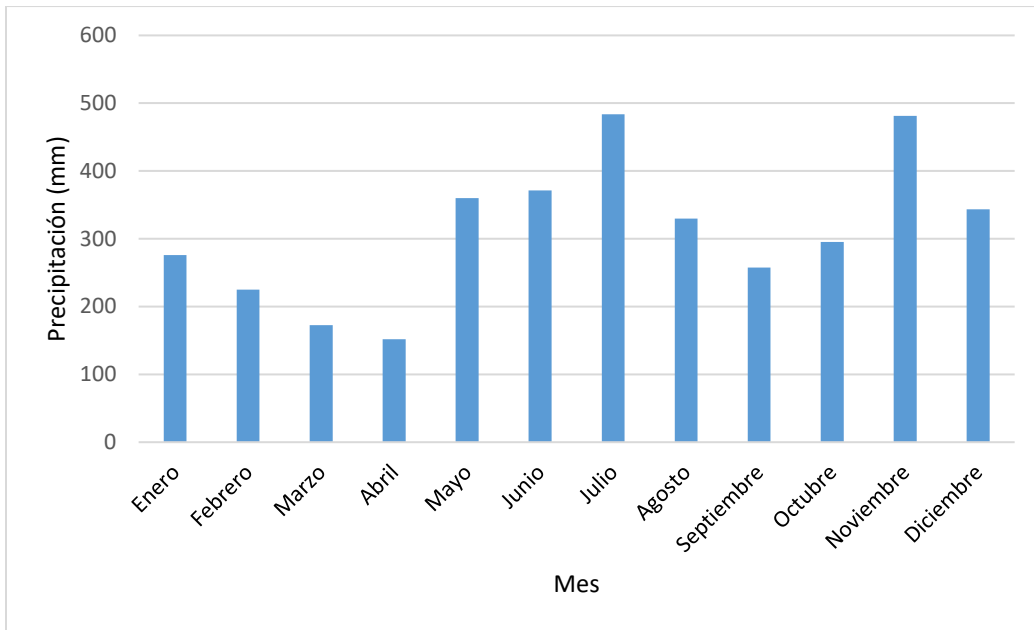


Figura 5.23 Precipitación mensual del sitio de estudio
Fuente: Adaptado de información brindada por el IMN.

De los datos que se han proporcionado se puede ver que los meses de menor precipitación son los meses de febrero, marzo y abril, meses que coinciden con la época seca del país. En el cuadro 5.8 se presenta la oferta y la demanda de agua mensual calculada para el sitio de estudio.

Cuadro 5.8 Oferta y demanda de agua pluvial mensual

Mes	Oferta de agua (m³)	Oferta de agua acumulada (m³)	Demanda de agua (m³)	Demanda de agua acumulada (m³)	Diferencia (m³)
Julio	260,45	260,45	108,98	108,98	157,95
Agosto	177,56	438,01	108,98	217,97	233,01
Septiembre	138,79	576,80	105,47	323,43	272,60
Octubre	158,98	735,78	108,98	432,41	329,08
Noviembre	259,16	994,94	105,47	537,88	489,04
Diciembre	185,00	1179,93	108,98	646,86	571,53
Enero	148,53	1328,47	108,98	755,85	617,57
Febrero	121,12	1449,59	98,44	854,28	646,11
Marzo	93,06	1542,65	108,98	963,27	636,67
Abril	81,75	1624,40	105,47	1068,73	619,23
Mayo	193,88	1818,29	108,98	1177,72	710,61
Junio	199,86	2018,15	105,47	1283,18	811,27

Como se puede ver a excepción de marzo y abril la precipitación mensual u oferta de agua es suficiente para abastecer la demanda mensual de agua para el lavado de los vehículos y dado que el agua captada únicamente se utilizará para el lavado no es necesario que el tanque de almacenamiento sea del volumen de la mayor diferencia acumulativa como el método lo aconseja, dado que para el caso particular puesto que la región es lluviosa, hay más oferta que demanda es por esta razón que se selecciona un tamaño del tanque que abastezca la demanda máxima diaria que es de 3515,6 L/día. Cabe resaltar que esta estimación es un promedio a partir de la precipitación mensual, y considerando la demanda diaria puede haber eventualmente desabastecimiento de agua lluvia, si llegan a haber días consecutivos sin precipitación.

Cómo en la actualidad ya existe un tanque elevado que está en desuso, con un volumen de 3000 L se propone otro tanque de 3000 L a nivel del suelo para que exista un volumen de almacenamiento de seguridad en caso de que las precipitaciones fluctúen a lo largo de los días o se amplíe la cantidad de vehículos por lavar.

En la figura 5.24 se muestra el diseño de la estructura que albergará el tanque a nivel del suelo, se decide implementar un tanque igual al existente por lo que se diseña con las mismas dimensiones de este.

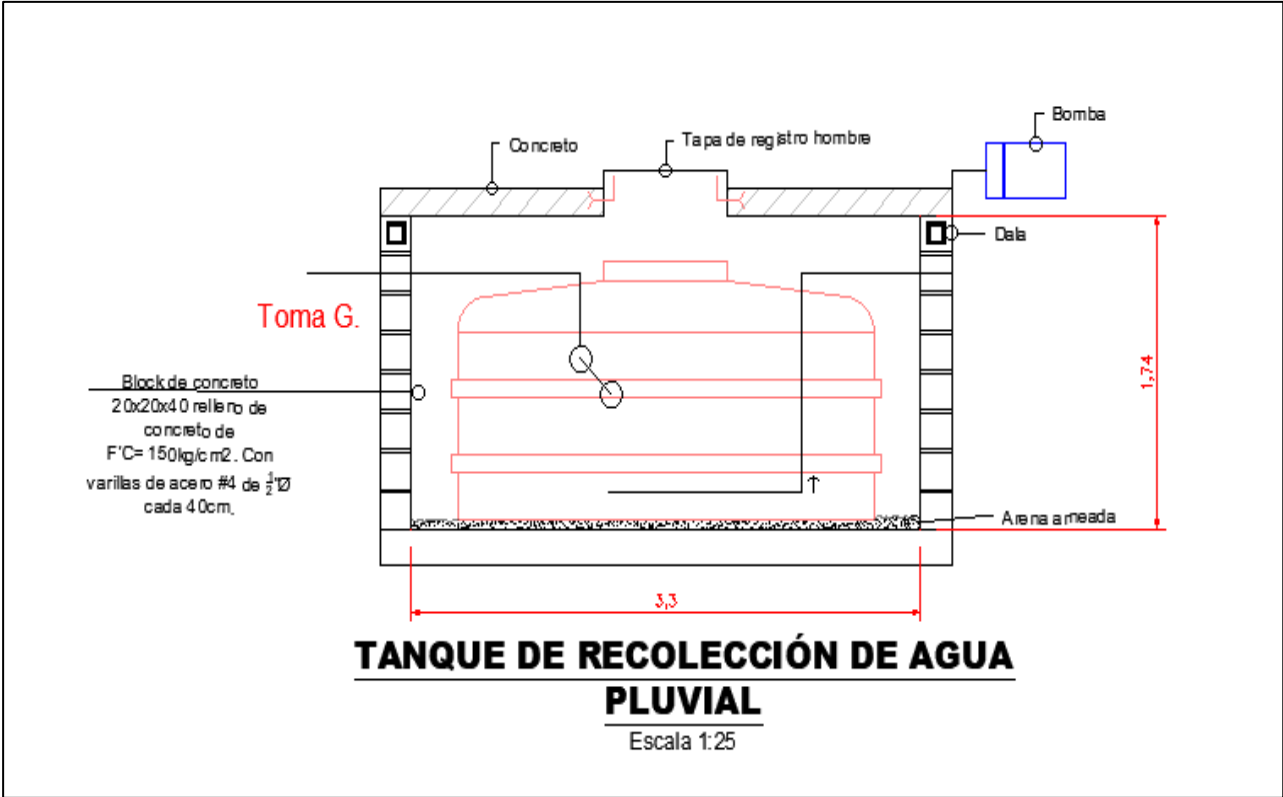


Figura 5.24 Diseño de la estructura que alberga el tanque de almacenamiento

5.4.2 Tubería hacia el tanque de captación

En el cuadro 5.9 se presenta los parámetros de diseño de la tubería de conducción necesaria para el transporte del agua pluvial del tanque de almacenamiento elevado al tanque de almacenamiento a nivel del suelo.

Parámetro	Valor
Caudal de diseño (L/s)	0,041
Pendiente	6,23%
Coefficiente de rugosidad	0,01
Diámetro comercial	4"
Diámetro nominal (mm)	108,7
Velocidad tubo lleno (m/s)	2,26
Tirante normal (m)	0,0036
Tirante crítico (m)	0,0060
Velocidad de diseño (m/s)	0,44
Tipo de Flujo	Supercrítico
Fuerza tractiva mínima (kg/m ²)	0,146

En la figura 5.25 se presenta la vista en planta del diseño del sistema de recolección de agua pluvial, en la figura 5.26 se muestra el perfil del terreno que atraviesa la tubería de conducción hacia el tanque de almacenamiento que está a nivel del suelo, como se puede ver la diferencia de niveles hace posible el flujo del agua pluvial hacia este tanque.

Por último, en la figura 5.27 se presenta la localización de todo el sistema de tratamiento de las aguas de lavado y de captación de aguas pluviales con las curvas de nivel del lugar. En la figura 5.28 se ubica todo el sistema en el terreno, la línea roja es la delimitación de la zona de protección del río en la cual no se puede construir, respetando lo establecido por la legislación costarricense.

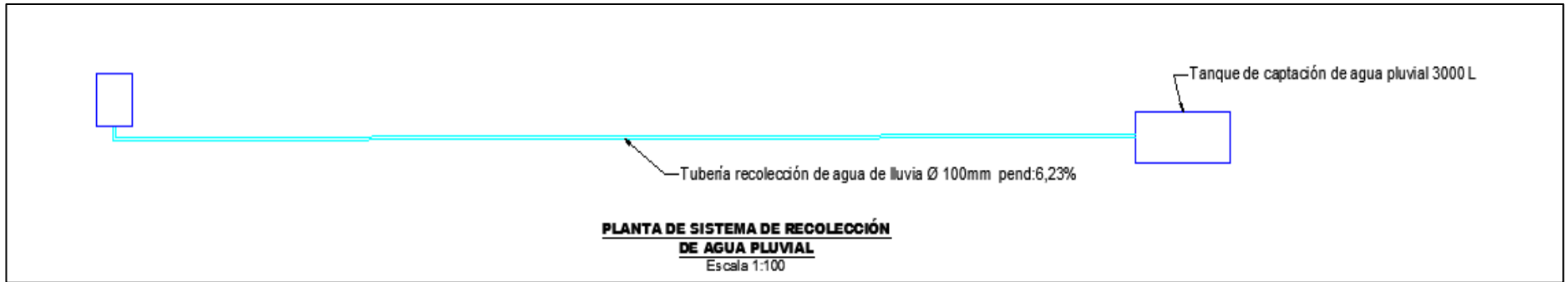


Figura 5.25 Vista en planta del sistema de recolección de agua pluvial

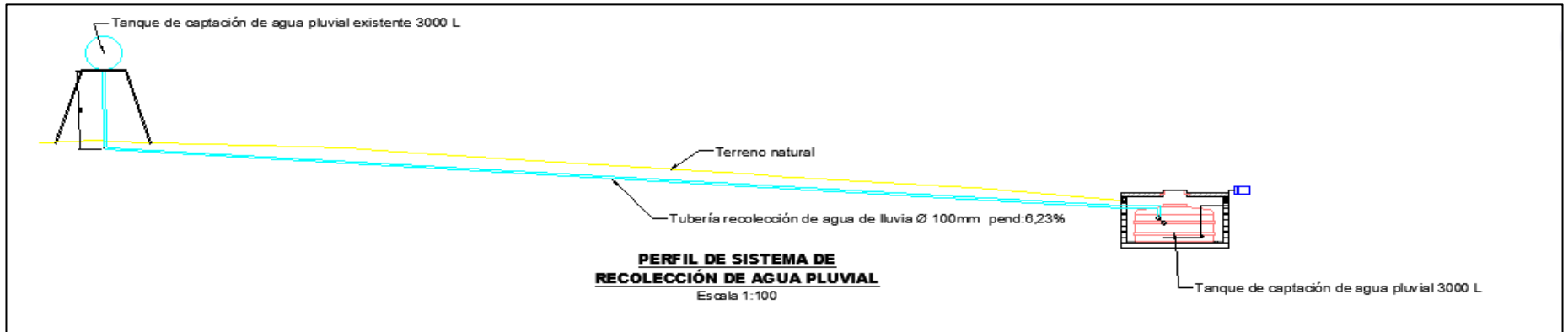


Figura 5.26 Perfil del sistema de recolección de agua pluvial

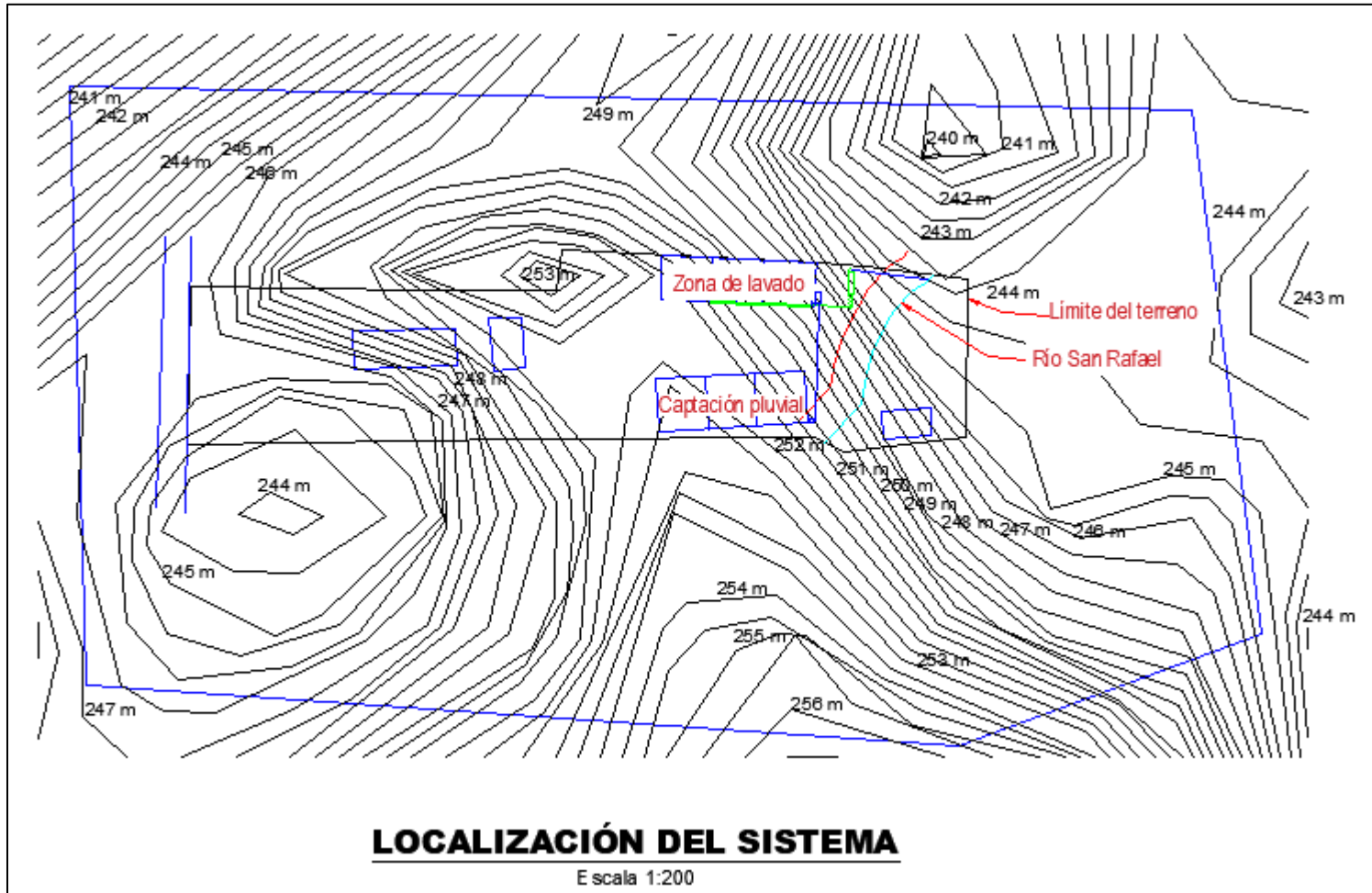


Figura 5.27 Curvas de nivel del sistema de tratamiento y de recolección de agua pluvial

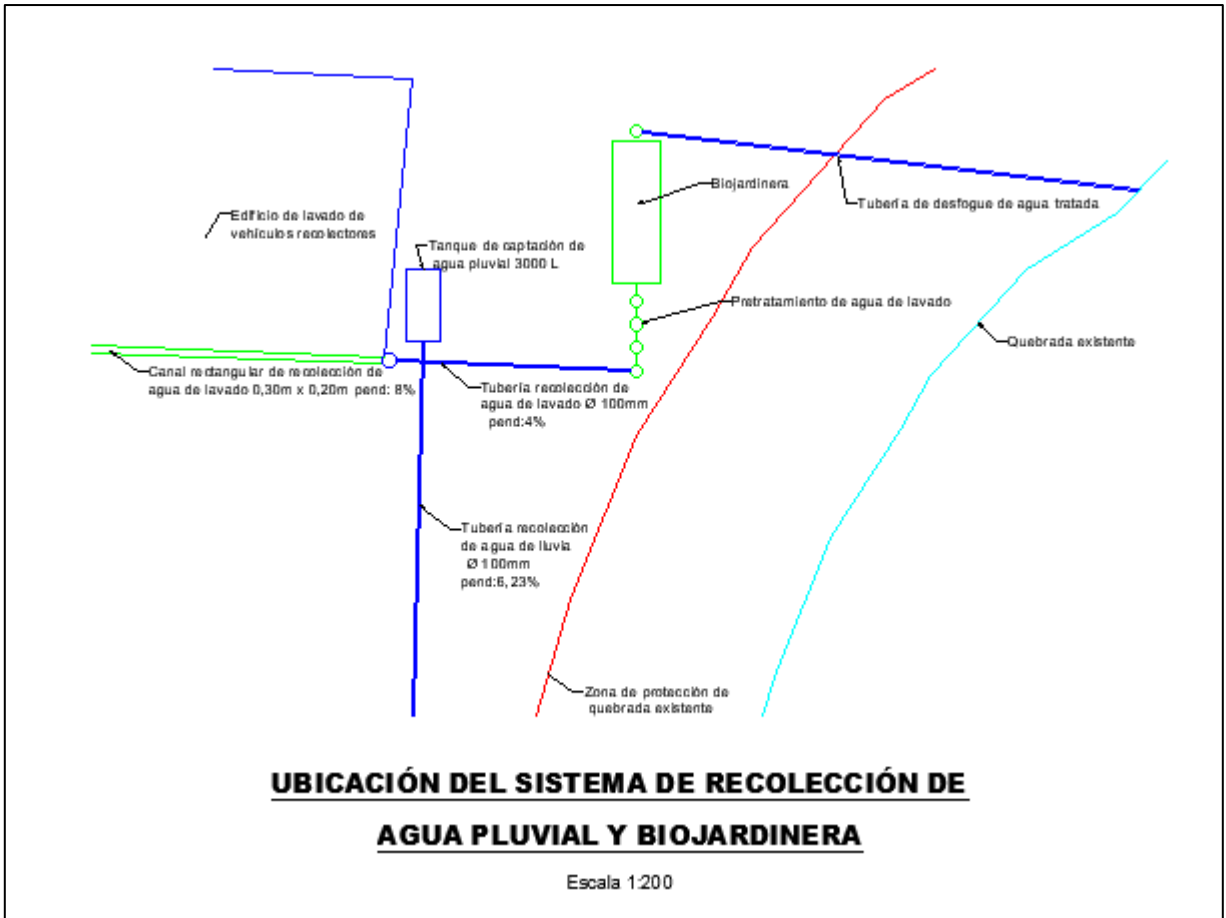


Figura 5.28 Ubicación del sistema de tratamiento y de recolección de agua pluvial

5.5 COSTOS

5.5.1 Materiales

En el cuadro 5.10 se presentan todos los materiales necesarios para la construcción del sistema de tratamiento y del sistema de captación de agua pluvial, además se muestra la mano de obra necesaria.

Cuadro 5.10 Materiales necesarios para la construcción del sistema de tratamiento y de captación de agua pluvial

	Material	Unidad de medida	Cantidad
Canaleta y pozo	Saco de Cemento (50 Kg)	Unidad	19
	Arena	m ³	1,41
	Tubería PVC, sanitaria de 100 mm (4 pulg)	m	10,75
	Grava	m ³	2,12
Tratamiento Primario	Recipientes plásticos con tapa (208 L)	Unidad	4
	T's PVC, sanitarias de 100 mm (4 pulg)	Unidad	8
	Tubería PVC, sanitaria de 100 mm (4 pulg)	m	4
	Uniones PVC de 100 mm (4 pulg)	Unidad	8
	Tubería PVC de 25 mm (1 pulg) (ventilación)	m	3
	Unión PVC de 25 mm (1 pulg)	Unidad	1
	Codos sanitarios de 25 mm (1 pulg)	Unidad	3
	Pegamento para PVC	Unidad	1
Biojardinera	Piedra tipo gavión, bola, entre 4 a 5 pulg	m ³	2,02
	Piedra cuarta, entre 3/4 y 1 pulg	m ³	8,09
	Plástico (5 capas), 4 m ancho	m	35
	Tubería PVC sanitaria de 100 mm (4 pulg)	m	6
	Tapones PVC sanitarios de 100 mm (4 pulg)	Unidad	6
	T's PVC, sanitarias de 100 mm (4 pulg)	Unidad	4
	Pegamento para PVC	Unidad	1
	Cemento o pegamix	Sacos	4

	Sacos para cubrir el plástico	Unidad	90
	Plantas [1]	Unidad	88
Unidad de salida del agua	Recipiente plástico con tapa (208 L)	Unidad	1
	Tubería PVC sanitaria de 100 mm (4 pulg)	m	22,5
Captación de agua pluvial	Tanque de almacenamiento (3000 L)	Unidad	1
	Tubería de 100 mm (4 pulg)	m	38,5
	T's PVC de 100 mm (4 pulg)	Unidad	2
	Arena (construcción y contención del tanque)	m ³	3,34
	Grava	m ³	3,36
	Block de concreto 20x20x40	Unidad	234
	Cemento (50 Kg)	Unidad	29
	Varillas de acero #4 de ½"	m	46
Mano de obra	1 operario+ 2 ayudantes	Días	15

[1] Como la Municipalidad de Pococí cuenta con un vivero en el plantel municipal, las plantas para la biojardinera serán tomadas de este lugar, en el Apéndice 4 se encuentran las plantas que comúnmente se utilizan en dichos sistemas de tratamiento y se seleccionará la o las plantas según la disponibilidad. Se calcula la cantidad de plantas dejando 40 cm de separación en todas las direcciones entre las plantas.

Para la mano de obra se consideran 10 días para la construcción del pretratamiento y de la biojardinera y 5 días para la instalación de la tubería de conducción de agua pluvial, construcción de la canaleta y de la estructura que rodea el tanque de almacenamiento a nivel del suelo.

En el cuadro 5.11 se presenta los costes totales de los dos sistemas: sistema de tratamiento y sistema de captación de agua pluvial.

Cuadro 5.11 Costos totales de construcción

Material	Unidad de medida	Costo unitario (₡)	Costo total (₡)
Saco de Cemento	50 Kg	6495	311760
Arena	m ³	16000	58400
Recipientes plásticos con tapa (208 L)	Unidad	48000	240000
T's PVC, sanitarias de 100 mm (4 pulg)	Unidad	7000	98000
Tubería PVC de 100 mm (4 pulg)	m	7133	583150
Uniones PVC de 100 mm (4 pulg)	Unidad	3700	29600
Tubería PVC de 25 mm (1 pulg)	m	2500	7500
Unión PVC de 25 mm (1 pulg)	Unidad	785	785
Codos sanitarios de 25 mm (1 pulg)	Unidad	800	2400
Pegamento para PVC	Unidad	700	1400
Piedra tipo gavión, bola, entre 4 a 5 pulg	m ³	30000	60600
Piedra cuarta, entre 3/4 y 1 pulg	m ³	16000	217120
Plástico, 4 m ancho	m	580	20300
Tapones PVC sanitarios de 100 mm (4 pulg)	Unidad	2400	14400
Cemento o pegamix	Saco (40 Kg)	3250	13000
Sacos para cubrir el plástico	Unidad	345	31050
Tanque de almacenamiento (3000 L)	Unidad	500000	500000
Block de concreto	Unidad	705	164970
Varillas de acero #4 de ½"	m	664	30552
Mano de obra (1 operario+ 2 ayudantes) [2]	Día/trabajador	11843,71	532967
TOTAL			₡ 2 917 954

[2] Tomando en cuenta el salario mínimo por jornada ordinaria para un operario en construcción.

Se tiene un costo total en el sistema de tratamiento de agua residual de ¢1 444 268 y un costo de ¢1 473 686 para el sistema de captación de agua pluvial.

5.5.2 Ahorro de agua potable

Con la implementación del sistema de captación de agua pluvial se suple una necesidad de 107 m³ al mes, tomando en cuenta que la tarifa del m³ es de ¢ 1959 para entes del gobierno, se tiene un ahorro mensual de cerca de ¢210 000. Con lo anterior se puede calcular el periodo de recuperación de la inversión el cual será de 14 meses.

6 CONCLUSIONES

La generación promedio diaria de agua residual calculado considerando la implementación del calendario de lavado es de 3,51 m³/día.

La calidad de agua del lavado excede los valores máximos de vertido en cuerpos receptores, para los parámetros de DBO, DQO, sólidos suspendidos totales y grasas y aceites. Además, se encontró la presencia de coliformes fecales en 3 de las 6 muestras. Los valores de pH, temperatura, sólidos sedimentables, SAAM y nitrógeno total son menores al valor máximo de vertido.

La construcción del sistema de tratamiento de agua residual debe ser una prioridad, ya que no se debe seguir vertiendo aguas al río San Rafael que no cumplen con los parámetros de vertido según lo estipulado en la legislación costarricense.

Se diseñó una biojardinera que tiene la capacidad de remoción de DBO del 80%, esta estará antecedida por un pretratamiento de trampas de grasa; las aguas tratadas serán dispuestas al cuerpo receptor cumpliendo con los parámetros de vertido.

Es de suma importancia la construcción del sistema de captación de agua pluvial para complementar con el agua potable que se utiliza para el lavado y lograr una mejor gestión integrada del recurso hídrico.

A excepción de los meses de marzo y abril, las precipitaciones mensuales son suficientes y hasta exceden la demanda de agua para el lavado. La gran posibilidad de aprovechamiento de aguas pluviales en el cantón de Pococí hace de este recurso un gran beneficio.

El costo estimado total de la implementación de los sistemas es de ₡ 2 917 954, para el sistema de tratamiento de agua residual es de ₡1 444 268 y el sistema de captación de agua pluvial tiene un costo de ₡1 473 686.

Con la implementación del sistema de captación de agua pluvial y del calendario de lavado se logra disminuir un consumo promedio de agua potable en 107 m³ al mes, lo que equivale a cerca de ¢210 000. Esto significa que la inversión inicial de la construcción de los sistemas se recuperará en 14 meses.

7 RECOMENDACIONES

Es necesario la implementación del calendario de lavado lo antes posible, principalmente para los camiones recolectores de residuos no valorizables ya que es de suma importancia que se cumpla con lo establecido en el Reglamento sobre el manejo de residuos sólidos, en su artículo 31.

Realizar las mejoras en la cubierta del techo del sector de lavado, para que de esta forma se evite la infiltración de lluvia y que en un futuro esta área pueda ser utilizada para aprovechamiento de agua pluvial.

El cantón de Pococí cuenta con gran disponibilidad de agua lluvia por lo que se podría implementar otros sistemas de captación para ser utilizados en otros sectores de alto consumo de agua potable en donde se pueda sustituir por agua pluvial.

Realizar labores de limpieza en los alrededores del sector de lavado y de mantenimiento de vehículos para permitir las condiciones óptimas para la puesta en marcha futura del sistema de tratamiento de aguas residuales y de captación de aguas pluviales.

Una vez construido el sistema es necesario realizar la respectiva operación y mantenimiento adecuados, de manera que se obtengan los mejores resultados en el tratamiento de las aguas residuales. De igual forma es necesario que se realice la limpieza de canoas para evitar obstrucciones en el canal de conducción del agua pluvial.

Con la puesta en marcha del sistema se debe de validar si el sistema de tratamiento propuesto es suficiente o si se debe complementar, esto debido a que para el diseño de la biojardinera se utilizó una constante de degradación para aguas residuales concentradas, no para el tipo de aguas generadas en el proceso de lavado.

8 REFERENCIAS

- ACEPESA. (2005). Una alternativa natural para limpiar las aguas grises de nuestra casa. *Agencia Para La Cooperacion Internacional de Los Países Bajos*.
- AyA. (2020). *AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO Y SANEAMIENTO EN COSTA RICA AL 2019: BRECHAS Y DESAFÍOS AL 2023*.
- Cevallos, A., & Guañuña, J. (2019). *Implementación de un sistema de tratamiento de aguas grises mediante biojardineras en una residencia de la parroquia “Calderón” para su reutilización*. Escuela Politécnica Nacional.
- Chavarría, O. J. (2018). *Evaluación del desempeño en la remoción de la carga orgánica en aguas grises domésticas de una biojardinera mediante la construcción a nivel de laboratorio*. Universidad de Costa Rica.
- Corena, M. (2008). *SISTEMAS DE TRATAMIENTOS PARA LIXIVIADOS GENERADOS EN RELLENOS SANITARIOS*. UNIVERSIDAD DE SUCRE.
- Cubillo, M. F., & Gómez, W. (2017). Biojardineras como alternativas para el tratamiento de aguas residuales: experiencia en cinco biojardineras en las comunidades de Barra Honda y La Vigía de Nicoya, Guanacaste. *Revista Universidad En Diálogo*, 7(1), 69–87.
- Davis, L. (2005). *A handbook of Constructed Wetlands*. Washington DC: USDA – NRCS and EPA.
- FAO. (2000). *Manual de captación y aprovechamiento de agua de lluvia. Experiencias en América Latina. Serie Zonas Áridas y Semiáridas (Vol. 13)*. Santiago (Chile).
- Ferraz, F., & Yuan, Q. (2020). Organic matter removal from landfill leachate by adsorption using spent coffee grounds activated carbon. *Sustainable Materials and Technologies*, 23, 141.
- García, L., Manso, M., Aguado, R., & Mijangos, F. (2018). Modelización integral de una biojardinera para el tratamiento de aguas grises. *XIII Congreso de META*.
- García Serrano, J., & Corzo Hernández, A. (2008). *Depuración con Humedales Construidos*. Universidad Politécnica de Catalunya.
- Kjeldsen, P., Barlaz, M., Rooker, A., Baun, A., Ledín, A., & Christensen, T. (2002). Present and Long-Term Composition of MSW Landfill Leachate: A Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 34(4), 297–336.
- MAG. (2010). *COMPENDIO CON INFORMACIÓN DE LAS OPCIONES TÉCNICAS DE*

COSECHA DE AGUA APLICABLES A NUESTRO MEDIO.

- Marín, M. (2010). *Manual para la construcción y mantenimiento de biojardineras* (2nd ed.). San José, Costa Rica: ACEPESA.
- MINAE, AyA, & Ministerio de Salud. Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales 2016-2045 (2016). San José, Costa Rica.
- Moncada Corrales, S. (2011). *EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE UNA BIOJARDINERA DE FLUJO SUBSUPERFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES EN ZAPOTE, SAN JOSÉ*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Muñoz, N. E. (2015). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES POR MEDIO DE BIOJARDINERA APLICADO A VIVIENDAS RURALES DEL DEPARTAMENTO DE QUICHÉ*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Neira, S. D. (2008). Manual De Biojardineras. *Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados*.
- OPS. (2004). *Guía de diseño para captación del agua de lluvia*. Lima.
- Pérez-Salazar, R., Mora-Aparicio, C., Alfaro-Chinchilla, C., Sasa-Marín, J., Scholz, C., & Rodríguez-Corrales, J. (2019). Biogardens as constructed wetlands in tropical climate: A case study in the Central Pacific Coast of Costa Rica. *Science of The Total Environment*, 658, 1023–1028.
- Poder Ejecutivo. Decreto 33601 Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales (2010). Costa Rica.
- Poder Ejecutivo. Decreto N° 36093-S Reglamento sobre el manejo de residuos sólidos ordinarios (2011). Costa Rica.
- Qamar, Z., Khan, S., Khan, A., Aamir, M., Nawab, J., & Waqas, M. (2017). Appraisal, source apportionment and health risk of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in vehicle-wash wastewater, Pakistan. *Science of the Total Environment*, 605–606, 107–113.
- Quintero-Ramírez, A., Valencia-González, Y., & Lara-Valencia, L. . (2017). Efecto de los lixiviados de residuos sólidos en un suelo tropical. *DYNA*, 84(303), 283–290. Retrieved from <https://www.redalyc.org/jatsRepo/496/49655603036/html/index.html>
- Rengifo, E., & Augusto, C. (2018). *Evaluación de un Sistema de Biojardineras como Alternativa de Tratamiento de Aguas Jabonosas Proveniente de la finca las Parcelas*.

Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

- Renou, S., Givaudan, J. G., Poulain, S., Dirassouyan, F., & Moulin, P. (2008). Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*, 150, 468–493.
- Rodríguez Boluarte, I. A., Andersen, M., Biplob Pramanik, K., Chang, C.-Y., Bagshaw, S., Farago, L., ... Shu, L. (2016). Reuse of car wash wastewater by chemical coagulation and membrane bioreactor treatment processes. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 113, 44–48.
- Rodríguez, J. R. (2016). *Centroamérica: Agua, cultura y territorio*. Heredia, Costa Rica: Actas del I Congreso Internacional.
- Rosales Escalante, E. (2006). Documento para fundamentar utilización de bio-jardineras para el tratamiento de aguas grises: diseño de unidades para el tratamiento alternativo de aguas residuales ordinarias en una vivienda.
- Rosales Escalante, E. (2010). Mejoras sanitarias en instituciones o servicios públicos de La Casona, Coto Brus. *Tecnología En Marcha*, 23(5), 41–50.
- Shiguango Shiguango, O. J. (2016). “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA BIOJARDINERA MEDIANTE FITODEPURACIÓN, PARA EL TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES DOMICILIARIAS EN LA COMUNIDAD DE YAWARI. ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES.
- Sierra, J. F. (2006). *Tratamiento y reutilización de aguas grises en proyectos de vivienda de interés social a partir de humedales artificiales*. Universidad de los Andes.
- UNICEF, & World Health Organization. (2019). *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene I 2000-2017: Special focus on inequalities*. New York.

ANEXOS

ANEXO 1: LISTADO DE VEHÍCULOS PERTENECIENTES A LA MUNICIPALIDAD DE POCOCÍ


Cuadro A.1.1 Listado de vehículos pertenecientes a la municipalidad de Pococí

UNIDAD	TIPO	PLACA
	ISUZU (PICK UP-D MAX)	SM 006904
	TOYOTA (LAND CRUISER)	SM 006938
	HONDA (MOTO)	SM 006840
	HONDA (MOTO)	SM 006835
	HONDA (MOTO)	SM 006849
	HONDA (MOTO)	SM 006832
	HONDA (MOTO)	SM 006820
	HONDA (MOTO)	SM 006847
	HONDA (MOTO)	SM 006819
	HONDA (MOTO)	SM 006822
	HONDA (MOTO)	SM 006831
	HONDA (MOTO)	SM 006855
Administración	HONDA (MOTO)	SM 003694
	HONDA (MOTO)	SM 003695
	HONDA (MOTO)	SM 003696
	HONDA (MOTO)	SM 003701
	TOYOTA (PICK UP)	SM 003931
	TOYOTA (PICK UP)	SM 003932
	HONDA (MOTO)	SM 004112
	HONDA (MOTO)	SM 004247
	TOYOTA (LAND CRUISER)	SM 005675
	TOYOTA (LAND CRUISER)	SM 005676
	DAIHATSU (CARGA LIVIANA-TERIOS)	SM 005679
	HONDA (MOTO)	SM 003699
	MITSUBISHI (CARGA LIVIANA)	SM 006658
	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 007375

Gestión	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 007440
Ambiental	INTERNAT. (CAMIÓN DE CARGA)	SM 003252
	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 003962
	VOLKSWAGEN (RECOLECTOR)	SM 004166
	VOLKSWAGEN (RECOLECTOR)	SM 004168
	VOLKSWAGEN (RECOLECTOR)	SM 004175
	JMC (PEQUEÑO SIMILAR AL SM 262887)	SM 005664
	CAMIÓN DE RECICLAJE GRANDE	SM 7182
	CAMIÓN DE RECICLAJE GRANDE	SM 7181
	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 006044
	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 006046
	HINO (CAMIÓN PARQUES)	SM 006727
	TOYOTA (HILUX)	SM 007111
	CAMIÓN DE RECICLAJE PEQUEÑO	CL 262887
	Caminos y calles	HONDA (MOTO)
HONDA (MOTO)		SM 006834
HONDA (MOTO)		SM 006836
HINO (CAMIÓN PARQUES)		SM 7002
HONDA (MOTO)		SM 003700
HONDA (MOTO)		SM 004071
MACK (VAGONETAS)		SM 004912
MACK (VAGONETAS)		SM 004973
MACK (VAGONETAS)		SM 005000
LOAD CRAFT (LOWBOY)		SM 005033
SCANIA (VAGONETA)		SM 006281
SCANIA (VAGONETA)		SM 006282
SCANIA (VAGONETA)		SM 006283
SCANIA (VAGONETA)		SM 006284
BACK HOE TRIPA		SM 003788
COMPACTADORA	SM 004600	

	EXCAVADORA KOMASUT	SM 005095
	BACK NUEVO	SM 006946
Oficina de la mujer	ISUZU	SM 006906
	MITSUBISHI (CARGA LIVIANA)	SM 006532
	HONDA (MOTO)	SM 006504
	MACK (VAGONETA)	SM 004621
	MACK (VAGONETA)	SM 004630
	TOYOTA (PICK UP)	SM 004955
	TOYOTA (PICK UP)	SM 004956
	TOYOTA (PICK UP)	SM 006103
	TOYOTA (PICK UP)	SM 007722
	HINO (CAMIÓN PARQUES)	SM 006120
	HINO (CAMIÓN PARQUES)	SM 007732
Unidad	SCANIA (VAGONETA)	SM 006279
Técnica	SCANIA (VAGONETA)	SM 006280
	MITSUBISHI (CARGA LIVIANA PICK UP)	SM 006429
	HONDA (MOTO)	SM 006503
	BACK HOE RETROEXCABADORA CATERPILAR 420	SM 004455
	NIVELADORA	SM 004629
	EXCAVADORA KOMASUT	SM 004941
	COMPACTADORA	SM 006842
	NIVELADORA	SM 006843
	HONDA (MOTO)	SM 004069
	HONDA (MOTO)	SM 004070
	TANQUETA (CAMIÓN)	SM 7079
Dirección	TOYOTA (PICK UP)	SM 003463
Técnica	TOYOTA RUSH (PICK UP)	SM 007721
	DAIHATSU (CARGA LIVIANA)	SM 005674

Tabla A.2.2 Relaciones hidráulicas para flujo crítico y uniforme en secciones circulares

Tabla de relaciones hidráulicas adimensionales para flujo uniforme y flujo crítico. <i>Editado por Andrés Araya y Maikel Méndez-ICO/CIVCO-Hidráulica</i> Basado en (Ven Te Chow, 1994)											y= tirante D= diámetro T = espejo de agua		A= área mojada P= perímetro mojado R= radio hidráulico			AR ^{2/3} /D ^{8/3} A ^{3/2} /(T ^{1/2} D ^{5/2})	
y/D	θ (rad)	A/D2	P/D	R/D	T/D	AR ^{2/3} /D ^{8/3}	A ^{3/2} /(T ^{1/2} D ^{5/2})		y/D	θ (rad)	A/D2	P/D	R/D	T/D	AR ^{2/3} /D ^{8/3}	A ^{3/2} /(T ^{1/2} D ^{5/2})	
0.01	0.40067	0.00133	0.20033	0.00664	0.19900	0.00005	0.00011		0.51	3.18160	0.40270	1.59080	0.25314	0.99980	0.16115	0.25557	
0.02	0.56759	0.00375	0.28379	0.01321	0.28000	0.00021	0.00043		0.52	3.22161	0.41269	1.61081	0.25620	0.99920	0.16648	0.26523	
0.03	0.69633	0.00687	0.34817	0.01972	0.34117	0.00050	0.00097		0.53	3.26166	0.42268	1.63083	0.25918	0.99820	0.17182	0.27505	
0.04	0.80543	0.01054	0.40272	0.02617	0.39192	0.00093	0.00173		0.54	3.30176	0.43266	1.65088	0.26208	0.99679	0.17719	0.28504	
0.05	0.90205	0.01468	0.45103	0.03255	0.43589	0.00150	0.00269		0.55	3.34193	0.44262	1.67096	0.26489	0.99499	0.18256	0.29521	
0.06	0.98987	0.01924	0.49493	0.03887	0.47497	0.00221	0.00387		0.56	3.38217	0.45255	1.69109	0.26761	0.99277	0.18794	0.30555	
0.07	1.07105	0.02417	0.53553	0.04513	0.51029	0.00306	0.00526		0.57	3.42252	0.46247	1.71126	0.27025	0.99015	0.19331	0.31606	
0.08	1.14703	0.02944	0.57351	0.05132	0.54259	0.00407	0.00686		0.58	3.46297	0.47236	1.73149	0.27280	0.98712	0.19869	0.32675	
0.09	1.21877	0.03501	0.60939	0.05745	0.57236	0.00521	0.00866		0.59	3.50357	0.48221	1.75178	0.27527	0.98367	0.20405	0.33762	
0.10	1.28700	0.04088	0.64350	0.06352	0.60000	0.00651	0.01067		0.60	3.54431	0.49203	1.77215	0.27764	0.97980	0.20940	0.34867	
0.11	1.35226	0.04701	0.67613	0.06952	0.62578	0.00795	0.01288		0.61	3.58522	0.50181	1.79261	0.27993	0.97550	0.21473	0.35991	
0.12	1.41497	0.05339	0.70748	0.07546	0.64992	0.00953	0.01530		0.62	3.62632	0.51154	1.81316	0.28212	0.97077	0.22004	0.37133	
0.13	1.47455	0.06000	0.73773	0.08133	0.67261	0.01126	0.01792		0.63	3.66764	0.52122	1.83382	0.28423	0.96561	0.22532	0.38294	
0.14	1.53399	0.06683	0.76699	0.08714	0.69397	0.01314	0.02074		0.64	3.70918	0.53085	1.85459	0.28623	0.96000	0.23056	0.39475	
0.15	1.59080	0.07387	0.79540	0.09288	0.71414	0.01515	0.02376		0.65	3.75098	0.54042	1.87549	0.28815	0.95394	0.23576	0.40676	
0.16	1.64607	0.08111	0.82303	0.09855	0.73321	0.01731	0.02698		0.66	3.79305	0.54992	1.89653	0.28996	0.94742	0.24092	0.41897	
0.17	1.69996	0.08854	0.84998	0.10416	0.75127	0.01960	0.03039		0.67	3.83543	0.55936	1.91771	0.29168	0.94043	0.24602	0.43140	
0.18	1.75260	0.09613	0.87630	0.10971	0.76837	0.02203	0.03400		0.68	3.87813	0.56873	1.93906	0.29330	0.93295	0.25106	0.44405	
0.19	1.80411	0.10390	0.90205	0.11518	0.78460	0.02460	0.03781		0.69	3.92119	0.57802	1.96059	0.29482	0.92499	0.25604	0.45693	
0.20	1.85459	0.11182	0.92730	0.12059	0.80000	0.02729	0.04181		0.70	3.96463	0.58723	1.98231	0.29623	0.91652	0.26095	0.47005	
0.21	1.90414	0.11990	0.95207	0.12593	0.81462	0.03012	0.04600		0.71	4.00848	0.59635	2.00424	0.29754	0.90752	0.26579	0.48342	
0.22	1.95282	0.12811	0.97641	0.13121	0.82849	0.03308	0.05038		0.72	4.05279	0.60538	2.02640	0.29875	0.89800	0.27054	0.49705	
0.23	2.00072	0.13647	1.00036	0.13642	0.84167	0.03616	0.05495		0.73	4.09758	0.61431	2.04879	0.29984	0.88792	0.27520	0.51097	
0.24	2.04789	0.14494	1.02395	0.14156	0.85417	0.03937	0.05971		0.74	4.14290	0.62313	2.07145	0.30082	0.87727	0.27976	0.52518	
0.25	2.09440	0.15355	1.04720	0.14663	0.86603	0.04270	0.06465		0.75	4.18879	0.63185	2.09440	0.30169	0.86603	0.28422	0.53971	
0.26	2.14028	0.16226	1.07014	0.15163	0.87727	0.04614	0.06979		0.76	4.23529	0.64045	2.11765	0.30244	0.85417	0.28856	0.55457	
0.27	2.18560	0.17109	1.09280	0.15656	0.88792	0.04970	0.07510		0.77	4.28247	0.64893	2.14123	0.30307	0.84167	0.29279	0.56981	
0.28	2.23040	0.18002	1.11520	0.16142	0.89800	0.05337	0.08060		0.78	4.33036	0.65728	2.16518	0.30357	0.82849	0.29689	0.58544	
0.29	2.27470	0.18905	1.13735	0.16622	0.90752	0.05715	0.08628		0.79	4.37905	0.66550	2.18953	0.30395	0.81462	0.30085	0.60151	
0.30	2.31856	0.19817	1.15928	0.17094	0.91652	0.06104	0.09215		0.80	4.42859	0.67357	2.21430	0.30419	0.80000	0.30466	0.61806	
0.31	2.36200	0.20738	1.18100	0.17559	0.92499	0.06503	0.09819		0.81	4.47908	0.68150	2.23954	0.30430	0.78460	0.30832	0.63514	
0.32	2.40506	0.21667	1.20253	0.18018	0.93295	0.06912	0.10441		0.82	4.53059	0.68926	2.26529	0.30427	0.76837	0.31181	0.65282	
0.33	2.44776	0.22603	1.22388	0.18469	0.94043	0.07330	0.11081		0.83	4.58323	0.69686	2.29162	0.30409	0.75127	0.31513	0.67116	
0.34	2.49013	0.23547	1.24507	0.18913	0.94742	0.07758	0.11739		0.84	4.63712	0.70429	2.31856	0.30376	0.73321	0.31825	0.69025	
0.35	2.53221	0.24498	1.26610	0.19349	0.95394	0.08195	0.12415		0.85	4.69239	0.71152	2.34619	0.30327	0.71414	0.32117	0.71022	
0.36	2.57400	0.25455	1.28700	0.19779	0.96000	0.08641	0.13108		0.86	4.74920	0.71856	2.37460	0.30260	0.69397	0.32388	0.73119	
0.37	2.61555	0.26418	1.30777	0.20201	0.96561	0.09095	0.13818		0.87	4.80773	0.72540	2.40387	0.30176	0.67261	0.32635	0.75333	
0.38	2.65686	0.27386	1.32843	0.20615	0.97077	0.09557	0.14546		0.88	4.86822	0.73201	2.43411	0.30073	0.64992	0.32858	0.77687	
0.39	2.69796	0.28359	1.34898	0.21023	0.97550	0.10027	0.15291		0.89	4.93092	0.73839	2.46546	0.29949	0.62578	0.33053	0.80208	
0.40	2.73888	0.29337	1.36944	0.21423	0.97980	0.10503	0.16053		0.90	4.99618	0.74452	2.49809	0.29804	0.60000	0.33219	0.82936	
0.41	2.77962	0.30319	1.38981	0.21815	0.98367	0.10987	0.16832		0.91	5.06441	0.75039	2.53221	0.29634	0.57236	0.33354	0.85919	
0.42	2.82021	0.31304	1.41011	0.22200	0.98712	0.11477	0.17629		0.92	5.13616	0.75596	2.56808	0.29437	0.54259	0.33453	0.89231	
0.43	2.86067	0.32293	1.43033	0.22577	0.99015	0.11973	0.18442		0.93	5.21213	0.76123	2.60607	0.29210	0.51029	0.33512	0.92974	
0.44	2.90101	0.33284	1.45051	0.22947	0.99277	0.12475	0.19272		0.94	5.29332	0.76616	2.64666	0.28948	0.47497	0.33527	0.97307	
0.45	2.94126	0.34278	1.47063	0.23309	0.99499	0.12983	0.20120		0.95	5.38113	0.77072	2.69057	0.28645	0.43589	0.33491	1.02483	
0.46	2.98142	0.35274	1.49071	0.23663	0.99679	0.13495	0.20984		0.96	5.47775	0.77486	2.73888	0.28291	0.39192	0.33393	1.08953	
0.47	3.02152	0.36272	1.51076	0.24009	0.99820	0.14011	0.21865		0.97	5.58685	0.77853	2.79343	0.27870	0.34117	0.33218	1.17605	
0.48	3.06157	0.37270	1.53079	0.24347	0.99920	0.14532	0.22763		0.98	5.71560	0.78165	2.85780	0.27351	0.28000	0.32936	1.30599	
0.49	3.10159	0.38270	1.55079	0.24678	0.99980	0.15057	0.23677		0.99	5.88252	0.78407	2.94126	0.26658	0.19900	0.32476	1.55635	
0.50	3.14159	0.39270	1.57080	0.25000	1.00000	0.15584	0.24609		1.00	6.28319	0.78540	3.14159	0.25000	0.00000	0.31169	-	

APÉNDICES

**APÉNDICE 1: CALENDARIO DE LAVADO DE LOS VEHÍCULOS DE LA
MUNICIPALIDAD DE POCOCÍ**

Semana 1									
Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes	
Vehículo	Placa	Vehículo	Placa	Vehículo	Placa	Vehículo	Placa	Vehículo	Placa
INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 007375	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 007375	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 007375	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 007375	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 007375
INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 007440	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 007440	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 007440	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 007440	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 007440
INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 003962	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 003962	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 003962	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 003962	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 003962
VOLKSWAGE N (RECOLECTOR)	SM 004166	VOLKSWAGE N (RECOLECTOR)	SM 004166	VOLKSWAGE N (RECOLECTOR)	SM 004166	VOLKSWAGE N (RECOLECTOR)	SM 004166	VOLKSWAGE N (RECOLECTOR)	SM 004166
VOLKSWAGE N (RECOLECTOR)	SM 004168	VOLKSWAGE N (RECOLECTOR)	SM 004168	VOLKSWAGE N (RECOLECTOR)	SM 004168	VOLKSWAGE N (RECOLECTOR)	SM 004168	VOLKSWAGE N (RECOLECTOR)	SM 004168
VOLKSWAGE N (RECOLECTOR)	SM 004175	VOLKSWAGE N (RECOLECTOR)	SM 004175	VOLKSWAGE N (RECOLECTOR)	SM 004175	VOLKSWAGE N (RECOLECTOR)	SM 004175	VOLKSWAGE N (RECOLECTOR)	SM 004175

INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 006044	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 006044	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 006044	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 006044	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 006044
INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 006046	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 006046	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 006046	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 006046	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 006046
INTERNAT. (CAMIÓN DE CARGA)	SM 003252	INTERNAT. (CAMIÓN DE CARGA)	SM 003252	INTERNAT. (CAMIÓN DE CARGA)	SM 003252	INTERNAT. (CAMIÓN DE CARGA)	SM 003252	INTERNAT. (CAMIÓN DE CARGA)	SM 003252
ISUZU (PICK UP-D MAX)	SM 006904	SCANIA (VAGONETA)	SM 006284	ISUZU	SM 006906	MACK (VAGONETA)	SM 004621	JMC (SIMILAR AL 262887)	SM 005664
TOYOTA (LAND CRUISER)	SM 006938	LOAD CRAFT (LOWBOY)	SM 005033	BACK HOE RETROEXCAB ADORA CATERPILAR 420	SM 004455	HONDA (MOTO)	SM 004070	HINO (CAMIÓN PARQUES)	SM 006727
HONDA (MOTO)	SM 006840	COMPACTAD ORA	SM 004600	HINO (CAMIÓN PARQUES)	SM 006120				
HONDA (MOTO)	SM 006835	HINO (CAMIÓN PARQUES)	SM 7002	HINO (CAMIÓN PARQUES)	SM 007732				
HONDA (MOTO)	SM 006849	HONDA (MOTO)	SM 006830	TOYOTA RUSH (PICK UP)	SM 007721				

HONDA (MOTO)	SM 006832	HONDA (MOTO)	SM 006834	TOYOTA (PICK UP)	SM 004956
HONDA (MOTO)	SM 006820	HONDA (MOTO)	SM 006836		
		HONDA (MOTO)	SM 003700		
		HONDA (MOTO)	SM 004071		

INTERNAT. (CAMIÓN DE CARGA)	SM 003252	INTERNAT. (CAMIÓN DE CARGA)	SM 003252	INTERNAT. (CAMIÓN DE CARGA)	SM 003252	INTERNAT. (CAMIÓN DE CARGA)	SM 003252	INTERNAT. (CAMIÓN DE CARGA)	SM 003252
TOYOTA (PICK UP)	SM 003931	MACK (VAGONETAS)	SM 004912	NIVELADORA	SM 004629	MACK (VAGONETA)	SM 004630	CAMIÓN DE RECICLAJE PEQUEÑO	CL 262887
TOYOTA (PICK UP)	SM 003932	MACK (VAGONETAS)	SM 004973	NIVELADORA	SM 006843	HONDA (MOTO)	SM 006504	TOYOTA (HILUX)	SM 007111
HONDA (MOTO)	SM 006847	BACK HOE TRIPA	SM 003788	MITSUBISHI (CARGA LIVIANA)	SM 006532				
HONDA (MOTO)	SM 006819			DAIHATSU (CARGA LIVIANA)	SM 005674				
HONDA (MOTO)	SM 006822								
HONDA (MOTO)	SM 006831								

Semana 3

Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes		Sábado	
Vehículo	Placa	Vehículo	Placa	Vehículo	Placa	Vehículo	Placa	Vehículo	Placa	Vehículo	Placa
INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 007375	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 007375	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 007375	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 007375	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 007375	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 007375
INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 007440	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 007440	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 007440	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 007440	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 007440	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 007440
INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 003962	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 003962	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 003962	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 003962	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 003962	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 003962
VOLKSWAGEN (RECOLECTOR)	SM 004166	VOLKSWAGEN (RECOLECTOR)	SM 004166	VOLKSWAGEN (RECOLECTOR)	SM 004166	VOLKSWAGEN (RECOLECTOR)	SM 004166	VOLKSWAGEN (RECOLECTOR)	SM 004166	VOLKSWAGEN (RECOLECTOR)	SM 004166
VOLKSWAGEN (RECOLECTOR)	SM 004168	VOLKSWAGEN (RECOLECTOR)	SM 004168	VOLKSWAGEN (RECOLECTOR)	SM 004168	VOLKSWAGEN (RECOLECTOR)	SM 004168	VOLKSWAGEN (RECOLECTOR)	SM 004168		
VOLKSWAGEN (RECOLECTOR)	SM 004175	VOLKSWAGEN (RECOLECTOR)	SM 004175	VOLKSWAGEN (RECOLECTOR)	SM 004175	VOLKSWAGEN (RECOLECTOR)	SM 004175	VOLKSWAGEN (RECOLECTOR)	SM 004175		

INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 006044	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 006044	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 006044	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 006044	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 006044
INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 006046	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 006046	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 006046	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 006046	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 006046
INTERNAT. (CAMIÓN DE CARGA)	SM 003252	INTERNAT. (CAMIÓN DE CARGA)	SM 003252	INTERNAT. (CAMIÓN DE CARGA)	SM 003252	INTERNAT. (CAMIÓN DE CARGA)	SM 003252	INTERNAT. (CAMIÓN DE CARGA)	SM 003252
TOYOTA (LAND CRUISER)	SM 005675	MACK (VAGONETAS)	SM 005000	Excavadora Komatsu	SM 004941	SCANIA (VAGONETA)	SM 006279	CAMIÓN DE RECICLAJE GRANDE	SM 7181
TOYOTA (LAND CRUISER)	SM 005676	SCANIA (VAGONETA)	SM 006281	TOYOTA (PICK UP)	SM 004955	HONDA (MOTO)	SM 006503		
HONDA (MOTO)	SM 006855	excavadora Komatsu	SM 005095	TANQUETA (CAMIÓN CISTERNA)	SM 7079				
HONDA (MOTO)	SM 003694								
HONDA (MOTO)	SM 003695								
HONDA (MOTO)	SM 003696								

Semana 4

Lunes		Martes		Miércoles		Jueves		Viernes		Sábado	
Vehículo	Placa	Vehículo	Placa	Vehículo	Placa	Vehículo	Placa	Vehículo	Placa	Vehículo	Placa
INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 007375	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 007375	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 007375	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 007375	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 007375	VOLKSWAGEN (RECOLECTOR)	SM 004168
INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 007440	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 007440	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 007440	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 007440	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 007440	VOLKSWAGEN (RECOLECTOR)	SM 004175
INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 003962	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 003962	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 003962	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 003962	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 003962	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 006044
VOLKSWAGEN (RECOLECTOR)	SM 004166	VOLKSWAGEN (RECOLECTOR)	SM 004166	VOLKSWAGEN (RECOLECTOR)	SM 004166	VOLKSWAGEN (RECOLECTOR)	SM 004166	VOLKSWAGEN (RECOLECTOR)	SM 004166	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 006046
VOLKSWAGEN (RECOLECTOR)	SM 004168	VOLKSWAGEN (RECOLECTOR)	SM 004168	VOLKSWAGEN (RECOLECTOR)	SM 004168	VOLKSWAGEN (RECOLECTOR)	SM 004168	VOLKSWAGEN (RECOLECTOR)	SM 004168		
VOLKSWAGEN (RECOLECTOR)	SM 004175	VOLKSWAGEN (RECOLECTOR)	SM 004175	VOLKSWAGEN (RECOLECTOR)	SM 004175	VOLKSWAGEN (RECOLECTOR)	SM 004175	VOLKSWAGEN (RECOLECTOR)	SM 004175		
INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 006044	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 006044	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 006044	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 006044	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 006044		
INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 006046	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 006046	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 006046	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 006046	INTERNAT (RECOLECTOR)	SM 006046		
INTERNAT. (CAMIÓN DE CARGA)	SM 003252	INTERNAT. (CAMIÓN DE CARGA)	SM 003252	INTERNAT. (CAMIÓN DE CARGA)	SM 003252	INTERNAT. (CAMIÓN DE CARGA)	SM 003252	INTERNAT. (CAMIÓN DE CARGA)	SM 003252		
DAIHATSU (CARGA)	SM 005679	SCANIA (VAGONETA)	SM 006282	COMPACTADORA	SM 006842	SCANIA (VAGONETA)	SM 006280	CAMIÓN DE RECICLAJE GRANDE	SM 7182		

LIVIANA- TERIOS)									
MITSUBISHI (CARGA LIVIANA)	SM 006658	SCANIA (VAGONETA)	SM 006283	TOYOTA (PICK UP)	SM 006103	HONDA (MOTO)	SM 004069		
HONDA (MOTO)	SM 003701	BACK NUEVO	SM 006946	TOYOTA (PICK UP)	SM 007722				
HONDA (MOTO)	SM 004112			MITSUBISHI (CARGA LIVIANA PICK UP)	SM 006429				
HONDA (MOTO)	SM 004247			TOYOTA (PICK UP)	SM 003463				
HONDA (MOTO)	SM 003699								

Donde cada color representa a una unidad como se muestra a continuación:

UNIDAD
ADMINISTRACIÓN
GESTIÓN AMBIENTAL
CAMINOS Y CALLES
OFICINA DE LA MUJER
UNIDAD TÉCNICA
DIRECCIÓN TÉCNICA

APÉNDICE 2: RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

Cuadro A.2.1 Resultados de los parámetros medidos in situ

Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6
pH	6,59	7,30	8,21	8,27	8,73	8,05
Temperatura (°C)	29,2	28,3	30,4	29,7	28,2	27,6
Oxígeno Disuelto (mg/L)	5,50	6,13	6,47	6,42	6,24	6,72

**Instituto Tecnológico de Costa Rica
Fundación Tecnológica de Costa Rica
Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos
CEQIATEC
Informe de resultados de análisis**

Código de muestra: 171120	Fecha de reporte: 18/11/2020
----------------------------------	-------------------------------------

Información general	
Interesado: Michelle Montero Marín	Teléfono: no indica
Solicitante: Michelle Montero Marín	Email: michy.01@hotmail.com
Tipo de actividad: Mantenimiento y reparación de vehículos automotores (incluye lavar, reparación de llantas y talleres en general). CIU 4520	
Datos muestras	
Tipo de muestra: agua residual	Fecha recepción: 04/11/2020
Descripción de la muestra: consecutivo 1: Muestra 1	Fecha inicio análisis: 04/11/2020
Datos muestreo	
Tipo de muestreo: puntual, hora de recolección: 12:30 p.m.	Fecha muestreo: 03/11/2020
Muestreado por: el solicitante	
Dirección: provincia: Limón, cantón: Pococí, distrito: Guápiles	

Análisis	Valores Máximos Admisibles (1)	Resultados	Procedimiento
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) *	150	(482 ± 51)	5220-D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) *	50	(228 ± 30)	5210-B
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L) *	50	(848 ± 53)	2540-D
Sólidos Sedimentables (mL/L) *	1	(1,0 ± 0,1)	2540-F
Grasas y Aceites (mg/L) *	30	(28 ± 3)	5520-B
pH a 25 °C **	5 a 9	(6,76 ± 0,04)	4500H ⁻ -B
Sustancias activas al Azul de Metileno (mg/L) **	5	(0,20 ± 0,03)	PT-QU-24
Nitrógeno Total (mg/L) **	50	(17 ± 1)	PT-QU-33
Fosforo (mg/L) **	NA	(3,5 ± 0,5)	4500-P-C
Coliformes fecales (NMP/100 mL) *	< 1000 NMP/100 mL en los primeros 15 d si no se evita pastoreo.	921	9221 E

Observaciones

(*) Ensayos acreditados ante Ente Costarricense de Acreditación (ECA). Ver alcance en www.eca.or.cr

(**) Ensayos no acreditados.

NA: No aplica

ND: No detectable

(1) Valores reportados en el Reglamento de sobre vertido y reuso de aguas residuales. Decreto Ejecutivo No. 33601-MINAE-S del 19 de marzo del año 2007, según (Tabla # 4 Límites máximos permisibles para aguas residuales vertidas en un cuerpo receptor y tabla # 5 Límites máximos permisibles para los parámetros obligatorios complementarios de Aguas Residuales vertidas en un cuerpo receptor). Sitio de disposición final: infiltración a río

La incertidumbre que se reporta es una incertidumbre expandida, calculada usando un factor de cobertura (k) de 2, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente un 95%.

Los resultados emitidos en este reporte sólo son válidos para la muestra tomada en el día y hora indicada en la parte superior.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del laboratorio.

La muestra no cumple con los parámetros de demanda química y bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos según el decreto # 33601-MINAE-S, tomando como regla de decisión el promedio de aceptación simple.

El análisis de pH excede el tiempo de análisis establecido según la metodología utilizada.

Muestreo fuera del alcance de acreditación, realizado por el cliente. Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

Permiso sanitario de funcionamiento del CEQIATEC: No. 2750-2018 emitido el 08-08-2018 vence 08-08-2023.

Los análisis fueron realizados en las instalaciones del CEQIATEC

Metodología: Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QU), basados en la 23^{ra} edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, 2017.

Las Muestras a que se refiere este reporte se mantendrán en custodia por 15 días naturales luego de la emisión de este informe. Concluido este periodo se desecharán.

DIANA
ROBLES
CHAVES
(FIRMA)

Firmado digitalmente por
DIANA ROBLES
CHAVES (FIRMA)
Fecha: 2020.11.18
10:28:21 -06'00'



**Dra. Andrea Quesada González – código 1697
Regente Microbiología**

**Lic. Diana Robles Chaves
Regente Química**

**Instituto Tecnológico de Costa Rica
Fundación Tecnológica de Costa Rica
Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos
CEQIATEC
Informe de resultados de análisis**

Código de muestra: 171120	Fecha de reporte: 18/11/2020
----------------------------------	-------------------------------------

Información general	
Interesado: Michelle Montero Marín	Teléfono: no indica
Solicitante: Michelle Montero Marín	Email: michy.01@hotmail.com
Tipo de actividad: Mantenimiento y reparación de vehículos automotores (incluye lavacar, reparación de llantas y talleres en general). CIU 4520	
Datos muestras	
Tipo de muestra: agua residual	Fecha recepción: 04/11/2020
Descripción de la muestra: consecutivo 2: Muestra 2	Fecha inicio análisis: 04/11/2020
Datos muestreo	
Tipo de muestreo: puntual, hora de recolección: 1:20 p. m.	Fecha muestreo: 03/11/2020
Muestreado por: el solicitante	
Dirección: provincia: Limón, cantón: Pococí, distrito: Guápiles.	

Análisis	Valores Máximos Admisibles (1)	Resultados	Procedimiento
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) *	150	(926 ± 45)	5220-D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) *	50	(267 ± 35)	5210-B
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L) *	50	(997 ± 62)	2540-D
Sólidos Sedimentables (mL/L) *	1	(0,8 ± 0,1)	2540-F
Grasas y Aceites (mg/L) *	30	(48 ± 5)	5520-B
pH a 25 °C **	5 a 9	(7,16 ± 0,04)	4500H ⁻ -B
Sustancias activas al Azul de Metileno (mg/L) **	5	(0,35 ± 0,03)	PT-QU-24
Nitrógeno Total (mg/L) **	50	(19 ± 1)	PT-QU-33
Fosforo (mg/L) **	NA	(2,9 ± 0,4)	4500-P-C
Coliformes fecales (NMP/100 mL) *	<1000 NMP/100 mL en los primeros 15 d si no se evita pastoreo.	517	9221 E

Observaciones

(*) Ensayos acreditados ante Ente Costarricense de Acreditación (ECA). Ver alcance en www.eca.or.cr

(**) Ensayos no acreditados.

ND: No detectable

NA: No aplica

(1) Valores reportados en el Reglamento de sobre vertido y reuso de aguas residuales. Decreto Ejecutivo No. 33601-MINAE-S del 19 de marzo del año 2007, según (Tabla # 4 Límites máximos permisibles para aguas residuales vertidas en un cuerpo receptor y tabla # 5 Límites máximos permisibles para los parámetros obligatorios complementarios de Aguas Residuales vertidas en un cuerpo receptor). Sitio de disposición final: infiltración a río

La incertidumbre que se reporta es una incertidumbre expandida, calculada usando un factor de cobertura (k) de 2, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente un 95%.

Los resultados emitidos en este reporte sólo son válidos para la muestra tomada en el día y hora indicada en la parte superior.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del laboratorio.

La muestra no cumple con los parámetros de demanda química y bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos, grasas y aceites, según el decreto # 33601-MINAE-S, tomando como regla de decisión el promedio de aceptación simple.

El análisis de pH excede el tiempo de análisis establecido según la metodología utilizada.

Muestreo fuera del alcance de acreditación, realizado por el cliente. Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

Permiso sanitario de funcionamiento del CEQIATEC: No. 2750-2018 emitido el 08-08-2018 vence 08-08-2023.

Los análisis fueron realizados en las instalaciones del CEQIATEC

Metodología: Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QU), basados en la 23^{ra} edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, 2017

Las Muestras a que se refiere este reporte se mantendrán en custodia por 15 días naturales luego de la emisión de este informe. Concluido este periodo se desearán.

ANDREA QUESADA GONZALEZ (FIRMA) Firmado digitalmente por ANDREA QUESADA GONZALEZ (FIRMA)
Dra. Andrea Quesada González – código 1697
Regente Microbiología

DIANA ROBLES CHAVES (FIRMA) Firmado digitalmente por DIANA ROBLES CHAVES (FIRMA) Fecha: 2020.11.18 10:28:37 -0600
Lic. Diana Robles Chaves
Regente Química



Instituto Tecnológico de Costa Rica
Fundación Tecnológica de Costa Rica
Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos
CEQIATEC
Informe de resultados de análisis

Código de muestra: 1051120	Fecha de reporte: 23-11-2020
-----------------------------------	-------------------------------------

Información general	
Interesado: Michelle Montero Marín	Teléfono: no indica
Solicitante: Michelle Montero Marín	Email: michy.01@hotmail.com
Tipo de actividad: Mantenimiento y reparación de vehículos automotores (incluye lavar, reparación de llantas y talleres en general). CIU 4520	
Datos muestras	
Tipo de muestra: agua residual	Fecha recepción: 11/11/2020
Descripción de la muestra: consecutivo 1: Muestra 3	Fecha inicio análisis: 11/11/2020
Datos muestreo	
Tipo de muestreo: puntual, hora de recolección: 12:20 p.m.	Fecha muestreo: 10/11/2020
Muestreado por: el solicitante	
Dirección: provincia: Limón, cantón: Pococí, distrito: Guápiles	

Análisis	Valores Máximos Admisibles (1)	Resultados	Procedimiento
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) *	150	(166 ± 8)	5220-D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) *	50	(56 ± 7)	5210-B
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L) *	50	(146 ± 9)	2540-D
Sólidos Sedimentables (mL/L) *	1	< 0,2	2540-F
Grasas y Aceites (mg/L) *	30	(19 ± 2)	5520-B
pH a 25 °C **	5 a 9	(8,53 ± 0,04)	4500H ⁻ -B
Sustancias activas al Azul de Metileno (mg/L) **	5	(0,60 ± 0,03)	PT-QU-24
Nitrógeno Total (mg/L) **	50	< 0,5	PT-QU-33
Fosforo (mg/L) **	NA	(0,36 ± 0,06)	4500-P-C
Coliformes fecales (NMP/100 mL) *	<1000 NMP/100 mL en los primeros 15 d si no se evita pastoreo.	>1,6 x 10 ³	9221 E

Observaciones

(*) Ensayos acreditados ante Ente Costarricense de Acreditación (ECA). Ver alcance en www.eca.or.cr

(**) Ensayos no acreditados.

NA: No aplica

ND: No detectable

(1) Valores reportados en el Reglamento de sobre vertido y reuso de aguas residuales. Decreto Ejecutivo No. 33601-MINAE-S del 19 de marzo del año 2007, según (Tabla # 4 Límites máximos permisibles para aguas residuales vertidas en un cuerpo receptor y tabla # 5 Límites máximos permisibles para los parámetros obligatorios complementarios de Aguas Residuales vertidas en un cuerpo receptor). Sitio de disposición final: infiltración a río
La incertidumbre que se reporta es una incertidumbre expandida, calculada usando un factor de cobertura (k) de 2, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente un 95%.

Los resultados emitidos en este reporte sólo son válidos para la muestra tomada en el día y hora indicada en la parte superior.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del laboratorio.

El análisis de pH excede el tiempo de análisis establecido según la metodología utilizada.

La muestra no cumple con los parámetros de demanda química y bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos totales, según el decreto # 33601-MINAE-S, tomando como regla de decisión el promedio de aceptación simple. Cumple con los otros parámetros analizados.

Muestreo fuera del alcance de acreditación, realizado por el cliente. Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

Permiso sanitario de funcionamiento del CEQIATEC: No. 2750-2018 emitido el 08-08-2018 vence 08-08-2023.

Los análisis fueron realizados en las instalaciones del CEQIATEC

Metodología: Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QU), basados en la 23^{ra} edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, 2017.

Las Muestras a que se refiere este reporte se mantendrán en custodia por 15 días naturales luego de la emisión de este informe. Concluido este periodo se desecharán.

ANDREA QUESADA
GONZALEZ
Dra. Andrea Quesada González – código 1697
Regente Microbiología

Firmado digitalmente
por ANDREA
QUESADA GONZALEZ

DIANA ROBLES
CHAVES
(FIRMA)
Lic. Diana Robles Chaves
Regente Química



**Instituto Tecnológico de Costa Rica
Fundación Tecnológica de Costa Rica
Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos
CEQIATEC**

Informe de resultados de análisis

Código de muestra: 1051120	Fecha de reporte: 23-11-2020
-----------------------------------	-------------------------------------

Información general	
Interesado: Michelle Montero Marín	Teléfono: no indica
Solicitante: Michelle Montero Marín	Email: michy.01@hotmail.com
Tipo de actividad: Mantenimiento y reparación de vehículos automotores (incluye lavar, reparación de llantas y talleres en general). CIIU 4520	
Datos muestras	
Tipo de muestra: agua residual	Fecha recepción: 11/11/2020
Descripción de la muestra: consecutivo 2: Muestra 4	Fecha inicio análisis: 11/11/2020
Datos muestreo	
Tipo de muestreo: puntual, hora de recolección: 12:35 p. m.	Fecha muestreo: 10/11/2020
Muestreado por: el solicitante	
Dirección: provincia: Limón, cantón: Pococí, distrito: Guápiles.	

Análisis	Valores Máximos Admisibles (1)	Resultados	Procedimiento
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) *	150	(215 ± 10)	5220-D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) *	50	(92 ± 12)	5210-B
Sólidos Suspendedos Totales (mg/L) *	50	(166 ± 10)	2540-D
Sólidos Sedimentables (mL/L) *	1	< 0,2	2540-F
Grasas y Aceites (mg/L) *	30	(23 ± 2)	5520-B
pH a 25 °C **	5 a 9	(8,14 ± 0,04)	4500H-B
Sustancias activas al Azul de Metileno (mg/L) **	5	(0,60 ± 0,03)	PT-QU-24
Nitrógeno Total (mg/L) **	50	< 0,5	PT-QU-33
Fosforo (mg/L) **	NA	(0,43 ± 0,07)	4500-P-C
Coliformes fecales (NMP/100 mL) *	<1000 NMP/100 mL en los primeros 15 d si no se evita pastoreo.	1,0 x 10 ²	9221 E

Observaciones

(*) Ensayos acreditados ante Ente Costarricense de Acreditación (ECA). Ver alcance en www.eca.or.cr

(**) Ensayos no acreditados.

NA: No aplica

ND: No detectable

(1) Valores reportados en el Reglamento de sobre vertido y reuso de aguas residuales. Decreto Ejecutivo No. 33601-MINAE-S del 19 de marzo del año 2007, según (Tabla # 4 Límites máximos permisibles para aguas residuales vertidas en un cuerpo receptor y tabla # 5 Límites máximos permisibles para los parámetros obligatorios complementarios de Aguas Residuales vertidas en un cuerpo receptor). Sitio de disposición final: infiltración a río

La incertidumbre que se reporta es una incertidumbre expandida, calculada usando un factor de cobertura (k) de 2, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente un 95%.

Los resultados emitidos en este reporte sólo son válidos para la muestra tomada en el día y hora indicada en la parte superior.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del laboratorio.

El análisis de pH excede el tiempo de análisis establecido según la metodología utilizada.

La muestra no cumple con los parámetros de demanda química y bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos totales, según el decreto # 33601-MINAE-S, tomando como regla de decisión el promedio de aceptación simple. Cumple con los otros parámetros analizados.

Muestreo fuera del alcance de acreditación, realizado por el cliente. Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

Permiso sanitario de funcionamiento del CEQIATEC: No. 2750-2018 emitido el 08-08-2018 vence 08-08-2023.

Los análisis fueron realizados en las instalaciones del CEQIATEC

Metodología: Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QU), basados en la 23^{ra} edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, 2017

Las Muestras a que se refiere este reporte se mantendrán en custodia por 15 días naturales luego de la emisión de este informe. Concluido este periodo se desecharán.

ANDREA QUESADA GONZALEZ
Firmado digitalmente por ANDREA QUESADA GONZALEZ
Dra. Andrea Quesada González – código 1697
Regente Microbiología

DIANA ROBLES CHAVES
Firmado digitalmente por DIANA ROBLES CHAVES (FIRMA)
(FIRMA)
Lic. Diana Robles Chaves
Regente Química



**Instituto Tecnológico de Costa Rica
Fundación Tecnológica de Costa Rica
Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos
CEQIATEC**

Informe de resultados de análisis

Código de muestra: 2441120	Fecha de reporte: 08-12-2020
-----------------------------------	-------------------------------------

Información general	
Interesado: Michelle Montero Marín	Teléfono: no indica
Solicitante: Michelle Montero Marín	Email: michy.01@hotmail.com
Tipo de actividad: Mantenimiento y reparación de vehículos automotores (incluye lavacar, reparación de llantas y talleres en general). CIU 4520	
Datos muestras	
Tipo de muestra: agua residual	Fecha recepción: 25/11/2020
Descripción de la muestra: consecutivo 1: Muestra 5	Fecha inicio análisis: 25/11/2020
Datos muestreo	
Tipo de muestreo: puntual, hora de recolección: 1:00 p.m.	Fecha muestreo: 24/11/2020
Muestreado por: el solicitante	
Dirección: provincia: Limón, cantón: Pococí, distrito: Guápiles	

Análisis	Valores Máximos Admisibles (1)	Resultados	Procedimiento
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) *	150	(606 ± 54)	5220-D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) *	50	(43 ± 6)	5210-B
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L) *	50	(790 ± 49)	2540-D
Sólidos Sedimentables (mL/L) *	1	< 0,2	2540-F
Grasas y Aceites (mg/L) *	30	(66 ± 7)	5520-B
pH a 25 °C **	5 a 9	(8,42 ± 0,04)	4500H ⁻ -B
Sustancias activas al Azul de Metileno (mg/L) **	5	(0,15 ± 0,03)	PT-QU-24
Nitrógeno Total (mg/L) **	50	(3 ± 1)	PT-QU-33
Fosforo (mg/L) **	NA	(3,5 ± 0,5)	4500-P-C
Coliformes fecales (NMP/100 mL) *	<1000 NMP/100 mL en los primeros 15 d si no se evita pastoreo.	>1,6 x 10 ³	9221 E

Observaciones

(*) Ensayos acreditados ante Ente Costarricense de Acreditación (ECA). Ver alcance en www.eca.or.cr

(**) Ensayos no acreditados.

NA: No aplica

ND: No detectable

(1) Valores reportados en el Reglamento de sobre vertido y reuso de aguas residuales. Decreto Ejecutivo No. 33601-MINAE-S del 19 de marzo del año 2007, según (Tabla # 4 Límites máximos permisibles para aguas residuales vertidas en un cuerpo receptor y tabla # 5 Límites máximos permisibles para los parámetros obligatorios complementarios de Aguas Residuales vertidas en un cuerpo receptor). Sitio de disposición final: infiltración a río
La incertidumbre que se reporta es una incertidumbre expandida, calculada usando un factor de cobertura (k) de 2, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente un 95%.

Los resultados emitidos en este reporte sólo son válidos para la muestra tomada en el día y hora indicada en la parte superior.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del laboratorio.

El análisis de pH excede el tiempo de análisis establecido según la metodología utilizada.

La muestra no cumple con los parámetros de demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos totales y grasas y aceites, según el decreto # 33601-MINAE-S, tomando como regla de decisión el promedio de aceptación simple. Cumple con los otros parámetros analizados.

Muestreo fuera del alcance de acreditación, realizado por el cliente. Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

Permiso sanitario de funcionamiento del CEQIATEC: No. 2750-2018 emitido el 08-08-2018 vence 08-08-2023.

Los análisis fueron realizados en las instalaciones del CEQIATEC.

Metodología: Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QU), basados en la 23^{ra} edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, 2017.

Las Muestras a que se refiere este reporte se mantendrán en custodia por 15 días naturales luego de la emisión de este informe. Concluido este periodo se desecharán.

DIANA ROBLES
CHAVES (FIRMA)

Firmado digitalmente
por DIANA ROBLES
CHAVES (FIRMA)
Fecha: 2020.12.08
09:47:26 -06'00'



Dra. Andrea Quesada González – código 1697
Regente Microbiología

Lic. Diana Robles Chaves
Regente Química

**Instituto Tecnológico de Costa Rica
Fundación Tecnológica de Costa Rica
Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos
CEQIATEC
Informe de resultados de análisis**

Código de muestra: 2441120	Fecha de reporte: 08-12-2020
-----------------------------------	-------------------------------------

Información general	
Interesado: Michelle Montero Marín	Teléfono: no indica
Solicitante: Michelle Montero Marín	Email: michy.01@hotmail.com
Tipo de actividad: Mantenimiento y reparación de vehículos automotores (incluye lavar, reparación de llantas y talleres en general). CIU 4520	
Datos muestras	
Tipo de muestra: agua residual	Fecha recepción: 25/11/2020
Descripción de la muestra: consecutivo 2: Muestra 6	Fecha inicio análisis: 25/11/2020
Datos muestreo	
Tipo de muestreo: puntual, hora de recolección: 1:35 p. m.	Fecha muestreo: 25/11/2020
Muestreado por: el solicitante	
Dirección: provincia: Limón, cantón: Pococí, distrito: Guápiles.	

Análisis	Valores Máximos Admisibles (1)	Resultados	Procedimiento
Demanda Química de Oxígeno (mg/L) *	150	(792 ± 59)	5220-D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) *	50	(212 ± 28)	5210-B
Sólidos Suspendedos Totales (mg/L) *	50	(1 280 ± 80)	2540-D
Sólidos Sedimentables (mL/L) *	1	< 0,2	2540-F
Grasas y Aceites (mg/L) *	30	(46 ± 5)	5520-B
pH a 25 °C **	5 a 9	(8,18 ± 0,04)	4500H ⁻ -B
Sustancias activas al Azul de Metileno (mg/L) **	5	< 0,1	PT-QU-24
Nitrógeno Total (mg/L) **	50	(28 ± 7)	PT-QU-33
Fosforo (mg/L) **	NA	(5,5 ± 0,8)	4500-P-C
Coliformes fecales (NMP/100 mL) *	<1000 NMP/100 mL en los primeros 15 d si no se evita pastoreo.	>1,6 x 10 ³	9221 E

Observaciones

(*) Ensayos acreditados ante Ente Costarricense de Acreditación (ECA). Ver alcance en www.eca.or.cr

(**) Ensayos no acreditados.

NA: No aplica

ND: No detectable

(1) Valores reportados en el Reglamento de sobre vertido y reuso de aguas residuales. Decreto Ejecutivo No. 33601-MINAE-S del 19 de marzo del año 2007, según (Tabla # 4 Límites máximos permisibles para aguas residuales vertidas en un cuerpo receptor y tabla # 5 Límites máximos permisibles para los parámetros obligatorios complementarios de Aguas Residuales vertidas en un cuerpo receptor). Sitio de disposición final: infiltración a río

La incertidumbre que se reporta es una incertidumbre expandida, calculada usando un factor de cobertura (k) de 2, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente un 95%.

Los resultados emitidos en este reporte sólo son válidos para la muestra tomada en el día y hora indicada en la parte superior.

Se prohíbe la reproducción de este documento en forma total o parcial sin la autorización del laboratorio.

El análisis de pH excede el tiempo de análisis establecido según la metodología utilizada.

La muestra no cumple con los parámetros de demanda química y bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos totales y grasas y aceites, según el decreto # 33601-MINAE-S, tomando como regla de decisión el promedio de aceptación simple. Cumple con los otros parámetros analizados.

Muestreo fuera del alcance de acreditación, realizado por el cliente. Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

Permiso sanitario de funcionamiento del CEQIATEC: No. 2750-2018 emitido el 08-08-2018 vence 08-08-2023.

Los análisis fueron realizados en las instalaciones del CEQIATEC

Metodología: Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QU), basados en la 23^{ra} edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, 2017

Las Muestras a que se refiere este reporte se mantendrán en custodia por 15 días naturales luego de la emisión de este informe. Concluido este periodo se desecharán.

ANDREA QUESADA
GONZALEZ
Dra. Andrea Quesada González – código 1697
Regente Microbiología

Firmado digitalmente
por ANDREA
QUESADA GONZALEZ

DIANA
ROBLES
CHAVES
(FIRMA)
Lic. Diana Robles Chaves
Regente Química

Firmado digitalmente por DIANA
ROBLES CHAVES (FIRMA)
Fecha: 2020.12.08 09:47:44 -0600'



APÉNDICE 3: MEMORIA DE CÁLCULO

- **Diseño de la canaleta**

Teniendo:

- Caudal de diseño: 0,041 L/s= 0,000041 m³/s
- Pendiente: 8%
- Rugosidad de Manning: 0,013
- Ancho del canal: 0,3 m

a) Tirante de agua

Para el cálculo del tirante de agua se utiliza la siguiente ecuación que es para canales rectangulares o trapezoidales de flujo normal:

$$\frac{AR^{\frac{2}{3}}}{b^{\frac{8}{3}}} = \frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}} * b^{\frac{8}{3}}}$$
$$\frac{AR^{\frac{2}{3}}}{b^{\frac{8}{3}}} = \frac{0,000041 \text{ m}^3/\text{s} * 0,013}{0,08^{\frac{1}{2}} * 0,3 \text{ m}^{\frac{8}{3}}}$$
$$\frac{AR^{\frac{2}{3}}}{b^{\frac{8}{3}}} = 0,000047$$

Con el valor anterior se busca el valor de y/b en la tabla A.2.1 con un z=0

$$\frac{y}{b} = 0,0025$$
$$y = 0,000754618 \text{ m}$$

b) Área sección trapezoidal

$$A = b * y$$
$$A = 0,3 \text{ m} * 0,000754618 \text{ m}$$
$$A = 0,000226 \text{ m}^2$$

c) Perímetro mojado

$$P = b * 2y$$
$$P = 0,3 \text{ m} + 2 * 0,000754618 \text{ m}$$
$$P = 0,302 \text{ m}$$

d) Radio hidráulico

$$Rh = \frac{b * y}{b + 2y}$$
$$Rh = \frac{0,3 \text{ m} * 0,000754618 \text{ m}}{0,3 \text{ m} + 2 * 0,000754618 \text{ m}}$$
$$Rh = 0,00075 \text{ m}$$

e) Espejo de agua

$$T = b$$
$$T = 0,3 \text{ m}$$

f) Velocidad

$$v = \frac{Q}{A}$$
$$v = \frac{0,000041 \text{ m}^3/\text{s}}{0,000226 \text{ m}^2}$$
$$v = 0,180 \text{ m/s}$$

g) Caudal de Manning

$$Qm = \frac{1}{n} * \left(\frac{b * y}{b + 2y}\right)^{\frac{2}{3}} * (by) * S^{\frac{1}{2}}$$
$$Qm = \frac{1}{0,013} * \left(\frac{0,3 \text{ m} * 0,000754 \text{ m}}{0,3 \text{ m} + 2 * 0,000754 \text{ m}}\right)^{\frac{2}{3}} * (0,3 \text{ m} * 0,000754 \text{ m}) * 0,08^{\frac{1}{2}}$$
$$Qm = 0,00041 \text{ m}^3/\text{s}$$

h) Número de Froude

$$F = \frac{v}{\sqrt{g * \frac{A}{T}}}$$
$$F = \frac{0,180 \text{ m/s}}{\sqrt{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * \frac{0,000226 \text{ m}^2}{0,3 \text{ m}}}}$$
$$F = 2,0189$$

Como $F > 1$ se determina el tipo de flujo como flujo supercrítico.

i) Energía

$$E = y + \frac{v}{2 * g}$$

$$E = 0,000754 \text{ m} + \frac{0,180 \text{ m/s}}{2 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$E = 0,0024 \frac{\text{m} * \text{Kg}}{\text{Kg}}$$

j) Fuerza tractiva

$$Ft = Rh * S * \rho$$

$$Ft = 0,00075 \text{ m} * 8\% * 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$Ft = 6,01 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

• **Diseño de tubería de canal a pretratamiento:**

Teniendo:

- Caudal de diseño: 0,041 L/s = 0,000041 m³/s
- Pendiente: 4%
- Tubería de 4" con un diámetro interno de 108,7 mm lo que equivale a 0,1087 m.
- Rugosidad de Manning=0,01(PVC)

a) Velocidad de tubo lleno

$$v = \frac{0,397}{n} * D^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

$$v = \frac{0,397}{0,01} * 0,1087 \text{ m}^{\frac{2}{3}} * 0,04^{\frac{1}{2}}$$

$$v = 1,8078 \text{ m/s}$$

b) Y crítico

Para el cálculo del tirante de agua se utiliza la siguiente ecuación que es para canales circulares:

$$\frac{A^{\frac{3}{2}}}{T^{\frac{1}{2}} D^{\frac{2}{5}}} = \frac{Q}{\sqrt{g} * D^{\frac{2}{5}}}$$

$$\frac{A^{\frac{3}{2}}}{T^{\frac{1}{2}}D^{\frac{2}{5}}} = \frac{0,000041 \text{ m}^3/\text{s}}{\sqrt{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,1087^{\frac{2}{5}}}}$$

$$\frac{A^{\frac{3}{2}}}{T^{\frac{1}{2}}D^{\frac{2}{5}}} = 0,000032$$

Con el valor anterior se busca el valor de y/D en la tabla A.2.2.

$$\frac{y}{D} = 0,055$$

$$Y_c = 0,006 \text{ m}$$

c) Y normal

Para el cálculo del tirante de agua se utiliza la siguiente ecuación que es para canales circulares:

$$\frac{AR^{\frac{2}{3}}}{D^{\frac{8}{3}}} = \frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}} * D^{\frac{8}{3}}}$$

$$\frac{AR^{\frac{2}{3}}}{D^{\frac{8}{3}}} = \frac{0,000041 \text{ m}^3/\text{s} * 0,01}{0,04^{\frac{1}{2}} * 0,1087 \text{ m}^{\frac{8}{3}}}$$

$$\frac{AR^{\frac{2}{3}}}{b^{\frac{8}{3}}} = 0,00076$$

Con el valor anterior se busca el valor de y/D en la tabla A.2.2.

$$\frac{y}{D} = 0,035$$

$$Y_n = 0,0039 \text{ m}$$

Por otra parte Y_n y Y_c debe ser menor al 0,75 el diámetro nominal de la tubería

$$0,75D = 0,75 * 0,1087 \text{ m}$$

$$0,75D = 0,0815 \text{ m}$$

Con lo anterior podemos ver que si cumple con el requisito.

d) Velocidad de Diseño

De la tabla A.2.2 se extrae la siguiente información para $y/D=0,035$ se tiene que:

$$\frac{A}{D^2} = 0,008705$$

Multiplicando lo anterior por D^2 se tiene que:

$$A = 0,0001029 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$v = \frac{0,000041 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0001029 \text{ m}^2}$$

$$v = 0,38 \text{ m/s}$$

e) Fuerza tractiva mínima

De la tabla A.2.2 se extrae la siguiente información para $y/D=0,035$ se tiene que:

$$\frac{Rh}{D} = 0,022945$$

Multiplicando lo anterior por D se tiene que:

$$Rh = 0,00249 \text{ m}$$

$$Ft = Rh * S * \rho$$

$$Ft = 0,00249 \text{ m} * 4\% * 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$Ft = 0,104 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

f) Régimen de flujo

De la tabla A.2.2 se extrae la siguiente información para $y/D=0,035$ se tiene que:

$$\frac{T}{D} = 0,366545$$

Multiplicando lo anterior por D se tiene que:

$$T = 0,0398 \text{ m}$$

$$F = \frac{v}{\sqrt{g * \frac{A}{T}}}$$

$$F = \frac{0,38 \text{ m/s}}{\sqrt{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * \frac{0,0001029 \text{ m}^2}{0,0398 \text{ m}}}}$$

$$F = 2,39$$

Como $F > 1$ se determina el tipo de flujo como flujo supercrítico.

- **Diseño de la biojardinera**

Teniendo:

- Temperatura: 25°C
- Concentración de influente: 149,7 mg/L
- Concentración de salida= 30 mg/L
- Caudal de diseño: 3,52 m³/día
- Porosidad= 38%
- Profundidad=0,7 m

a. Constante de degradación de DBO corregida

$$K_t = K_{20} \times \theta^{(T-20)}$$

$$K_t = 1,104 \times 1,06^{(25-20)}$$

$$K_t = 1,48 \text{ días}^{-1}$$

b. Tiempo de retención hidráulico

$$TRH = \frac{-\ln\left(\frac{C_e}{C_o}\right)}{K_t}$$

$$TRH = \frac{-\ln\left(\frac{30}{149,7}\right)}{1,48}$$

$$TRH = 1,09 \text{ días}$$

c. Área superficial

$$As = L \times W = \frac{\ln\left(\frac{C_o}{C_e}\right) \times Q}{K_t \times N \times d}$$

$$As = \frac{\ln\left(\frac{149,7}{30}\right) \times 3,52}{1,09 \times 38\% \times 0,7}$$

$$As = 14,38 \text{ m}^2$$

d. Ancho de la biojardinera

$$As = L \times W$$

Teniendo una relación de largo: ancho de 3 se tiene que:

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

$$W = \sqrt{\frac{13,52}{3}}$$

$$W = 2,2 \text{ m}$$

e. Largo de la biojardinera

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

$$L = \frac{13,52}{2,12}$$

$$L = 6,6 \text{ m}$$

- **Diseño de tubería pluvial de tanque de captación a tanque de captación**

Teniendo:

- Caudal de diseño: 0,041 L/s = 0,000041 m³/s
- Pendiente: 6,230%
- Tubería de 4" con un diámetro interno de 108,7 mm lo que equivale a 0,1087 m.
- Rugosidad de Manning=0,01(PVC)

g) Velocidad de tubo lleno

$$v = \frac{0,397}{n} * D^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

$$v = \frac{0,397}{0,01} * 0,1087 \text{ m}^{\frac{2}{3}} * 0,0623^{\frac{1}{2}}$$

$$v = 2,2561 \text{ m/s}$$

h) Y crítico

Para el cálculo del tirante de agua se utiliza la siguiente ecuación que es para canales circulares:

$$\frac{A^{\frac{3}{2}}}{T^{\frac{1}{2}} D^{\frac{5}{2}}} = \frac{Q}{\sqrt{g} * D^{\frac{5}{2}}}$$

$$\frac{A^{\frac{3}{2}}}{T^{\frac{1}{2}}D^{\frac{2}{5}}} = \frac{0,000041 \text{ m}^3/\text{s}}{\sqrt{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,1087^{\frac{2}{5}}}}$$

$$\frac{A^{\frac{3}{2}}}{T^{\frac{1}{2}}D^{\frac{2}{5}}} = 0,000032$$

Con el valor anterior se busca el valor de y/D de la tabla A.2.2.

$$\frac{y}{D} = 0,055$$

$$Y_c = 0,006 \text{ m}$$

i) Y normal

Para el cálculo del tirante de agua se utiliza la siguiente ecuación que es para canales circulares:

$$\frac{AR^{\frac{2}{3}}}{D^{\frac{8}{3}}} = \frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}} * D^{\frac{8}{3}}}$$

$$\frac{AR^{\frac{2}{3}}}{D^{\frac{8}{3}}} = \frac{0,000041 \text{ m}^3/\text{s} * 0,01}{0,0623^{\frac{1}{2}} * 0,1087^{\frac{8}{3}}}$$

$$\frac{AR^{\frac{2}{3}}}{D^{\frac{8}{3}}} = 0,00061$$

Con el valor anterior se busca el valor de y/D en la tabla A.2.2

$$\frac{y}{D} = 0,033$$

$$Y_n = 0,0036 \text{ m}$$

Por otra parte Y_n y Y_c debe ser menor al 0,75 el diámetro nominal de la tubería

$$0,75D = 0,75 * 0,1087 \text{ m}$$

$$0,75D = 0,0815 \text{ m}$$

Con lo anterior podemos ver que si cumple con el requisito.

j) Velocidad de diseño

De la tabla A.2.2 se extrae la siguiente información para $y/D=0,033$ se tiene que:

$$\frac{A}{D^2} = 0,007557$$

Multiplicando lo anterior por D^2 se tiene que:

$$A = 0,000089 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$v = \frac{0,000041 \text{ m}^3/\text{s}}{0,000089 \text{ m}^2}$$

$$v = 0,44 \text{ m/s}$$

k) Fuerza tractiva mínima

De la tabla A.2.2 se extrae la siguiente información para $y/D=0,033$ se tiene que:

$$\frac{Rh}{D} = 0,021692$$

Multiplicando lo anterior por D se tiene que:

$$Rh = 0,00236 \text{ m}$$

$$Ft = Rh * S * \rho$$

$$Ft = 0,00236 \text{ m} * 6,23\% * 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$Ft = 0,146 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

l) Régimen de flujo

De la tabla A.2.2 se extrae la siguiente información para $y/D=0,033$ se tiene que:

$$\frac{T}{D} = 0,375287$$

Multiplicando lo anterior por D se tiene que:

$$T = 0,04079 \text{ m}$$







$$F = \frac{v}{\sqrt{g * \frac{A}{T}}}$$

$$F = \frac{0,44 \text{ m/s}}{\sqrt{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * \frac{0,000089 \text{ m}^2}{0,04079 \text{ m}}}}$$

$$F = 3,00$$

Como $F > 1$ se determina el tipo de flujo como flujo supercrítico.

APÉNDICE 4: PLANTAS UTILIZADAS EN LAS BIOJARDINERAS

Familia	Especie	Nombre	Imagen	Familia	Especie	Nombre	Imagen
Araceaea	Zantedeschia aethiopica	Cala		Heliconiaceae	Heliconia psittacorum	Avecilla	
Cannaceae	Canna indica	Platanilla		Heliconiaceae	Heliconia rostrata	Platanillo	
Cannaceae	Canna X generalis	Platanilla, bandera española		Musaceae	Musa coccinea	Antorcha	

Cannaceae Costus
speciosus Caña agria



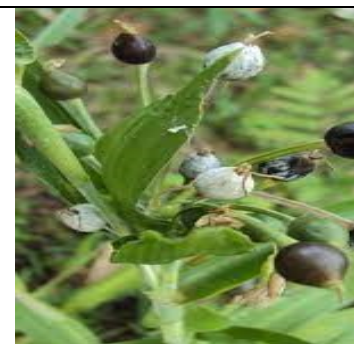
Musaceae Musa
laterita Banano de
bronce



Cannaceae Costus scaber Caña agria



Poacea Coix
lacrymajobi Lágrimas
de San
Pedro







Cyperaceae Cyperus
involucratus Papiro



Zingiberaceae Alpinia
purpurata Ginger



Cyperaceae	Cyperus papyrus	Papiro		Zingiberaceae	Alpinia zerumbet	Collar de la reina, lágrimas de San Juan	
Heliconiaceae	Heliconia latisphata	Platanillo		Zingiberaceae	Hedychium coronarium	Lirio blanco	

Fuente: (Marín, 2010)

