



“Diseño de tratamiento aerobio e instalación de planta piloto para la gestión ambiental de las aguas residuales domésticas para uso agrícola en el barrio forastero, Latacunga”

Villacís Heredia, Carla Betsabé

Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

Centro de Posgrados

Maestría en Sistemas de Gestión Ambiental

Trabajo de titulación previo a obtener el título de Magister en Sistemas de Gestión Ambiental

Ph. D. Carrera Villacrés, David Vinicio

23 de agosto de 2022



Tesis_Carla Villacís_Completo.docx

Scanned on: 15:14 April 27, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	698
Words with Minor Changes	127
Paraphrased Words	304
Omitted Words	0



Website | Education | Businesses

Firma:

.....
Ph. D. Carrera Villacrés, David Vinicio
Director
C.C.: 1712218518



Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

Centro de Posgrados

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación, **“Diseño de tratamiento aerobio e instalación de planta piloto para la gestión ambiental de las aguas residuales domésticas para uso agrícola en el barrio forastero, Latacunga”** fue realizado por la señora **Villacís Heredia, Carla Betsabé**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 23 de agosto de 2022

Firma:

.....
Ph. D. Carrera Villacrés, David Vinicio
Director
C.C.: 1712218518



Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

Centro de Posgrados

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Villacís Heredia, Carla Betsabé**, con cédula de ciudadanía N° 0502000367, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Diseño de tratamiento aerobio e instalación de planta piloto para la gestión ambiental de las aguas residuales domésticas para uso agrícola en el barrio forastero, Latacunga”** es de mí autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 23 de agosto de 2022

Firma:

.....
Villacís Heredia, Carla Betsabé
C.C.: 0502000367



Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

Centro de Posgrados

Autorización de Publicación

Yo, **Villacís Heredia, Carla Betsabé**, con cédula de ciudadanía N° 0502000367, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Diseño de tratamiento aerobio e instalación de planta piloto para la gestión ambiental de las aguas residuales domésticas para uso agrícola en el barrio forastero, Latacunga”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 23 de agosto de 2022

Firma:

.....
Villacís Heredia, Carla Betsabé
C.C.: 0502000367

Dedicatoria

A mi pequeña Martinita y mi esposo Danilo que pacientemente me han acompañado en cada etapa del proceso de mi preparación académica, ustedes son mi mayor motivación y el impulso que me ayuda día a día a seguir adelante.

Agradecimiento

Quiero agradecerle a Dios por la vida y por la oportunidad que me da de cumplir una de mis metas anheladas.

A mi familia por ser siempre mi apoyo incondicional, ser mi guía y mi refugio.

Al Ing. David Carrera Ph. D., por sus enseñanzas y paciencia durante todo este proceso.

Tabla de Contenido

Resumen	15
Abstract	16
Capítulo I.....	17
Introducción.....	17
Antecedentes.....	17
Identificación de la zona de estudio	19
Área de influencia	19
Justificación	20
Objetivos.....	22
Objetivos específicos del proyecto	22
Hipótesis.....	23
Capítulo II.....	24
Marco Teórico	24
Marco Legal	24
Generalidades, definición y origen de las aguas residuales	27
Caracterización y monitoreo de aguas residuales	28
Criterios para el análisis y selección de alternativas.....	29
Tratamiento de aguas residuales.....	29
Tratamiento aerobio	30
Tratamiento anaerobio	31
Lecho de secado de lodos.....	32
Capítulo III.....	33
Metodología.....	33

Levantamiento Topográfico.....	33
Censo Sanitario	33
Encuesta	33
Cartas de Pago del Servicio de Agua Potable	34
Aforo de Agua Residual Doméstica	34
Caracterización de las aguas residuales domésticas.....	35
Localización y ubicación del área de estudio.....	35
Muestreo de aguas residuales	36
Grado de tratamiento necesario.....	40
Diseños definitivos	42
Tratamiento de aguas residuales.....	43
Reutilización de Agua Residual Tratada para Riego.	43
Parámetros de diseño	45
Caudal de aguas servidas.....	48
Capítulo IV.....	52
Resultados y Discusión	52
Levantamiento Topográfico.....	52
Censo Sanitario	52
Encuestas.....	52
Datos de Aforo	67
Calidad de aguas residuales.....	68
Muestreo	68
Estudio definitivo	70
Parámetros de diseño	70

Caudal de aguas servidas.....	72
Diseño de un sistema de tratamiento anaerobio	74
Caudal de agua de riego para área verde.....	94
Tanque de Reserva	97
Planta piloto.....	98
Calidad del agua.....	101
Sistema de Riego.....	103
Presupuesto y cronograma.....	108
Capítulo V.....	112
Conclusiones y recomendaciones	113
Conclusiones.....	113
Recomendaciones	115
Bibliografía.....	116
Apéndices	124

Índice de tablas

Tabla 1 Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola.....	25
Tabla 2 Parámetros de los niveles guía de la calidad del agua para riego.....	26
Tabla 3 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce	26
Tabla 4 Clasificación de los procesos de tratamiento de aguas residuales	30
Tabla 5 Comparativa de los tratamientos biológicos: aerobios y anaerobios	31
Tabla 6 Coordenadas de ubicación de la Urbanización Portón de Bellavista	35
Tabla 7 Técnicas generales para la conservación de muestras.....	38
Tabla 8 Consumo de nutrientes en los cultivos	40
Tabla 9 Guías sugeridas para aguas tratadas en el reuso agrícola y sus requerimientos de tratamiento.....	41
Tabla 10 Guías de la EPA para riego en áreas verdes.....	42
Tabla 11 Factores que influyen en la selección del método de riego y medidas especiales necesarias para las aplicaciones de agua regenerada.....	44
Tabla 12 Población en la urbanización Portón de Bellavista	46
Tabla 13 Valores de infiltración en tuberías	50
Tabla 14 Uso de vivienda.....	53
Tabla 15 Personas que habitan en la vivienda.....	54
Tabla 16 Clasificación de habitantes ocasionales	54
Tabla 17 Días de permanencia al mes de habitantes ocasionales	55
Tabla 18 Disponibilidad de agua potable.....	56
Tabla 19 Disponibilidad de alcantarillado sanitario	57
Tabla 20 Disponibilidad de alcantarillado pluvial.....	58
Tabla 21 Actividades en las que se utilizan el agua.....	59

Tabla 22 Abastecimiento continuo de agua	60
Tabla 23 Utilización de pesticidas	61
Tabla 24 Consumo de agua según cartas de pago año 2019	63
Tabla 25 Consumo de agua según cartas de pago año 2020	64
Tabla 26 Consumo de agua según cartas de pago año 2021	65
Tabla 27 Calendario Académico de la Universidad de la Fuerza Armadas ESPE.....	66
Tabla 28 Aforo de aguas residuales domésticas en la urbanización Portón de Bellavista	67
Tabla 29 Caudal aforado de aguas residuales domésticas en la urbanización Portón de Bellavista	67
Tabla 30 Resultado de Análisis Físico Químico de las Aguas Residuales antes del tratamiento.....	69
Tabla 31 Resultado de Análisis Físico Bacteriológico antes de iniciar el tratamiento.....	69
Tabla 32 Resultado de Análisis en el Sitio.....	69
Tabla 33 Dotación de la población permanente en la urbanización Portón de Bellavista	71
Tabla 34 Dotación de la población flotante en la urbanización Portón de Bellavista	72
Tabla 35 Datos para el diseño de desarenadores con flujo horizontal	76
Tabla 36 Desarenadores características	77
Tabla 37 Determinación del volumen del tanque de homogenización de caudal	78
Tabla 38 Dimensiones Tanque Homogenización	79
Tabla 39 Datos de entrada para el diseño del reactor RAFA	80
Tabla 40 Tiempo de residencia hidráulica recomendados	81
Tabla 41 Dimensiones de filtro rápido a gravedad	90
Tabla 42 Distribución en filtro.....	92
Tabla 43 Dimensiones del tanque de desinfección	94
Tabla 44 Datos de evaporación INAMHI.....	95
Tabla 45 Evapotranspiración del Kikuyo.....	96

Tabla 46 Comparación de los Análisis Físico Químico antes del inicio del tratamiento, a los 15 días y a los 30 días.....	101
Tabla 47 Comparación del análisis físico bacteriológico de las aguas residuales antes de iniciar el tratamiento, a los 15 días y a los 30 días.....	102
Tabla 48 Comparación del análisis físico químico del agua residual tratada con la normativa.....	102
Tabla 49 Comparación del análisis físico bacteriológico de las aguas residuales tratada con la normativa.....	103
Tabla 50 Aspersor Smooth Drive Plastigama	104
Tabla 51 Datos para la selección de bomba	105
Tabla 52 Presupuesto planta de tratamiento	109
Tabla 53 Presupuesto planta piloto.....	112

Índice de figuras

Figura 1 Ubicación del área de estudio	20
Figura 2 Ubicación Urbanización Portón de Bellavista	36
Figura 3 Tren de tratamiento de aguas residuales en la urbanización Portón de Bellavista.....	43
Figura 4 Uso de vivienda.....	53
Figura 5 Personas que habitan en la vivienda.....	54
Figura 6 Clasificación de habitantes ocasionales	55
Figura 7 Días de permanencia al mes de habitantes ocasionales.....	56
Figura 8 Disponibilidad de agua potable	57
Figura 9 Disponibilidad de alcantarillado sanitario	58
Figura 10 Disponibilidad de alcantarillado pluvial	59
Figura 11 Actividades en las que se utilizan el agua.....	60
Figura 12 Abastecimiento continuo de agua	60
Figura 13 Utilización de pesticidas	61
Figura 14 Variación de caudal aforado de aguas residuales domésticas.	68
Figura 15 Tren de tratamiento definitivo urbanización Portón de Bellavista.....	75
Figura 16 Clorador por erosión de tabletas de hipoclorito de calcio	93
Figura 17 Instalación de la planta piloto en la urbanización Portón de Bellavista.....	99
Figura 18 Esquema del Reactor RAFA.....	100
Figura 19 Sistema de Riego Disposición de aspersores	105
Figura 20 Electrobombas centrífugas en acero inoxidable AL RED.....	107
Figura 21 Área Verde de la Urbanización Portón de Bellavista.....	108

Resumen

La contaminación ambiental producida por el crecimiento poblacional y la expansión acelerada de los asentamientos humanos se ha convertido en un grave problema en el mundo, en Latacunga la construcción de nuevas urbanizaciones sin las medidas ambientales adecuadas contribuye a la contaminación del aire, suelo y agua.

La urbanización Portón de Bellavista se encuentra ubicada en la Parroquia Belisario Quevedo, es una zona en crecimiento, cuenta con 68 lotes, donde, la población de saturación de la misma es 340 habitantes, mediante un censo sanitario se ha determinado que el agua para consumo humano es utilizada principalmente en las actividades domésticas diarias de sus habitantes, donde, se genera un caudal aforado de aguas residuales promedio de $4.3\text{m}^3/\text{día}$, la que es depositada en una fosa séptica, no cuentan con un tratamiento de aguas residuales adecuado, provocando la contaminación del suelo y del agua subterránea por infiltración. Por medio de un tratamiento anaerobio, con la instalación de una planta piloto que consta de un homogenizador, reactor RAFA (Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente), filtro descendente y un tanque de desinfección, se ha logrado descontaminar las aguas residuales obteniendo resultados que cumplen con la normativa ambiental, se redujo el DQO en un 64.62%, DBO_5 en un 67.83%, aceites y grasas 98.33%, reducción de bicarbonatos 68.11%, conductividad eléctrica 6.02%, cloruros 0.31%, nitratos 20.69%, sodio 15.34%, sólidos disueltos totales 40.35%. Los resultados del tratamiento utilizado indican que se puede manejar las aguas residuales de la urbanización por medio del mismo. Posteriormente, el agua tratada es utilizada para el riego por aspersión del área verde de la urbanización mediante un sistema de bombeo, para lo cual se ha realizado un levantamiento topográfico que ha determinado su extensión de 3624m^2 . En el estudio se han implementado 12 aspersores que cubren el área.

Palabras claves: agua residual, planta de tratamiento, depuración, sistema de riego

Abstract

The environmental pollution produced by population growth and the accelerated expansion of human settlements has become a serious problem in the world, in Latacunga the construction of new urbanizations without adequate environmental measures contributes to the pollution of air, soil and water.

The urbanization Portón de Bellavista is located in the Belisario Quevedo Parish, it is a growing area, it has 68 lots, where, the saturation population of the same is 340 inhabitants, through a sanitary census it has been determined that water for human consumption is used mainly in the daily domestic activities of its inhabitants, where, an average wastewater flow of 4.3m³/day is generated, which is deposited in a septic tank, because they do not have an adequate wastewater treatment, causing contamination of the soil and groundwater by infiltration. By means of an anaerobic treatment, with the installation of a pilot plant consisting of a homogenizer, RAFA reactor (Anaerobic Up flow Reactor), descending filter and a disinfection tank, it has been possible to decontaminate the wastewater obtaining results that comply with environmental regulations, the DQO was reduced by 64.62%, DBO5 by 67.83%, oils and fats 98.33%, reduction of bicarbonates 68.11%, electrical conductivity 6.02%, chlorides 0.31%, nitrates 20.69%, sodium 15.34%, total dissolved solids 40.35%. The results of the treatment used indicate that the wastewater of the urbanization can be managed through it.

Subsequently, the treated water is used for sprinkler irrigation of the green area of the urbanization through a pumping system, for which a topographic survey has been carried out that has determined its extension of 3624 m². In the study, 12 sprinklers have been implemented that cover the area.

Key words: sewage treatment, treatment plant, depuration, irrigation system

Capítulo I

Introducción

1.1 Antecedentes

La contaminación en el planeta Tierra y específicamente la contaminación hídrica es un tema que se ha presentado desde hace mucho tiempo; los primeros asentamientos buscaban lugares cercanos a fuentes hídricas para radicarse, de esta manera tener un fácil acceso al líquido vital. Con el crecimiento poblacional se ha ido evidenciando la contaminación que se provoca por la necesidad de desechar los residuos líquidos, procedentes del uso doméstico, agrícola, industrial, etc. Donde la vía más sencilla para deshacerse del agua contaminada es vertiéndola directamente en ríos, acequias quebradas, lagunas, causando problemas no sólo estéticos sino también problemas que afectan a la salud de la población, que continúa utilizándola en sus actividades cotidianas. La conservación de las fuentes hídricas es importante para garantizar su uso sin afectar a la salud de la población y para mantener un equilibrio ecológico. (Alvarado & Cárdenas, 2015)

La utilización de las aguas residuales en sistemas de riego cada vez es más común en mundo con la diferencia que en la mayoría de países Latinoamericanos se la utiliza sin un tratamiento previo, mientras que, en países desarrollados como Israel, Australia, Alemania y Estados Unidos, utilizan el agua residual tratada para uso agrícola. La cantidad de agua que requiere la agricultura es inmensa, específicamente 70% del recurso hídrico mundial. Por lo tanto, su reutilización es indispensable para reducir los niveles de contaminación de cauces naturales, su uso en la agricultura tiene muchos factores que benefician al ambiente, ayudan a disminuir el uso de fertilizantes por la cantidad de nutrientes con los que cuentan. (Lasso & Ramírez, 2011)

Adicionalmente, hay que tomar en cuenta la importancia que tiene el agua para la vida de todas las especies en el planeta su restricción y más grave aún su ausencia constituirían un difícil problema para la sociedad; es el inicio y puede ser el fin de la vida misma. (Rojano et al., 2017). El tratamiento de las aguas residuales va tomando cada vez más fuerza alrededor del mundo por ser un factor muy importante para la salud humana y del ambiente, en la actualidad se cuenta con tecnologías de depuración eficientes, donde es necesario buscar métodos de bajo costo que cumpla con los estándares requeridos. (Casierra et al., 2016)

Los sistemas de alcantarillado sanitario que cuentan con una planta de tratamiento de aguas servidas constituyen un sistema integral de evacuación, transporte y remoción de contaminantes, patógenos y nutrientes de las aguas residuales por lo que es necesario contar con un plan de operación y mantenimiento que permita su buen desempeño. (López et al., 2017)

Ecuador posee una amplia red hídrica como el Guayas y Esmeraldas en la vertiente Pacífica, y el Napo y Pastaza en la vertiente Amazónica, sin embargo, la contaminación que se provoca en el país es muy grande principalmente por fuentes domésticas e industriales. (Izurieta et al., 2019). Se trata de sistemas de alcantarillado sanitario que vierten sus aguas servidas a los ríos sin un tratamiento previo, o con sistemas de tratamiento deficientes que por falta de mantenimiento han dejado de cumplir con su trabajo de manera efectiva.

En Ecuador se puede observar la reutilización de las aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento, simplemente se construyen canales de riego desviando el agua de los ríos y se traslada el agua hacia los cultivos, contaminándolos y poniendo en riesgo a los consumidores; como es el caso del canal Latacunga – Salcedo – Ambato, que sirve aproximadamente a 24000ha de las tres ciudades. (Mayorga & Carrera, 2015)

En Latacunga la Dirección de Agua Potable y Alcantarillado del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal se acoge al Código Orgánico del Ambiente (Código Orgánico Del Ambiente, 2018) que indica: Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales deberán fomentar el tratamiento de las aguas residuales con fines de reutilización siempre y cuando estas recuperen los niveles cualitativos que exija la autoridad competente y no se afecte la salubridad pública. Cuando las aguas no puedan llevarse al sistema de alcantarillado, su tratamiento deberá hacerse de modo que no afecte las fuentes receptoras, los suelos, la flora la fauna.” (p. 55).

En el caso de la urbanización Portón de Bellavista, no se puede hacer la conexión del sistema de alcantarillado de la urbanización al sistema existente en la parroquia por su topografía, es necesario buscar una alternativa que permita reutilizar las aguas residuales domésticas que se generan en la misma.

1.2 Identificación de la zona de estudio

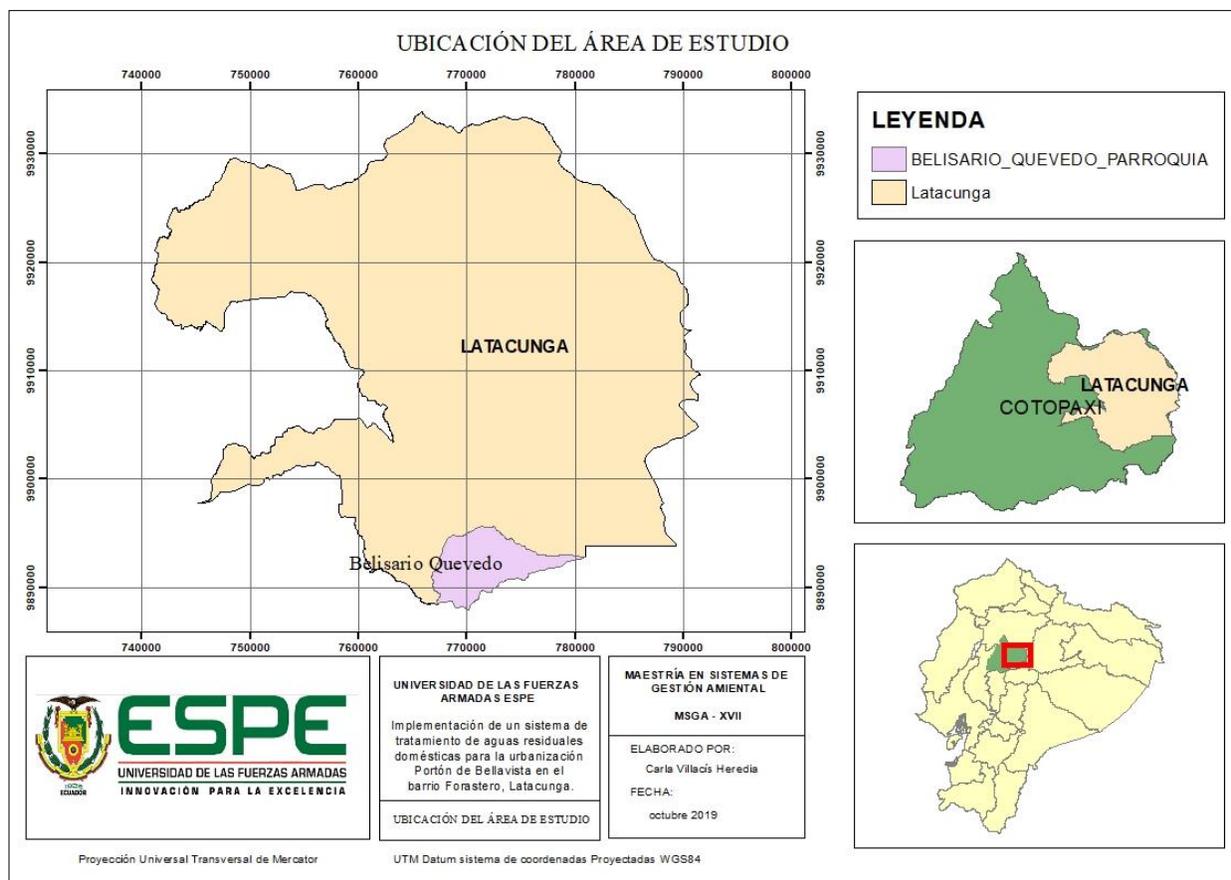
El cantón Latacunga está conformado por 5 parroquias urbanas y 10 rurales. Entre sus parroquias rurales se encuentra Belisario Quevedo que según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Latacunga (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Latacunga, 2016) para el año 2018 tuvo una población de 3146 habitantes. La parroquia en los últimos años se ha caracterizado por su acelerado crecimiento poblacional debido a su situación geográfica en una zona de seguridad ante la amenaza del volcán Cotopaxi, además de la presencia del nuevo campus de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga. Cada vez existen más urbanizaciones en el sector.

1.3. Área de influencia

El proyecto se desarrolló en la Urbanización Portón de Bellavista, barrio Forastero, de la parroquia Belisario Quevedo, ubicado en el cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, Ecuador, como se indica en la

Figura 1

Ubicación del área de estudio



1.4. Justificación

El agua generada por las actividades diarias de los pobladores de la urbanización Portón de Bellavista, son trasladadas por medio del alcantarillado sanitario hasta una fosa séptica de hormigón armado, construido en el año 2014, el mismo que se vacía dos veces al año mediante un hidrosuccionador de la dirección de agua potable del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Latacunga, la urbanización cuenta con 68 lotes de terreno de los cuales en 20 existen viviendas habitadas la mayoría por estudiantes universitarios.

El hormigón no es un material impermeable, es un material poroso que permite el paso del agua entre los mismos, las aguas residuales domésticas retenidas en la fosa de la urbanización Portón de Bellavista están generando contaminación al suelo y al agua subterránea.

Existen variadas formas en que el agua subterránea puede ser contaminada, al tratarse de contaminación doméstica se ocasiona por retener las aguas servidas en pozos sépticos, pozos negros, además de fugas del sistema de alcantarillado, es una contaminación orgánica y biológica donde también se encontrarían detergentes, productos de aseo, restos de medicamentos, etc. (Lledó, 2002)

El uso de las aguas residuales constituye un peligro para la salud de las personas y un foco contaminante para el ambiente, con el crecimiento poblacional de las ciudades cada vez se genera mayor cantidad de aguas residuales, razón por la cual en la actualidad es muy común su uso en la agricultura. (Mayorga & Carrera, 2015). De acuerdo al Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, (Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, Norma de Calidad Ambiental y de Descargas de Efluentes: Recurso Agua. Libro VI. Anexo 1., 2015): “Se prohíbe el uso de aguas servidas para riego, exceptuándose las aguas servidas tratadas y que cumplan con los niveles de calidad establecidos en esta Norma.” (p.270).

El saneamiento fue valorado como un importante avance médico desde hace 166 años en un concurso realizado en el 2007 por la revista British Medical.(Ferriman, 2007). Lo que demuestra la importancia de contar con servicios de saneamiento adecuados para garantizar la salud pública. (Amy et al., 2008).

Por lo tanto, la implementación de un tratamiento adecuado de las aguas residuales domésticas permitirá su reutilización mediante un sistema de riego para el área verde de la urbanización y disminuir la contaminación provocada al medio, de esta manera aportar al cumplimiento de la normativa ambiental

vigente sobre descarga de efluentes, además beneficiará a las personas que habitan en Portón de Bellavista al vivir en un ambiente seguro.

1.5. Objetivos

Diseñar un sistema de tratamiento aerobio/anaerobio e instalar una planta piloto para realizar la gestión ambiental de las aguas residuales domésticas producidas en la urbanización Portón de Bellavista ubicada en el barrio Forastero parroquia Belisario Quevedo de Latacunga y utilizarla para riego del área verde.

1.5.1. Objetivos específicos del proyecto

- Realizar el levantamiento topográfico para identificar el terreno donde se implementará el proyecto y conocer datos del mismo como: cotas, dimensiones y áreas mediante equipos topográficos para poder representarlo gráficamente.
- Efectuar un censo sanitario que permita medir el consumo de agua en la urbanización, el uso que se le da y el caudal de aguas residuales domésticas que se genera mediante la utilización de encuestas y sistemas de medición volumétrica.
- Realizar la caracterización de las aguas residuales domésticas de la urbanización Portón de Bellavista siguiendo a la Norma de Calidad Ambiental y de Descargas de Efluentes: Recurso agua. Libro VI. Anexo 1. del (Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, Norma de Calidad Ambiental y de Descargas de Efluentes: Recurso Agua. Libro VI. Anexo 1., 2015) Tabla 6. Criterios de calidad admisible para aguas de uso agrícola: boro, potencial de hidrógeno, sólidos disueltos totales, aceites y grasa, coniformes totales, huevos de parásitos, alcalinidad de bicarbonatos, calcio, cloruros, DBO₅, DQO, magnesio, nitratos, sodio, conductividad eléctrica; mediante campañas de medición de

5 días para obtener muestras representativas y poder desarrollar las alternativas de diseño de los sistemas de tratamiento.

- Diseñar un sistema de tratamiento aerobio o anaerobio identificando el tratamiento que obtenga mejores resultados y realizar una adecuada gestión ambiental de las aguas residuales domésticas de la urbanización Portones de Bellavista, cumpliendo con los parámetros indicados en el (Acuerdo No 61 Reforma Del Libro VI Del Texto Unificado de Legislación Secundaria, 2015). Criterios de calidad admisible para uso agrícola del agua.
- Implementar una planta piloto para verificar la viabilidad técnica y constructiva en la urbanización.
- Desarrollar el estudio definitivo del mejor tratamiento de las aguas residuales domésticas la urbanización Portones de Bellavista mediante un sistema que se adapte a las condiciones ambientales y físicas de la urbanización para implementar un sistema de riego en el área verde.

1.6. Hipótesis

El diseño de un sistema de tratamiento aerobio / anaerobio e instalación de una planta piloto permitirá la reducción del DQO de las aguas residuales domésticas en un 60% para uso agrícola en el barrio Forastero, Latacunga.

Capítulo II

Marco Teórico

2.1. Marco Legal

Constitución de la República del Ecuador, Art. 14.- Resalta el derecho de los ecuatorianos a tener un ambiente sano, que garantice el buen vivir, además, se indica la responsabilidad de la población de cuidar, preservar y recuperar el ambiente. (Constitución de La Republica Del Ecuador, 2008)

Art. 83, numeral 6 de la Constitución menciona el deber de los ciudadanos de utilizar los recursos naturales de manera responsable y respetuosa, asegurando su continuidad. (Constitución de La Republica Del Ecuador, 2008)

Ley Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua, Art. 80.- Vertidos. Prohíbe el vertimiento de aguas y productos residuales que puedan contaminar el medio hídrico receptor. (Reglamento de La Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento Del Agua, 2015)

Código Orgánico del Ambiente, Art.196. Indica que los Gobiernos Autónomos Descentralizados deben promover el tratamiento de aguas residuales para su reutilización. En el caso que las aguas servidas no puedan ser vertidas en un sistema de alcantarillado, el tratamiento se lo realizará para no afectar a sus fuentes receptoras y su entorno. (Código Orgánico Del Ambiente, 2018)

Acuerdo 061, Art. 210. Prohíbe la descarga de aguas residuales que no cumplan con los límites permisibles de calidad. (Acuerdo No 61 Reforma Del Libro VI Del Texto Unificado de Legislación Secundaria, 2015)

En el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, Norma de Calidad Ambiental y de Descargas de Efluentes: Recurso agua. Libro VI. Anexo 1. Se indican los valores máximos permisibles para la utilización agrícola del agua. En la Tabla 1 y Tabla 2 se encuentran los parámetros y los valores que se

han tomado en cuenta en el proyecto. Además, de los criterios indicados por TULSMA, se han analizado, varios parámetros adicionales, los que fueron útiles para el diseño de la planta de tratamiento como son: Calcio, Magnesio, DBO, DQO; los que se comparan con la tabla de Límites de descarga a cuerpos de agua dulce, Tabla 3. (Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, Norma de Calidad Ambiental y de Descargas de Efluentes: Recurso Agua. Libro VI. Anexo 1., 2015)

Tabla 1

Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Boro (total)	B	Mg/L	1,00
Materia flotante	Visible		Ausencia
Potencial hidrógeno	pH		6 – 9
Sólidos disueltos totales		mg/L	3000
Aceites y grasa	Sustancias solubles en hexano	mg/L	0,30
Coliformes totales	nmp/100 mL		1000
Huevos de parásitos		huevos por litro	cero
Conductividad eléctrica	CE	mmhos/cm	3
Sodio	Na	meq/L	3
Bicarbonato	(HCO ₃)	meq/L	8.5

Nota. Tomado del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, Norma de Calidad Ambiental y de Descargas de Efluentes: Recurso agua. Libro VI. Anexo 1. (Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, Norma de Calidad Ambiental y de Descargas de Efluentes: Recurso Agua. Libro VI. Anexo 1., 2015)

Adicionalmente, se utilizó la guía de interpretación de calidad de agua para riego, para identificar la restricción que posee el agua para este uso, como se indica en la Tabla 2

Tabla 2

Parámetros de los niveles guía de la calidad del agua para riego

Problema Potencial	Unidades	*Grado de Restricción			
		Ninguno	Ligero	Moderado	Severo
Salinidad (1):					
CE (2)	mmhos/cm	0,7	0,7	3	> 3,0
SDT (3)	mg/l	450	450	2000	> 2000
Toxicidad por ión específico (5):					
- Sodio:					
Irrigación superficial RAS (6)		3	3	9	> 9,0
Aspersión	meq/l	3	3		
- Cloruros					
Irrigación superficial	meq/L	4	4	10	> 10,0
Aspersión	meq/L	3	3		
- Boro					
	mg/L	0,7	0,7	3	> 3,0
Efectos misceláneos (7):					
- Nitrógeno (N-NO ₃)	mg/L	5	5	30	> 30,0
- Bicarbonato (HCO ₃)	meq/L	1,5	1,5	8,5	> 8,5
pH	Rango normal		6,5 - 8,4		

Nota. Recuperado del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, Norma de Calidad Ambiental y de Descargas de Efluentes: Recurso agua. Libro VI. Anexo 1. (Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, Norma de Calidad Ambiental y de Descargas de Efluentes: Recurso Agua. Libro VI. Anexo 1., 2015)

Tabla 3

Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅ .	mg/l	100

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	250

Nota. Recuperado del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, Norma de Calidad Ambiental y de Descargas de Efluentes: Recurso agua. Libro VI. Anexo 1. (Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, Norma de Calidad Ambiental y de Descargas de Efluentes: Recurso Agua. Libro VI. Anexo 1., 2015)

2.2. Generalidades, definición y origen de las aguas residuales

El agua es un elemento esencial para la vida sin embargo si se encuentra contaminada puede generar graves problemas de salud a las poblaciones, lo que se le atribuye al deficiente manejo y tratamiento de este valioso recurso. (Sánchez, 2017)

Las aguas residuales resultan de su utilización en actividades domésticas e industriales. (Orozco, 2014). Donde se altera su composición natural, deteriorándola para sus fines esenciales: consumo y hábitat de seres vivos. De ahí que constituyen una fuente adicional que permite satisfacer necesidades derivadas al uso del agua por lo que cada vez es más necesario darle un adecuado tratamiento para su reutilización. (Parra & Chiang, 2013)

Las aguas residuales domésticas contienen desechos humanos procedentes de sus actividades diarias en sus casas, en zonas comerciales e institucionales.(Normas Para Estudio de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales, Para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes., 2008). Se clasifican en: aguas grises que son las que proceden de duchas, cocinas, lavamanos, lavanderías y las aguas negras que contienen desechos fecales. (Núñez et al., 2014)

Es muy importante identificar la procedencia de las aguas residuales para así conocer sus componentes, los mismos que son distintos tanto de aguas residuales domésticas como de las aguas residuales industriales. En las primeras podemos clasificar sus componentes en físicos (sólidos, color y temperatura), químicos (proteínas, carbohidratos, grasas y aceites) y biológicos (organismos no patógenos y coliformes). (Metcalf & Eddy, 2003)

2.3. Caracterización y monitoreo de aguas residuales

Para realizar la caracterización y monitoreo de las aguas residuales es necesario determinar el objeto de la caracterización, obtener información básica de la urbanización mediante un censo sanitario, que constará de encuestas a los habitantes y la recolección de las planillas de pago de consumo de agua, recurrir a la Junta administradora de agua potable de Belisario Quevedo responsable de dotar del líquido vital a barrio forastero para obtener la dotación considerada en la urbanización. Identificar y localizar las descargas para definir el sitio de aforo y muestreo, se deberán tomar las medidas adecuadas para obtener muestras confiables y representativas; además, se debe definir su frecuencia de acuerdo al tipo de muestreo y a los parámetros a analizar. (Asociación Nacional de Industriales, 1997)

La construcción de un sistema de tratamiento de aguas residuales para su posterior reutilización en un sistema de riego de jardines debe considerar tres dimensiones: sanitaria, agronómica y ambiental. La calidad sanitaria se refiere a la concentración de parásitos, bacterias y virus. La calidad agronómica indica la concentración de nutrientes y limitantes para el desarrollo agrícola y la calidad ambiental, engloba a los indicadores anteriores además de la concentración de sólidos, materia orgánica y elementos que disminuyan la calidad del agua (Veliz et al., 2009). Todas estas consideraciones se toman en cuenta en la normativa ecuatoriana ambiental vigente en la tabla de Criterios de calidad de aguas de uso agrícola o de riego del Libro VI. Anexo 1.(Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, Norma de Calidad Ambiental y de Descargas de Efluentes: Recurso Agua. Libro VI. Anexo 1., 2015). Se siguieron

estos parámetros para realizar la caracterización y conocer los contaminantes de las aguas residuales en la urbanización Portón de Bellavista por medio de campañas de medición de 5 días, a la par realizó el monitoreo del caudal de aguas residuales domésticas mediante el método volumétrico, donde se midió el tiempo que se tarda en llenar un recipiente de un volumen conocido, en horas críticas.

2.4. Criterios para el análisis y selección de alternativas.

Para diseñar y posteriormente construir una planta de tratamiento se requirió una revisión exhaustiva de ciertos criterios que influyen en la selección del tipo de tratamiento a implantarse: El caudal y calidad del agua residual cruda, el uso que se le va a dar a las aguas residuales tratadas o lugar donde se las va a desechar, la disponibilidad del sitio destinado para la construcción de las instalaciones de la planta de tratamiento, se identificó las adecuaciones necesarias del terreno para el correcto funcionamiento como: sistema de bombeo, servicio eléctrico. Además, se evaluó los costos que implican las adecuaciones, construcción, operación y mantenimiento, se determinó el impacto en el medio donde se colocó la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas y el alcance del mismo, la generación de lodos residuales resultantes, la necesidad existente de aguas residuales tratadas para su reutilización, la compatibilidad con las instalaciones que se encuentran en el lugar. (Comisión Nacional del Agua, 2019f)

2.5. Tratamiento de aguas residuales

Una vez identificados los criterios de diseño en el proyecto y planteados los objetivos a los que se desea llegar con el agua tratada se analizó la complejidad del sistema de tratamiento para satisfacer las necesidades de la urbanización Portón de Bellavista, en la Tabla 4 se indica la clasificación de los procesos de tratamiento de aguas residuales.

Tabla 4

Clasificación de los procesos de tratamiento de aguas residuales

Clasificación	Remueve	Proceso
Tratamiento Primario	Arenas Partículas gruesas Sólidos Suspendedos	Rejillas Desarenadores Sedimentación
Tratamiento Secundario	Materia orgánica disuelta	Tratamiento biológico
Tratamiento Terciario	Nitrógeno Fósforo Materia Coloidal	Desnitrificación-nitrificación Remoción de fósforo Coagulación-floculación
Tratamiento avanzado	Patógenos Microcontaminantes	Desinfección Oxidación forzada

Nota. Tomado del Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Introducción al Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. 25. Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. (Comisión Nacional del Agua, 2019f)

2.5.1. Tratamiento aerobio

El tratamiento aerobio para la depuración de aguas residuales implica la participación de microorganismos heterótrofos y autótrofos que con la ayuda del oxígeno disuelto descomponen la materia orgánica, nitrifican el amonio y acumulan el fosforo presente en el sistema. (Cervantes et al., 2017). Las bacterias aerobias convierten la materia orgánica en formas estables, como dióxido de carbono y agua, así como otros materiales orgánicos. (Comisión Nacional del Agua, 2019d)

La aireación es muy importante en los sistemas de tratamiento aerobio ya que transfieren oxígeno al medio líquido, permitiendo que se den los procesos de oxidación aerobia. (Amy et al., 2008). En este tratamiento el oxígeno se puede obtener de diversas maneras: mediante aireación, inyección de oxígeno concentrado o agitación. Las ventajas de utilizar este tipo de tratamiento son: bajos costes de operación

y la obtención de buenos resultados en la eliminación de nutrientes, adaptable a cambios de caudal. (Cortijo, 2018)

2.5.2. Tratamiento anaerobio

Se trata de la degradación de la materia orgánica en la ausencia de oxígeno, primordialmente en dióxido de carbono y metano, obedece a las actividades de microorganismos anaerobios, es llamativo por su bajo coste de operación, requiere menores cantidades de nutrientes en relación a los sistemas aerobios y generan menores cantidades de fango, también por la producción de metano que podría ser utilizado con fines energéticos, no necesita sistemas de aireación. Tienen varias desventajas como: la dificultad de operación, una baja velocidad de crecimiento de microorganismos anaerobios responsables del proceso de digestión lo que lleva obtener tiempos de retención más prolongados (Cortijo, 2018). Tienen mejor desempeño en climas cálidos.

En la Tabla 5 se indica una comparación de los tratamientos aerobios y anaerobios

Tabla 5

Comparativa de los tratamientos biológicos: aerobios y anaerobios

Eficiencia de tratamiento	Sistema aerobio	Sistema anaerobio
Eliminación materia orgánica	Alto	Alto
Calidad del efluente	Excelente	Moderado/ Bajo
Carga orgánica	Moderada	Alta
Producción de lodos	Alta	Baja
Requerimiento de nutrientes	Alta	Baja
Necesidad de alcalinidad	Baja	Alta (algunas aguas)
Necesidad energética	Alta	Moderada / Baja
Sensibilidad a la temperatura	Baja	Alta
Puesta en marcha	2-4 semanas	2-5 meses

Recuperación de energía y nutrientes	No	Si
Tratamiento	Total	Pre tratamiento

Nota. Recuperado de Chan, Y. J., Chong, M. F., Law, C. L., & Hassell, D. G. (2009). A review on anaerobic-aerobic treatment of industrial and municipal wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 155(1–2), 1–18. (Chan et al., 2009)

En muchas ocasiones se combinan los sistemas de tratamiento tanto aerobios como anaerobios como una alternativa de tratamiento de las aguas residuales domésticas, dando como resultado una baja producción de fango y bajos costos de operación y mantenimiento y la generación de biogas producto de la digestión anaerobia que le convierte en un sistema autosuficiente. (Rosa et al., 2016)

Los resultados caracterización del agua residual doméstica y el estudio de campo en el barrio Forastero definieron el tratamiento que se va a realizar.

2.6. Lecho de secado de lodos.

Son estructuras compuestas de capas de 20 a 30 cm. de diferentes materiales: arena con diámetros entre 0.3 a 1.2 mm, grava graduada entre 0.32 cm a 2.54cm. En la grava se localizan los drenes para eliminar el agua resultante de la deshidratación de los lodos por medio de filtración también se produce la evaporación del agua. Las paredes del lecho de secado de lodos tienen una altura de 30.5cm. y puede ser construido de concreto, mampostería, madera o tierra. La filtración generalmente se encuentra lista en 1 – 2 días. Una vez seco el lodo se puede retirar de manera manual o con maquinaria dependiendo de su contenido de sólidos, posteriormente puede ser utilizado como fertilizante. (Comisión Nacional del Agua, 2019f)

Capítulo III

Metodología

3.1. Levantamiento Topográfico

Se realizó el levantamiento topográfico mediante equipos de precisión: estación total, GPS, cinta; del área verde de la urbanización, para obtener datos geográficos tales como: cotas, extensión, ubicación de tuberías de alcantarillado sanitario y fosa séptica existentes. Con estos datos se analizó la zona idónea para instalar la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, el tanque de reserva de aguas residuales tratadas y posteriormente se definió el alcance del sistema de riego, mediante su representación gráfica. (Apéndice A)

3.2. Censo Sanitario

Se realizó el censo sanitario mediante encuestas (Apéndice B) realizadas a la cabeza de familia de cada vivienda en la urbanización Portón de Bellavista, además, se obtuvo las cartas de pago por el servicio de suministro de agua para consumo que brinda la Junta Administradora de Agua de la parroquia Belisario Quevedo y se realizaron aforos en el tanque recolector de aguas residuales ubicado en la parte baja de la urbanización, en el área verde.

3.2.1. Encuesta

La encuesta constó de 10 preguntas las cuales estuvieron enfocadas en conocer aspectos básicos de la urbanización como: número de habitantes, tipo de habitantes, uso que se le da al agua en la urbanización, conocer la existencia de servicios de alcantarillado tanto sanitario como pluvial.

3.2.2. Cartas de Pago del Servicio de Agua Potable

Por medio de la directiva de la Urbanización Portón de Bellavista se ha realizado la recolección de cartas de pago por el servicio de agua potable, de las 20 viviendas que existentes, se recolectó 15 cartas de pago, ya que 3 viviendas se encuentran terminadas pero no tienen medidor y 2 viviendas se encuentran en construcción; además, se obtuvo información de la base de datos de la junta de agua de Belisario Quevedo, que son los encargados de realizar la lectura de medidores y cobro por el servicio, además, de dar mantenimiento a las redes y brindar un adecuado servicio.

3.2.3. Aforo de Agua Residual Doméstica

Se realizó el aforo de las aguas residuales domésticas para determinar el caudal mediante sistemas de medición volumétrica, en el que se midió la diferencia de nivel del agua en el tanque de recolección de aguas residuales existente con las dimensiones: 6.00 x 4.00 x 3.50; en intervalos de una hora, en diferentes horarios durante cinco días. Se determinó el caudal de descarga mediante la fórmula tomada de (Pedroza, 2018):

$$Q = \frac{V}{t} \quad (\text{Ec. 3.1})$$

Dónde:

V= Volumen del tanque séptico (m³)

t= tiempo (s)

Para el primer día de aforo fue el día lunes 23 de noviembre de 2020, se contó con la ayuda de los habitantes de la urbanización, por lo que se pudo obtener datos de todos los horarios establecidos, en los demás días no fue posible tomar datos durante todo el día. Se obtuvieron los datos en ciertos horarios de

manera diaria hasta el 27 de noviembre de 2020. En el Apéndice C se encuentran las fotografías del aforo y muestreo.

3.3. Caracterización de las aguas residuales domésticas

Para realizar la caracterización de las aguas residuales domésticas de la urbanización Portón de Bellavista, se procedió para cada descarga importante, en cinco campañas de medición en días diferentes. En el sitio se realizó la determinación del caudal y temperatura como lo indican la Norma para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes. (Normas Para Estudio de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales, Para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes., 2008), En el sitio se obtuvieron los datos de: sólidos totales disueltos (TDS), conductividad eléctrica (CE) y pH con la ayuda de un medidor portátil de marca Hanna, el que con la ayuda de una sonda mide los cuatro parámetros antes mencionados (TDS), CE, pH, temperatura. (Hanna, 2020)

Antes de utilizar el equipo fue calibrado con solución base para pH y conductividad eléctrica, mediante las perillas de calibración; posteriormente, se realizó la limpieza del electrodo con agua destilada.

3.4. Localización y ubicación del área de estudio

La urbanización Portón de Bellavista se encuentra ubicada en la parroquia rural de Latacunga, Belisario Quevedo a 1.5 km del centro parroquial de Belisario Quevedo y a 500m. de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga; en las coordenadas que se encuentran en la Tabla 6, del sistema de coordenadas proyectadas UTM WGS84. Corresponde a los cuatro vértices del polígono indicado en la Figura 2.

Tabla 6

Coordenadas de ubicación de la Urbanización Portón de Bellavista

Punto	Este	Norte
1	768455	9890016
2	768080	9889938
3	768198	9889826

Punto	Este	Norte
4	768489	9889895

El área de estudio se encuentra indicada con una línea de color rojo en la Figura 2, corresponde a una superficie de 4.5ha. La descarga de las aguas residuales domésticas se la realiza en un tanque receptor ubicado en el área verde de la urbanización.

Figura 2

Ubicación Urbanización Portón de Bellavista



Nota. Fotografía obtenida de Google Earth Pro (Google, 2021)

3.5. Muestreo de aguas residuales

El muestreo se realizó mediante muestras compuestas, se conformaron por la mezcla de muestras puntuales, las cuales fueron proporcionales al caudal medio; tomadas en períodos determinados. Para

obtener datos de composición promedio del agua residual. (Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, Norma de Calidad Ambiental y de Descargas de Efluentes: Recurso Agua. Libro VI. Anexo 1., 2015). En este caso se lo realizó en el horario entre las 07:00 hasta las 19:00. Para la conformación de las muestras se tomaron alícuotas con un volumen (V_i) (Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, Norma de Calidad Ambiental y de Descargas de Efluentes: Recurso Agua. Libro VI. Anexo 1., 2015), siguiendo las ecuaciones:

$$X = Vt / (n \cdot Qm) \quad (\text{Ec. 3.2})$$

$$V_i = X \cdot Q_i \quad (\text{Ec. 3.3})$$

En donde:

V_i = Volumen individual de cada una de las alícuotas, expresado en mL.

V_t = Volumen de la muestra compuesta, mL (generalmente 3500 mL)

Q_i = Caudal medido al momento del muestreo de cada una de las alícuotas, L/s.

N = Número de alícuotas individuales de que se compone la muestra.

Q_m = Caudal medio en el período de muestreo, L/s,

X = Constante de volumen de alícuota, mL/(L/s)

Para la obtención de las muestras sin que sufran alteraciones, fue necesario tener en cuenta: el manejo, la conservación y su transporte. Los recipientes utilizados fueron de plástico y vidrio ámbar, de acuerdo al parámetro a analizar, los mismos que fueron rotulados inmediatamente luego de la extracción. (Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176: Agua. Calidad Del Agua. Muestreo. Técnicas de Muestreo, 2013).

El llenado del recipiente se realizó de forma completa cuidando que no exista aire que modifique la muestra. Se trasladaron hasta los laboratorios colocándolas en un recipiente de espuma aislante con un baño de hielo para mantener la temperatura entre 2°C y 5°C. (Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169: 2013 Agua, Calidad de Agua, Muestreo Manejo y Conservación de Muestras., 2013)

En la Tabla 7 se indica el tipo de recipiente, el volumen necesario, técnica de preservación y tiempo máximo recomendado de preservación antes del análisis.

Tabla 7

Técnicas generales para la conservación de muestras

Parámetros	Tipo de recipiente	Volumen típico (mL) y técnica de envasado	Técnica de preservación	Tiempo máximo recomendado de preservación
Boro (total)	Plástico	100 Llenar contenedor completamente para excluir el aire	No se requiere ninguna	1 mes
Potencial hidrógeno	Plástico o vidrio	100 Llenar contenedor completamente para excluir el aire	Se enfría a entre 1 °C y 5 °C.	6 horas
Sólidos disueltos totales	Plástico o vidrio	100	Se enfría a entre 1 °C y 5 °C.	24 horas
Aceites y grasa	Vidrio lavado con solvente	1 000	Acidificar a pH 1 a 2 con HCl o H ₂ SO ₄	1 mes
Coliformes totales	Plástico o vidrio	125	Se enfría a entre 1 °C y 5 °C.	-
Huevos de parásitos	Plástico o vidrio	125	Se enfría a entre 1 °C y 5 °C.	-
Conductividad eléctrica	Plástico o vidrio	-	Se enfría a entre 1 °C y 5 °C.	-
Sodio	Plástico o vidrio	100	Acidificar a pH 1 a 2 con HNO ₃	1 mes
Cloruro	Plástico o vidrio	100	-	1 mes
Nitrógeno	Plástico o vidrio	500	Acidificar a pH 1 a 2 con H ₂ SO ₄	1 mes

Parámetros	Tipo de recipiente	Volumen típico (mL) y técnica de envasado	Técnica de preservación	Tiempo máximo recomendado de preservación
Bicarbonato	Plástico o vidrio	500 Llenar contenedor completamente para excluir el aire	Se enfría entre 1 °C y 5 °C.	24 horas
DBO5	Plástico o vidrio	1 000 Llenar contenedor completamente para excluir el aire.	Se enfría entre 1 °C y 5 °C	24 horas
DQO	Plástico o vidrio	100	Acidificar a pH 1 a 2 con H ₂ SO ₄	1 mes
Calcio	Plástico o vidrio	100	Acidificar entre pH 1 a 2 con HNO ₃	1 mes
Magnesio	Plástico lavado con ácido o vidrio Borosilicatodo lavado con ácido	100	Acidificar a entre pH 1 a 2 con HNO ₃	1 mes

Nota. Tabla recuperada de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169 Agua, Calidad de agua, Muestreo Manejo y Conservación de Muestras. (Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169: 2013 Agua, Calidad de Agua, Muestreo Manejo y Conservación de Muestras., 2013)

Se realizó la cadena de custodia de todas las muestras obtenidas, documento, para garantizar la integridad de las muestras durante su extracción, transporte y recepción en el laboratorio (Lituma & Mora, 2016). Después de su obtención las muestras fueron trasladadas inmediatamente hasta el laboratorio privado Lacquanálisis en la ciudad de Ambato para su manejo y análisis.

Los parámetros se han determinado tomando en cuenta que se trata de aguas residuales domésticas, es una urbanización donde no existen áreas agrícolas, ni industriales, es una zona residencial. El agua potable que utilizan en el lugar es de la fuente Plaza de Belisario Quevedo, la cual es captada en su nacimiento, de acuerdo a los análisis físico-químicos del agua para consumo humano facilitada por la junta de agua de la parroquia, el agua es de tipo básica, tiene notación de bicarbonatada alcalina con un peligro de salinización y sodicidad bajo.

3.6. Grado de tratamiento necesario

Para determinar el grado y tipo de tratamiento para la reutilización agrícola de las aguas residuales fue necesario analizar el tipo de cultivo al que se va a regar y las características de las aguas residuales. Como se indica la (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2013) se debe adecuar el tratamiento de aguas residuales al objetivo.

En este caso el área verde de la urbanización Portón de Bellavista es exclusivamente ornamental por lo que se indicó por parte de la directiva de la urbanización que se implantaría césped y plantas decorativas. El césped también conocido como pasto y las plantas ornamentales, toleran de mejor manera las aguas residuales tratadas que los cultivos agrícolas (Lorenzo et al., 2009). Tiene una mejor asimilación de nutrientes a diferencia ciertos de cultivos de campo, como se indica en la Tabla 8.

Tabla 8

Consumo de nutrientes en los cultivos

Cultivo	Consumo de nutrientes (kg/ha*año)		
	N	P	K
Cultivos de forraje			
Alfalfa	225 – 538	27 - 37	174 - 225
Trébol	178	18	101
Orchard grass	258 – 281	23 - 56	253 - 353
Cultivos de campo			
Maíz	174 – 193	19 - 28	108
Papa	260	23	247 - 323
Trigo	56 – 91	17	21
Cebada	71	17	23

Nota. Recuperado por (Silva et al., 2008) Reuso de aguas residuales domésticas. Una revisión. *Agronomía Colombiana del libro Wastewater Engineering: Treatment and Reuse* de (Metcalf & Eddy, 2003).

En la Tabla 9 se indica una guía del grado de tratamiento aguas residuales para su reutilización.

Tabla 9

Guías sugeridas para aguas tratadas en el reuso agrícola y sus requerimientos de tratamiento.

Tipos de reuso agrícola	Calidad del agua residual	Opción de tratamiento
Reuso agrícola en cultivos que se consumen y no se procesan comercialmente	pH 6,5-8,4 DBO < 10 mg/L < 2 UTN < 14 NMP coliformes fecales/100mL* < 1 huevos/L (nematodos intestinales)	Secundario Filtración desinfección
Reuso agrícola en cultivos que se consumen y se procesan comercialmente	pH 6,5-8,4 < 30 mg/L DBO < 30 mg/L SS < 200 NMP coliformes fecales/100 mL	Secundario desinfección
Reuso agrícola en cultivos que no se consumen	pH 6,5-8,4 < 30 mg/L DBO < 30 mg/L SS < 200 NMP coliformes fecales /100mL	Secundario desinfección

Nota. Recuperado de (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2013)

Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos?, de Reuso de aguas residuales domésticas (Silva et al., 2008).

DBO, demanda bioquímica de oxígeno

SS, sólidos suspendidos

UNT, unidades nefelométricas de turbidez

RAS, relación adsorción/sodio; NMP, número más probable

* Coliformes fecales NMP/100 mL: media geométrica de más de 10 muestras por mes

Ninguna muestra debe ser mayor de 200 NMP/100 mL.

De acuerdo (Guías Sobre La Reutilización de Aguas Residuales Tratadas, 2012), para la reutilización de aguas residuales tratadas en áreas verdes se clasifica en dos categorías, áreas verdes con acceso a personas y áreas verdes restringidas como se indica en la Tabla 10.

Tabla 10*Guías de la EPA para riego en áreas verdes*

Uso	Tratamiento	Calidad requerida
Riego en áreas verdes no restringidas al público	Secundario Filtración Desinfección	pH = 6-9 DBO5 < 10 mg/L Turbiedad < 2 NTU Coliformes fecales = no detectable Cloro residual = 1 mg/L
Riego en áreas verdes restringidas al público	Secundario Desinfección	pH = 6-9 DBO5 < 30 mg/L SST < 30 mg/L Coliformes fecales = < 200/100mL Cloro residual = 1 mg/L

Nota. Tomado de la Guías sobre la Reutilización de Aguas Residuales Tratadas (Guías Sobre La Reutilización de Aguas Residuales Tratadas, 2012).

pH= Potencial de Hidrógeno

DBO= Demanda Bioquímica de Oxígeno

UNT= Unidad Nefelométrica de Turbidez

SST= Sólidos Suspendedos Totales.

El área verde de la urbanización Portón de Bellavista es accesible, por lo que se realizó un tratamiento secundario con filtración y desinfección.

3.7. Diseños definitivos

El proyecto constó de dos etapas que son:

- a) El diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para un tiempo de vida útil de 20 años, con la implementación de una planta piloto para la verificación del sistema planteado.
- b) Diseño del sistema de riego para el área verde de la urbanización.

3.7.1. Tratamiento de aguas residuales

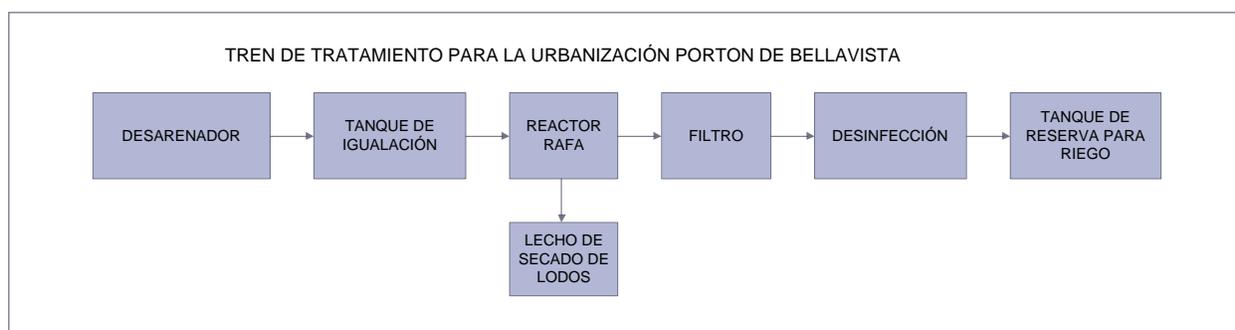
El tratamiento de las aguas residuales domésticas de la urbanización consta de las siguientes fases:

- **Tratamiento primario.** El diseño del tratamiento de las aguas residuales inicia con un desarenador y un tanque de igualación.
- **Tratamiento secundario.** Del tanque de igualación u homogenización, el agua pasa hasta el Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente, RAFA para posteriormente pasar a un filtro y finalizar en la unidad de desinfección.

Los lodos resultantes del reactor se depositan en el lecho de secado de lodos. En la Figura 3 se presenta el tren de tratamiento para la urbanización Portón de Bellavista.

Figura 3

Tren de tratamiento de aguas residuales domésticas en la urbanización Portón de Bellavista



3.7.2. Reutilización de Agua Residual Tratada para Riego.

El agua resultante del tratamiento fue destinada para el sistema de riego de la urbanización; existen factores que influyen en el método de riego a implementar, se indican en la Tabla 11.

Tabla 11

Factores que influyen en la selección del método de riego y medidas especiales necesarias para las aplicaciones de agua regenerada

Método de riego	Factores que influyen en la selección	Medidas especiales para el riego con agua regenerada
Riego por inundación	El de menor costo No se requiere una nivelación exacta Baja eficiencia del uso del agua Bajo nivel de protección sanitaria	Rigurosa protección de los trabajadores en el campo, manipuladores de cultivos y consumidores (por ej., EPP)
Riego por surcos	Bajo costo Se puede necesitar nivelación Baja eficiencia del uso del agua Nivel medio de protección sanitaria	Protección de los trabajadores en el campo, posiblemente de los manipuladores de cultivos y consumidores (por ej., equipos de protección)
Riego por aspersión	Costo medio a alto Eficiencia media del uso del agua No se requiere nivelación Bajo nivel de protección sanitaria (debido a los pulverizadores)	Distancia mínima de 50-100m desde casas y caminos Restricciones de la calidad del agua (eliminación de agentes patógenos) No se deben utilizar desechos anaeróbicos, debido a los malos olores. Uso de miniaspersores
Riego subterráneo y por goteo	Alto costo Alta eficiencia del uso del agua Mayores rendimientos Mayor nivel de protección sanitaria	No se requieren medidas de protección Restricciones de la calidad del agua (filtración) para evitar que los dispositivos se obstruyan

Nota. Recuperado de Water Reuse for Irrigation: Agriculture, Landscapes, and Turf Grass (Lazarova & Bahri, 2005)

El sistema de riego se diseñó por el método de aspersión ya que, al tratarse de un área ornamental con pasto, este sistema permite un gran alcance en el terreno y facilita el trabajo del encargado del mantenimiento del área verde.

3.7.3. Parámetros de diseño

El sistema de agua para consumo humano se encuentra administrado por la Junta de Agua de Belisario Quevedo y el sistema de alcantarillado por la Dirección de Agua Potable y Alcantarillado de Latacunga. En las entidades antes mencionadas no existe una normativa para el diseño de sistemas de agua, el presente estudio se realizó siguiendo las normas indicadas por SENAGUA en: Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes. Aunque se trata de una zona rural, por la presencia de entidades públicas como la Prefectura de Cotopaxi, la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y la construcción acelerada de urbanizaciones en los últimos años, se considera una zona de mayor desarrollo.

- ***Período de diseño***

El período de diseño es el intervalo de tiempo donde se garantiza la rentabilidad del proyecto. (Normas Para Estudio de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales, Para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes., 2008).

En el caso de estructuras que puedan construirse por etapas como las plantas de tratamiento de aguas residuales se considera un período de diseño de 20 años (Comisión Nacional del Agua, 2019^a).

- ***Población actual***

Por medio de las encuestas realizadas, se determinó que la población de la urbanización Portón de Bellavista está conformada por una población permanente y una población flotante, por la presencia de estudiantes universitarios, que al permanecer como mínimo 20 días al mes, se ha tomado en cuenta como población permanente, por los efectos de la pandemia los estudiantes ya no viven en el lugar y

existen varias viviendas vacías, en la Tabla 12 se indica la población en la Urbanización Portón de Bellavista antes y después de la pandemia.

Tabla 12

Población en la urbanización Portón de Bellavista

Población marzo 2020 (antes de la pandemia) Habitantes	Población abril – diciembre 2020 (durante la pandemia) habitantes
96	32

- ***Población futura***

Mediante la ecuación del método geométrico para la determinación de la población futura tomada de (Normas Para Estudio de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales, Para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes., 2008).

$$Pf = Pa(1 + r)^n \quad (\text{Ec. 3.4})$$

Donde:

Pf= Población futura (habitantes)

Pa= Población actual (habitantes)

r= Índice de crecimiento poblacional

n: Período de diseño (años)

Según (Gutierrez, 2017) el índice de crecimiento poblacional en la parroquia Belisario Quevedo corresponde a 1.32%.

- ***Población de saturación***

La población de saturación fue utilizada como población de diseño, ya que, al tratarse de una urbanización cerrada esta tendrá un punto de saturación, la que será cuando se construya viviendas en todos los terrenos. De acuerdo a la Junta Administradora de Agua Potable de la parroquia Belisario Quevedo y al estudio realizado para la aprobación de la urbanización, la población de saturación en cada lote será de 5 habitantes, en el mismo no se tomó en cuenta la población flotante, que en su mayoría se trata de estudiantes.

Para la determinación de la población de diseño se tomaron en cuenta las características y realidad del sector, de acuerdo a las recomendaciones de (Norma de Diseño Para Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, Disposición de Excretas y Residuos Líquidos En El Área Rural., 2008). La población flotante, según la encuesta realizada en la urbanización representa el 66% del total de los habitantes, la zona se encuentra en expansión. (Normas Para Estudio de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales, Para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes., 2008)

- ***Dotación***

En Junta Administradora de Agua Potable de la parroquia Belisario Quevedo se encuentra el estudio de la urbanización donde se obtuvo que la dotación con la que se diseñó la urbanización es 180 L/hab-día, en la norma (Normas Para Estudio de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales, Para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes., 2008) se indica que la dotación depende de la población y el clima, para poblaciones menores de 5000 habitantes con clima frío corresponde una población de 150 L/hab-día.

Existen estudios que afirman que la tendencia de consumo de agua per cápita en todo el mundo ha ido decreciendo por varios factores como: cambios de comportamiento y concienciación de los

consumidores por asegurar la sostenibilidad de los servicios básicos (Banco Interamericano de Desarrollo, 2020b); lo que sugiere la revisión de la dotación para el desarrollo de estudios para la construcción de infraestructura de agua y saneamiento. Razón por la cual, en el presente estudio se realizó un censo sanitario en el año 2020 y se obtuvieron datos de consumo históricos en la Junta de Agua de la parroquia de los años 2019 y 2021, que permitió determinar la dotación en la urbanización Portón de Bellavista.

3.7.4. Caudal de aguas servidas

- **Caudal medio**

Para la determinación del caudal medio se realizó: el aforo de las aguas residuales, se obtuvieron las cartas de pago de los habitantes de la urbanización y se desarrolló de forma analítica mediante la ecuación de caudal medio de la norma (Normas Para Estudio de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales, Para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes., 2008), para comparar los resultados y obtener un valor real.

$$Q_{med} = \left(\frac{P_f \times D}{86400} \right) Cr \quad (\text{Ec. 3.5})$$

Donde:

Q_{med} = caudal medio L/s

D = Dotación (L/hab-día)

P_f = Población al final del período de diseño

Cr = Coeficiente de retorno, se obtuvo como resultado de la relación entre el caudal de agua residual generada Q_{AR} , (obtenido de los aforos realizados) y el caudal de agua potable que se ha ocupado Q_{AP} , valor obtenido de las cartas de pago. (Normas Para Estudio de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales, Para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes., 2008)

$$Cr = \frac{Q_{AR}}{Q_{AP}} \quad (\text{Ec. 3.6})$$

- **Coeficiente de Mayoración**

El coeficiente de mayoración se ha obtenido mediante la ecuación de Harmon (M) tomada de (Comisión Nacional del Agua, 2019a):

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}} \quad (\text{Ec. 3.7})$$

Donde:

M=Coeficiente de mayoración

P=Población servida acumulada (miles)

Se debe considerar que en tramos con poblaciones acumuladas menores a 1000 habitantes Harmon indica el valor constante de M= 3.8. (Comisión Nacional del Agua, 2019a).

- **Caudal Máximo Instantáneo**

Es importante la determinación del caudal máximo instantáneo por la variación en el consumo del agua durante el día. (Normas Para Estudio de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales, Para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes., 2008). se determina mediante la ecuación indicada por (Comisión Nacional del Agua, 2019a).

$$Q_{max} = Q_{med} \times M \quad (\text{Ec. 3.8})$$

Donde:

Qmax= Caudal máximo instantáneo (L/s)

Qmed= caudal medio (L/s)

M= Coeficiente de mayoración

- **Caudal de Infiltración**

Son las aguas presentes en el suelo que ingresan al sistema de alcantarillado por la existencia de uniones defectuosas en la tubería, pozos de revisión; ocasionados por inconvenientes constructivos, se calcula mediante la ecuación dada por (Organización Panamericana De La Salud, 2005)

$$Q_i = k \times \sum \text{longitud tubería} \text{ (Ec. 3.9)}$$

Donde:

Q_{inf} = Caudal de infiltración (L/s)

k= Valor de Infiltración en tuberías, se obtiene mediante la Tabla 13.

Tabla 13

Valores de infiltración en tuberías

Unión	Caudales de infiltración (L/s*km)							
	Tubo de cemento		Tubo de arcilla		Tubo de arcilla vitrificada		Tubo P.V.C	
	Cemento	Goma	Cemento	Goma	Cemento	Goma	Cemento	Goma
Nivel freático bajo	0.5	0.2	0.5	0.1	0.2	0.1	0.1	0.05
Nivel freático alto	0.8	0.2	0.7	0.1	0.3	0.1	0.15	0.5

Nota. Recuperado de (Organización Panamericana De La Salud, 2005). Guías Para el Diseño de Tecnologías de Alcantarillado. El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Del Ambiente.

- Caudal por conexiones ilícitas o conexiones erradas

Se considera por conexiones mal ejecutadas al sistema de alcantarillado sanitario como conexiones clandestinas y conexiones erradas que permiten el ingreso de aguas pluviales al sistema

sanitario. Puede calcularse mediante la ecuación dada por (Organización Panamericana De La Salud, 2005). Donde se indica que se considera entre el 5% al 10% del caudal máximo instantáneo.

$$Q_e = (0.05 - 0.10) Q_{max} \quad (\text{Ec. 3.10})$$

- **Caudal de diseño**

Resulta de la suma del caudal máximo instantáneo, el caudal de infiltración y el caudal de conexiones ilícitas. (Normas Para Estudio de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales, Para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes., 2008)

$$Q_d = Q_{max} + Q_i + Q_e \quad (\text{Ec. 3.11})$$

Capítulo IV

Resultados y Discusión

4.1. Levantamiento Topográfico

Mediante el Levantamiento Topográfico se determinó que el área verde tiene una superficie de 3624m², para la instalación de la planta de tratamiento de aguas residuales, tanque de reserva, el diseño del sistema de riego y el área de recreación de la urbanización. El relieve varía entre 2742msnm a 2746msnm.

4.2. Censo Sanitario

El desarrollo del censo sanitario permitió realizar un análisis del uso del agua residual, su disposición final, además, obtener el caudal de aguas residuales domésticas por medio de las cartas de pago de los habitantes y los datos obtenidos de la junta administradora de agua potable.

4.2.1. Encuestas

Se realizaron encuestas a un representante por vivienda de la urbanización Portón de Bellavista, donde se obtuvieron los siguientes resultados:

En la Tabla 14 se indica que 10 viviendas en la urbanización son de uso particular, corresponde al 50%, 8 viviendas son destinadas a alquiler 40% y 2 viviendas se encuentra en construcción que corresponde al 10%, se representa gráficamente en la Figura 4.

Por la cercanía con la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga, en el sector se encuentran muchas residencias que alquilan habitaciones y departamentos a estudiantes y personas que laboran en la Universidad.

En la urbanización Portón de Bellavista en los primeros años del traslado de la ESPE al sector en el año 2014, las construcciones han sido intervenidas de manera informal por sus propietarios, creando residencias improvisadas, afectando tanto, a la comodidad de los estudiantes y creando un inconveniente con la provisión de agua potable al sector, ya que las urbanizaciones no han sido diseñadas para este fin. Al no contar con una residencia universitaria provista por la universidad, el sector se ha adaptado a través del tiempo a la demanda estudiantil y cada vez su crecimiento en infraestructura se lo ha realizado de manera planificada y más ordenada. (Santacruz, 2021)

Tabla 14

Uso de vivienda

USO DE VIVIENDA		
De uso particular	10	50.00%
Para alquilar	8	40.00%
En construcción	2	10.00%

Figura 4

Uso de vivienda



En la Tabla 15 y Figura 5 se identifica que 32 habitantes son permanentes y 64 son ocasionales, es decir población flotante. En total habitan 96 personas en la urbanización. Según (Santacruz, 2021) la población flotante representa mundialmente un problema geodemográfico, ya que provoca inconvenientes en el abastecimiento de recursos e infraestructura. Actualizar el plan del desarrollo y

ordenamiento territorial de la parroquia rural Belisario Quevedo es de vital importancia para minimizar dichos inconvenientes.

Tabla 15

Personas que habitan en la vivienda

PERSONAS QUE HABITAN EN LAS VIVIENDAS		
Permanentes	32	33.33%
Ocasionales	64	66.67%
Total	96	100.00%

Figura 5

Personas que habitan en la vivienda

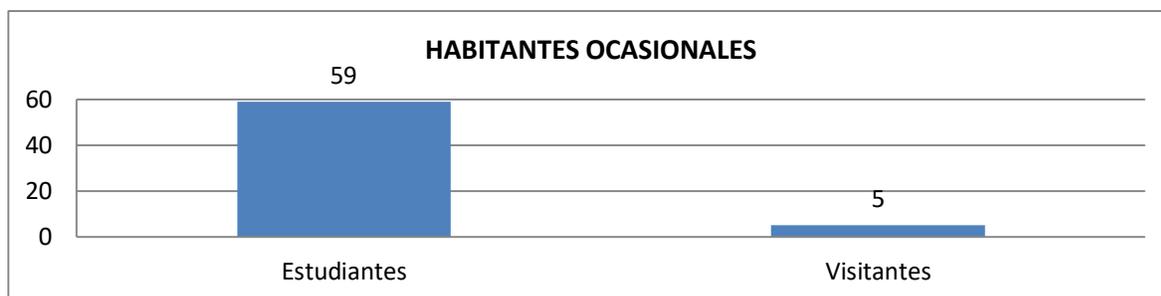


En la Tabla 16 y Figura 6 indican que de los habitantes ocasionales 59 son estudiantes y 5 son visitantes.

Tabla 16

Clasificación de habitantes ocasionales

HABITANTES OCASIONALES		
Estudiantes	59	92.19%
Visitantes	5	7.81%

Figura 6*Clasificación de habitantes ocasionales*

En la Tabla 17 y Figura 7 se encuentra los días de permanencia de los visitantes, de esta manera, los estudiantes tienen una permanencia en las viviendas de 16 -20 días al mes; los visitantes ocasionales tienen una permanencia de 1-5 días por mes.

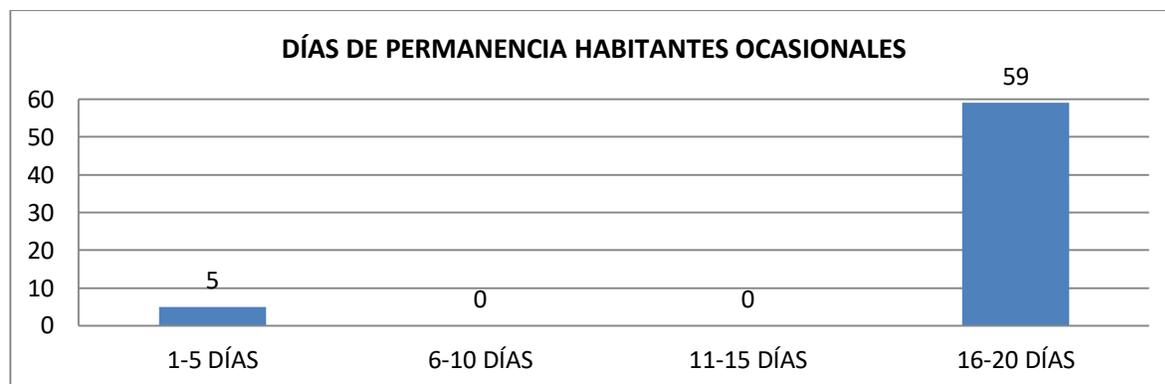
La población flotante que permanece más días al mes en la urbanización Portón de Bellavista corresponde principalmente a estudiantes que forman parte del sistema de educación superior, las viviendas los recibe por períodos de cinco a siete años en promedio. (Herrera, 2017)

Tabla 17*Días de permanencia al mes de habitantes ocasionales*

DÍAS DE PERMANENCIA AL MES DE HABITANTES OCASIONALES		
1-5 días	5	7.81%
6-10 días	0	0.00%
11-15 días	0	0.00%
16-20 días	59	92.19%

Figura 7

Días de permanencia al mes de habitantes ocasionales



En la Tabla 18 y Figura 8 se indica que los habitantes de la urbanización Portón de Bellavista disponen de agua potable. Los habitantes que no disponen del servicio de agua potable es porque no han solicitado la instalación del medidor de agua a la junta.

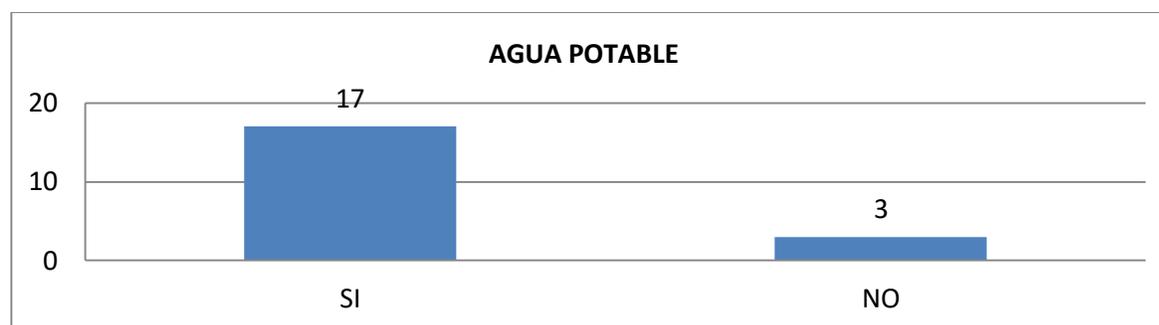
De acuerdo a (Banco Interamericano de Desarrollo, 2020a) América Latina se caracteriza por la abundancia de agua que existe, en Ecuador y específicamente en la parroquia Belisario Quevedo cuenta con agua para satisfacer las necesidades actuales de la población, sin embargo, el recurso hídrico ha disminuido en los últimos 25 años entre el 30 – 50% (Barbosa & Bustillos, 2020).

Esta variación de caudales ha sido ocasionada por los cambios en el ciclo hidrológico, cambio climático, crecimiento poblacional, deficiente conservación de los cuerpos de agua, cambios de uso de suelo, expansión de la frontera agrícola, deforestación; estos factores representan una amenaza a la seguridad hídrica del sector, donde la meta es garantizar la calidad y cantidad de agua para el satisfacer la diversidad de su uso. (Banco Interamericano de Desarrollo, 2020a)

Tabla 18

Disponibilidad de agua potable

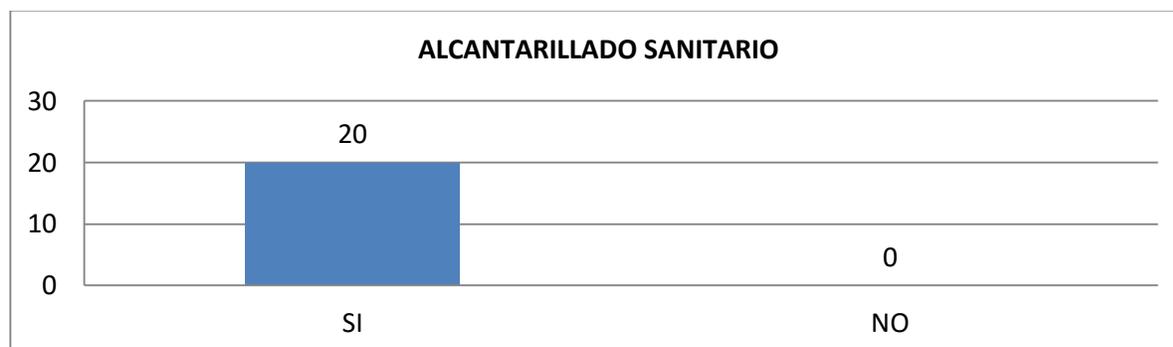
DISPONIBILIDAD DE AGUA POTABLE		
SI	17	85.00%
NO	3	15.00%

Figura 8*Disponibilidad de agua potable*

En la Tabla 19 y Figura 9 se indica que en la urbanización cuentan con alcantarillado sanitario. Según (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Belisario Quevedo, 2019) existen dos sistemas principales de alcantarillado sanitario, uno antiguo y uno nuevo; de los cuales, el antiguo descarga las aguas residuales en el río Illuchi, mientras que el nuevo sistema cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales, sin embargo, un pequeño porcentaje de barrios en la parroquia Belisario Quevedo cuentan con alcantarillado sanitario, simplemente se benefician con este servicio las viviendas cercanas a las vías principales y las que se encuentran en la cabecera parroquial; constituyendo un problema ambiental grave.

Tabla 19*Disponibilidad de alcantarillado sanitario*

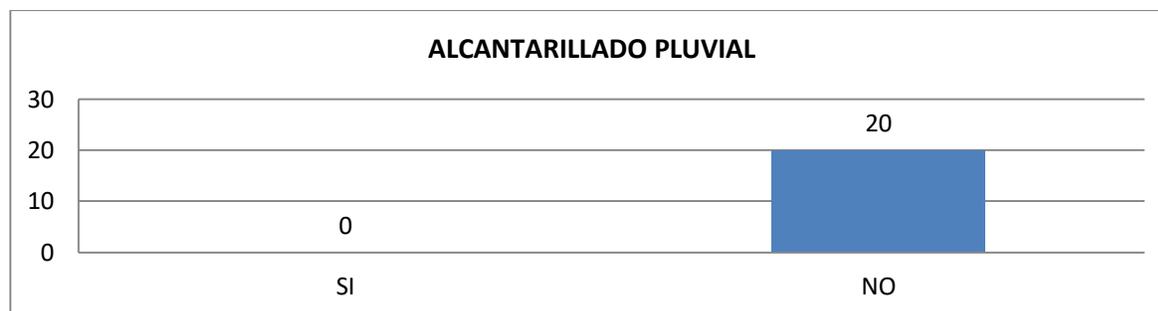
DISPONIBILIDAD DE ALCANTARILLADO SANITARIO		
SI	20	100.00%
NO	0	0.00%

Figura 9*Disponibilidad de alcantarillado sanitario*

En la Tabla 20 y Figura 10 se indica que en la urbanización no cuentan con un sistema de alcantarillado pluvial. La parroquia Belisario Quevedo no tiene un sistema de alcantarillado separado por lo que en las épocas de lluvia el sistema colapsa. (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Belisario Quevedo, 2019). Lo que provoca que el agua residual contamine terrenos y ríos, además, el agua lluvia diluye las aguas residuales y las plantas de tratamiento se ven comprometidas en su eficiencia. (Banco Interamericano de Desarrollo, 2020b)

Tabla 20*Disponibilidad de alcantarillado pluvial*

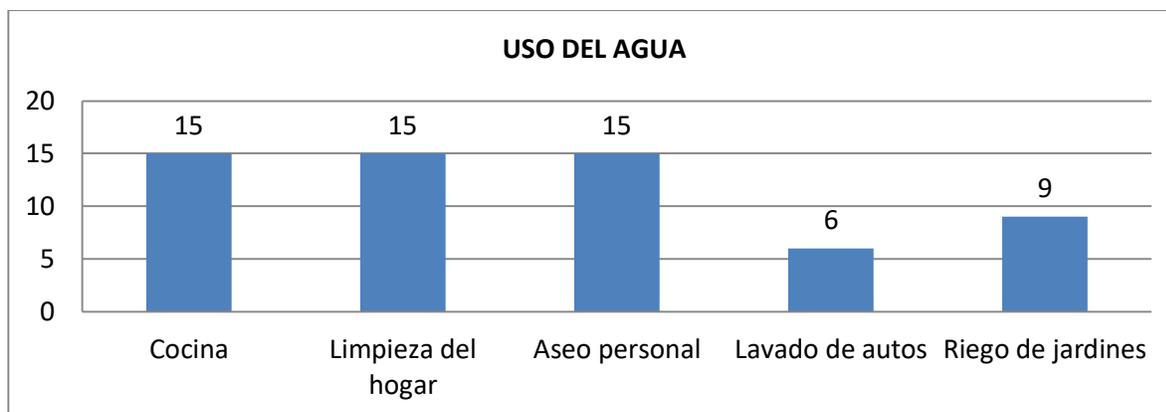
DISPONIBILIDAD DE ALCANTARILLADO PLUVIAL		
SI	0	0.00%
NO	20	100.00%

Figura 10*Disponibilidad de alcantarillado pluvial*

El 75% de los habitantes utilizan el agua en la cocina, limpieza del hogar, aseo personal. El 30% utilizan el agua para el lavado de autos y el 45% para riego de jardines como se presenta en la Tabla 21 y Figura 11. El agua destinada para consumo humano no debería tener ningún otro uso, puesto que las fuentes de agua van disminuyendo su caudal por la gestión ineficiente a lo largo de los años, sin tomar en cuenta la sostenibilidad del recurso. Es el momento de gestionar los recursos hídricos de manera integral, relacionando las necesidades humanas, agrícolas e industriales con el ambiente. De esta manera optar por la reutilización del agua para evitar la extracción de caudales cada vez mayores y disminuir las descargas, por ende, menor cantidad de agua que se debe tratar. (Banco Interamericano de Desarrollo, 2020b)

Tabla 21*Actividades en las que se utilizan el agua*

ACTIVIDADES EN LAS QUE SE UTILIZA EL AGUA		
Cocina	15	75%
Limpieza del hogar	15	75%
Aseo personal	15	75%
Lavado de autos	6	30%
Riego de jardines	9	45%

Figura 11*Actividades en las que se utilizan el agua*

En la Tabla 22 y Figura 12 se indica que el abastecimiento de agua es continuo para todos los habitantes de la urbanización, excepto para los propietarios de las viviendas que no cuentan con las conexiones de agua para consumo humano con su respectivo medidor.

Tabla 22*Abastecimiento continuo de agua*

ABASTECIMIENTO DE AGUA CONTINUO		
SI	17	85.00%
NO	3	15.00%

Figura 12*Abastecimiento continuo de agua*

El 13.33% de los habitantes utilizan pesticidas en sus jardines, mientras que el 86.67% no lo utilizan como se indica en la Tabla 23 y en la Figura 13. El uso de pesticidas en jardines afecta a la polinización, por la disminución de insectos polinizadores. (Castro & Mosquera, 2021). Además, de contaminar el suelo podría contaminar las fuentes subterráneas de agua o infiltrarse en el sistema de alcantarillado. Los pesticidas químicos pueden reemplazarse por pesticidas orgánicos. (Arteaga et al., 2019)

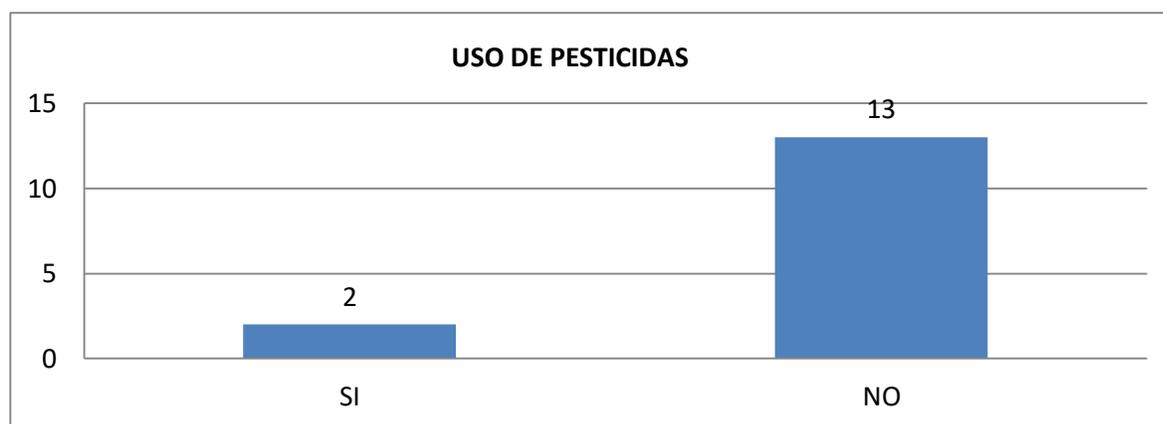
Tabla 23

Utilización de pesticidas

UTILIZACIÓN DE PESTICIDAS		
SI	2	13.33%
NO	13	86.67%

Figura 13

Utilización de pesticidas



4.2.2. Consumo de Agua Potable

Los datos recolectados sobre consumo de agua en la Urbanización Portón de Bellavista se encuentran en la Tabla 24 del año 2019, en la Tabla 25 del año 2020 y en la Tabla 26 de enero a mayo del año 2021, en las tablas se indican las personas que tienen una vivienda en la urbanización, sus consumos

de agua mediante las cartas de pago por el servicio, entregado por los habitantes de la urbanización y obtenidos de la base de datos de la junta de agua. Existen viviendas que no han solicitado un medidor ya que no están habitadas.

El costo del servicio de agua para consumo humano es de 3,00 dólares de 0 a 15m³ mensuales, por cada metro cúbico adicional el costo es de 0,25 centavos. Las penalizaciones por el uso en exceso de agua potable, no garantiza que bajen los consumos; la sostenibilidad de las fuentes se logra mejorando la eficiencia operativa: micro medición y optimizando la contabilización del agua. (Banco Interamericano de Desarrollo, 2019)

Según (Banco Interamericano de Desarrollo, 2015) se deben establecer tarifas que cubran los costos operativos del servicio, además, de incorporar en las tarifas un valor para la protección de los recursos hídricos y asegurar la sostenibilidad de las fuentes.

Tabla 24

Consumo de agua según cartas de pago año 2019

Usuarios		Consumo de agua por mes del año 2019											
N°	Nombre	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
		m3/mes	m3/mes	m3/mes	m3/mes	m3/mes	m3/mes	m3/mes	m3/mes	m3/mes	m3/mes	m3/mes	m3/mes
1	* Álvarez Klever	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	Casa Carlosama Segundo Ricardo	12.00	13.00	24.00	10.00	18.00	18.00	19.00	21.00	20.00	15.00	13.00	16.00
3	Cerda Amores Marcia Yolanda	6.00	6.00	10.00	9.00	21.00	24.00	20.00	4.00	23.00	33.00	54.00	82.00
4	* Coral Iván	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	Duque Argüello Celio Lautaro	22.00	22.00	31.00	30.00	44.00	75.00	47.00	9.00	50.00	57.00	68.00	61.00
6	Flores Toca Francisco Rosalino	2.00	2.00	5.00	8.00	10.00	10.00	7.00	2.00	8.00	8.00	0.00	0.00
7	Freire Pacheco Jenny Margarita	8.00	8.00	7.00	10.00	12.00	4.00	23.00	32.00	25.00	29.00	21.00	22.00
8	Gallardo Valladares María	24.00	24.00	10.00	19.00	29.00	12.00	9.00	2.00	20.00	30.00	17.00	12.00
9	Guillen Sánchez Henry René	1.00	1.00	9.00	11.00	19.00	10.00	6.00	1.00	8.00	11.00	8.00	7.00
10	** Murgueitio Reyes Jenny	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	* Navas Stephany	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	Pazmiño Guzman Edison Marcelo	2.00	2.00	2.00	1.00	5.00	10.00	12.00	2.00	10.00	15.00	12.00	7.00
13	Pazmiño Mena Karen Elizabeth	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	20.00	19.00	17.00
14	** Proaño De La Vega Alex	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	Recalde Tapia Víctor Hugo	31.00	31.00	51.00	16.00	22.00	14.00	3.00	5.00	8.00	10.00	8.00	7.00
16	Sánchez Tapia Laura Alicia	3.00	3.00	2.00	1.00	4.00	2.00	23.00	6.00	6.00	5.00	4.00	9.00
17	Sánchez Yáñez Margarita Genoveva	6.00	6.00	3.00	4.00	16.00	17.00	10.00	1.00	9.00	12.00	20.00	16.00
18	Tipanquiza Escobar Luis Astrubal	22.00	22.00	14.00	14.00	22.00	13.00	17.00	19.00	20.00	16.00	25.00	33.00
19	Tipanquiza Escobar Cartujano	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	Zambrano Loja Elena Alexandra	13.00	13.00	19.00	20.00	16.00	25.00	29.00	13.00	16.00	24.00	19.00	23.00
CONSUMO TOTAL		152.0	153.0	187.0	153.0	238.0	234.0	225.0	117.0	225.0	285.0	288.0	312.0

Nota. * son las personas que tienen una casa terminada o en construcción sin instalar el medidor. ** son las personas que tienen una casa en construcción y cuentan con un medidor.

Tabla 25

Consumo de agua según cartas de pago año 2020

Usuarios		Consumo de agua por mes del año 2020											
N°	Nombre	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
		m3/mes	m3/mes	m3/mes	m3/mes	m3/mes	m3/mes	m3/mes	m3/mes	m3/mes	m3/mes	m3/mes	m3/mes
1	* Álvarez Klever	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	Casa Carlosama Segundo Ricardo	12.00	13.00	24.00	9.00	9.00	16.00	17.00	13.00	17.00	16.00	12.00	15.00
3	Cerda Amores Marcia Yolanda	14.00	12.00	70.00	23.00	47.00	72.00	33.00	36.00	41.00	49.00	33.00	49.00
4	* Coral Iván	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	Duque Argüello Celio Lautaro	63.00	26.00	6.00	2.00	15.00	62.00	31.00	30.00	20.00	14.00	25.00	44.00
6	Flores Toca Francisco Rosalino	31.00	1.00	8.00	4.00	3.00	2.00	4.00	3.00	14.00	6.00	2.00	4.00
7	Freire Pacheco Jenny Margarita	25.00	16.00	45.00	15.00	18.00	34.00	35.00	55.00	45.00	31.00	38.00	50.00
8	Gallardo Valladares María	20.00	26.00	91.00	54.00	65.00	9.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00	2.00
9	Guillen Sánchez Henry René	5.00	0.00	0.00	0.00	1.00	12.00	15.00	19.00	22.00	22.00	10.00	16.00
10	** Murgueitio Reyes Jenny	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	* Navas Stephany	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	Pazmiño Guzman Edison Marcelo	7.00	2.00	1.00	0.00	0.00	0.00	6.00	10.00	8.00	10.00	8.00	11.00
13	Pazmiño Mena Karen Elizabeth	11.00	9.00	40.00	30.00	33.00	35.00	4.00	11.00	7.00	6.00	11.00	7.00
14	** Proaño De La Vega Alex	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	Recalde Tapia Víctor Hugo	12.00	22.00	74.00	2.00	0.00	11.00	7.00	15.00	4.00	3.00	8.00	15.00
16	Sánchez Tapia Laura Alicia	5.00	5.00	12.00	7.00	7.00	10.00	9.00	7.00	8.00	9.00	6.00	7.00
17	Sánchez Yáñez Margarita	3.00	2.00	0.00	3.00	0.00	4.00	3.00	5.00	6.00	7.00	3.00	3.00
18	Tipanquiza Escobar Luis	13.00	13.00	34.00	17.00	18.00	22.00	18.00	13.00	18.00	13.00	14.00	16.00
19	Tipanquiza Escobar Cartujano	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	10.00	5.00
20	Zambrano Loja Elena Alexandr	14.00	10.00	34.00	21.00	16.00	21.00	22.00	21.00	24.00	20.00	21.00	26.00
CONSUMO TOTAL		235.0	157.0	439.0	187.0	232.0	310.0	206.0	240.0	236.0	211.0	202.0	270.0

Nota. * son las personas que tienen una casa sin instalar el medidor. ** son las personas que tienen una casa en construcción y cuentan con un medidor.

Tabla 26

Consumo de agua según cartas de pago año 2021

Usuarios		Consumo de agua por mes del año 2021				
N°	Nombre	ene	feb	mar	abr	may
		m3/mes	m3/mes	m3/mes	m3/mes	m3/mes
1	* Álvarez Klever	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	Casa Carlosama Segundo Ricardo	16.00	12.00	14.00	11.00	13.00
3	Cerda Amores Marcia Yolanda	57.00	26.00	37.00	23.00	22.00
4	* Coral Iván	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	Duque Argüello Celio Lautaro	25.00	29.00	30.00	15.00	16.00
6	Flores Toca Francisco Rosalino	2.00	2.00	3.00	3.00	3.00
7	Freire Pacheco Jenny Margarita	25.00	23.00	48.00	39.00	22.00
8	Gallardo Valladares María Graciela	1.00	2.00	3.00	0.00	2.00
9	Guillen Sánchez Henry René	18.00	14.00	16.00	14.00	15.00
10	** Murgueitio Reyes Jenny Francisca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	* Navas Stephany	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	Pazmiño Guzman Edison Marcelo	9.00	10.00	12.00	9.00	13.00
13	Pazmiño Mena Karen Elizabeth	4.00	3.00	16.00	3.00	3.00
14	** Proaño De La Vega Alex Maximiliano	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	Recalde Tapia Víctor Hugo	23.00	9.00	34.00	6.00	12.00
16	Sánchez Tapia Laura Alicia	7.00	6.00	8.00	7.00	6.00
17	Sánchez Yáñez Margarita Genoveva	2.00	3.00	2.00	1.00	0.00
18	Tipanquiza Escobar Luis Astrubal	11.00	12.00	18.00	12.00	10.00
19	Tipanquiza Escobar Cartujano	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
20	Zambrano Loja Elena Alexandra	18.00	19.00	26.00	21.00	15.00
CONSUMO TOTAL		219.00	170.00	267.00	164.00	153.00

Nota. * son las personas que tienen una casa sin instalar el medidor. ** son las personas que tienen una casa en construcción y cuentan con un medidor.

En los meses: agosto del año 2019 y febrero 2020, los estudiantes que habitan en la urbanización estuvieron de vacaciones, lo que se refleja en la disminución del consumo de agua. En la Tabla 27, se indican las fechas de inicio y fin de clases de los años 2019, 2020 y 2021.

Tabla 27*Calendario Académico de la Universidad de la Fuerza Armadas ESPE*

Período Académico	Fechas
SII 2019 (septiembre 2019 – enero 2020) 201951	16 de septiembre de 2019 03 de febrero de 2020
SI 2020 (mayo – septiembre 2020) 202050	18 de mayo de 2020 11 de septiembre de 2020
SII 2020 (noviembre 2020 – abril 2021) 202051	30 de noviembre de 2020 05 de abril de 2021
SI 2021 (mayo – septiembre 2021) 202150	17 de mayo de 2021 10 de septiembre 2021

Nota. Recuperado de (Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2021) Calendarios académicos.

El período académico SI 2020 mayo – septiembre 2020 estuvo planificado iniciar en marzo, debido a la pandemia mundial ocasionada por el COVID 19 y el estado de excepción decretada por el gobierno, fue aplazado hasta el mes de mayo, durante este semestre la permanencia de los estudiantes fue irregular; se encontraban 59 estudiantes en la urbanización en el mes de marzo, los siguientes meses los estudiantes permanecieron ciertos días en la urbanización, sin dejar de ocupar los cuartos y departamentos arrendados, los habitantes permanentes de la urbanización estuvieron en cuarentena en sus domicilios, lo que explica la variabilidad de consumo de agua.

En el transcurso del año 2021 en la urbanización no permanece ningún estudiante, debido a que las clases de la universidad se dictan de manera virtual, se encuentran solamente los habitantes permanentes. Se puede notar que el consumo de agua en el año 2020 ha incrementado por el confinamiento obligatorio, mientras que en el año 2021 ha ido normalizándose. (Mancilla et al., 2020) indican que la emergencia sanitaria ha aumentado el consumo de agua potable en Chile en un 69.3%; según (Zamora, 2020) en México existió un incremento en el consumo de agua entre el 20% y 50%; en las

provincias de Morona Santiago y Chimborazo, se presenta un incremento de consumo en las zonas urbanas mientras que, en las zonas rurales, que se dedican a la agricultura y ganadería, no tuvieron variaciones (Guayara & Peña, 2021). En consecuencia, el incremento del consumo de agua potable ha sido generalizado, es importante tomar en cuenta el cuidado del recurso para garantizarlo en el futuro.

4.2.3. Datos de Aforo

Los datos de volumen obtenidos en un intervalo de una hora en diferentes horarios se indican en la Tabla 28, para obtener un promedio del caudal en el período de una hora como se indica en la Tabla 29. Con su respectivo gráfico de variación de caudal. Figura 14.

Tabla 28

Aforo de aguas residuales domésticas en la urbanización Portón de Bellavista

Hora	Volumen (m3)				
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
07:00 - 08:00	0.23	0.26		0.20	0.20
09:00 - 10:00	0.18		0.18	0.15	
12:00 - 13:00	0.26		0.20		
14:00 - 15:00	0.15	0.12			0.12
16:00 - 17:00	0.18	0.15			0.18
18:00 - 19:00	0.29			0.26	0.29

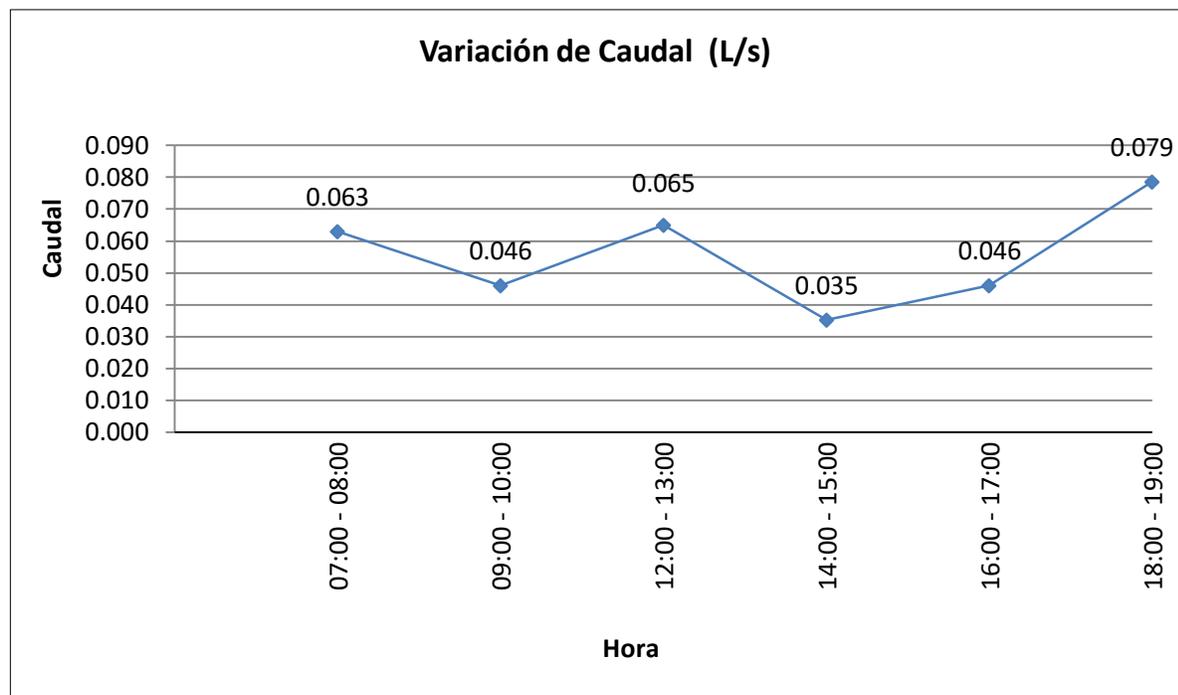
Tabla 29

Caudal aforado de aguas residuales domésticas en la urbanización Portón de Bellavista

Hora	Caudal (L/s)
07:00 - 08:00	0.063
09:00 - 10:00	0.046
12:00 - 13:00	0.065
14:00 - 15:00	0.035
16:00 - 17:00	0.046
18:00 - 19:00	0.079
PROMEDIO	0.056

Figura 14

Variación de caudal aforado de aguas residuales domésticas.



4.3. Calidad de aguas residuales

4.3.1. Muestreo

Los resultados obtenidos del análisis físico químico y bacteriológico de las aguas residuales domésticas de la urbanización Portón de Bellavista se encuentran en la Tabla 30 y Tabla 31; fueron realizados en el laboratorio privado Lacquanalysis de la ciudad de Ambato.

En la Tabla 32, se encuentran los resultados de los análisis realizados en el sitio con el equipo multiparámetro.

Tabla 30

Resultado de Análisis Físico Químico de Aguas Residuales antes de iniciar el tratamiento

Parámetros	Unidad	Resultado	Método	Incertidumbre
Aceites y Grasas	mg/L	12.00	PRO TEC 053/APHA 5520 B	± 11.44%
Alcalinidad de Bicarbonatos (naranja de metilo)	mg/L	323.00	APHA 2320 B	-----
Boro	mg/L	<0.30	Satandard Method Ed. 23, 2017, 4500-B C/PA 96.00	±0.06mg/l
Calcio	mg/L	11.42	PRO TEC 051 / APHA 3500 Ca B	±13.14%
Cloruros	mg/L	89.33	PRO TEC 047 / APHA 4500 Cl- B	±3.13%
DBO ₅	mg/L	189.36	PRO TEC 066 / HACH 8043	±3.72%
DQO	mg/L	359.00	PRO TEC 014 / APHA 5220 D	±25.26%
Magnesio	mg/L	4.62	PRO TEC 052 / APHA 3500 Mg B	±4.70%
Nitratos	mg/L	0.29	PRO TEC 024 / HACH 8192	±7.95%
Sodio	mg/L	64.35	Satandard Method 3120 B, 3030 B, 3030 D, 3030 E	±0.28%

Tabla 31

Resultado de Análisis Físico Bacteriológico antes de iniciar el tratamiento

Parámetros	Unidad	Resultado	Método	Incertidumbre
Coliformes totales	NMP/100 mL	15000	Satandard Method Ed. 22, 2012, 9221 B, E y F /PA 66.00	-----
Huevos de parásitos	Huevos/mL	<1	NMX-AA-113-SCFI-98.00	-----

Tabla 32

Resultado de Análisis en el Sitio

Fecha	Hora	Parámetros			
		Temperatura (°C)	pH	Conductividad eléctrica CE (mS/cm)	Sólidos disueltos totales TDS (ppm)
23-nov-20	8:00	15,6	7,7	0,86	616
24-nov-20	17:00	16,1	7,8	0,90	684
25-nov-20	9:00	15,8	8	0,71	510
26-nov-20	18:00	16	7,7	0,82	604
27-nov-20	8:00	15,8	7,8	0,88	653

De acuerdo a los resultados de los análisis de las aguas residuales, la limitación para uso agrícola del agua se encuentra levemente superior al grado de restricción ligero, sin llegar al límite moderado.

Entre los parámetros analizados: Aceites y grasas, coliformes totales y huevos de parásitos se encuentran sobre los valores admitidos de la tabla de calidad para agua de uso agrícola, los parámetros DBO₅ y DQO también sobrepasan los valores admisibles para descarga de acuerdo (Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, Norma de Calidad Ambiental y de Descargas de Efluentes: Recurso Agua. Libro VI. Anexo 1., 2015), por lo cual se realizó el diseño e implementación de la planta de tratamiento piloto para la urbanización Portón de Bellavista.

4.4. Estudio definitivo

4.4.1. Parámetros de diseño

- **Período de diseño**

Se tomó en cuenta un período de diseño de 20 años, ya que una planta de tratamiento de aguas residuales es un proyecto donde su ampliación por módulos es factible, por el acelerado crecimiento poblacional, especialmente por la demanda estudiantil en el lugar y el aspecto económico para los pobladores actuales. (Normas Para Estudio de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales, Para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes., 2008)

- **Población actual**

Se tomó en cuenta la población que tendría la urbanización si estuvieran todos los habitantes, tanto permanentes como estudiantes, 96 habitantes.

- **Población de saturación**

Mediante la revisión del estudio ingresado en la dirección de agua potable y alcantarillado del Gobierno Cantonal de Latacunga y la Junta de Agua de Belisario Quevedo la población de saturación corresponde a la población de diseño Pd.

$$Pd = 5 \text{ habitantes} \times 68 \text{ lotes}$$

$$Pd = 340 \text{ hab}$$

- **Dotación**

Con los datos de la Tabla 26. Consumo de agua según cartas de pago del año 2021 se determina la dotación de los habitantes permanentes se indica en la Tabla 33, ya que en este año no se encuentran estudiantes en la urbanización.

La dotación promedio es 200,94 L/hab-día, que es un valor superior al considerado en el diseño de agua potable y alcantarillado de la urbanización.

Tabla 33

Dotación de la población permanente en la urbanización Portón de Bellavista

Dotación población permanente				
Mes	Consumo m³/mes	Consumo L/día	Habitantes	Dotación L/hab-día
ene-21	219.00	7064.52	32	220.77
feb-21	170.00	6071.43	32	189.73
mar-21	267.00	8612.90	32	269.15
abr-21	164.00	5466.67	32	170.83
may-21	153.00	4935.48	32	154.23
9PROMEDIO				200.94

La dotación para la población flotante, correspondiente a los estudiantes que habitan en la urbanización se obtiene de las Tabla: 24 Consumo de agua según cartas de pago del año 2019 y 25 Consumo de agua según cartas de pago del año 2020; antes de la pandemia, del período académico SII

2019 (septiembre 2019 – enero 2020) 201951, con fechas del 16 de septiembre de 2019 al 09 de febrero de 2020, como se indica en la Tabla 34.

Tabla 34

Dotación de la población flotante en la urbanización Portón de Bellavista

Dotación población flotante						
Mes	Consumo m3/mes	Consumo L/día	Consumo población permanente	Consumo población flotante	Población Flotante	Dotación L/hab-día
sep-19	225.00	7500.00	6430.08	1069.92	64	16.72
oct-19	285.00	9193.55	6430.08	2763.47	64	43.18
nov-19	288.00	9600.00	6430.08	3169.92	64	49.53
dic-19	312.00	10064.52	6430.08	3634.44	64	56.79
ene-20	235.00	7580.65	6430.08	1150.57	64	17.98
PROMEDIO						36.84

El caudal de la población flotantes obtenida es 36.84 L/hab-día corresponde al 18.33% de la dotación de los habitantes permanentes en la urbanización.

4.4.2. Caudal de aguas servidas

- **Caudal medio**

De la ecuación 3.5 se obtuvo el caudal medio, tomando en cuenta una dotación de 200.94L/hab-día y como población futura a la población de saturación de la Urbanización 340 habitantes.

Mediante la ecuación 3.6 se determinó el coeficiente de retorno, el caudal de agua residual se obtuvo del promedio del caudal aforado en la semana del 23-27 de noviembre de 2020 de la Tabla 29 y el caudal de agua potable se obtuvo de las cartas de pago del servicio promedio del mismo mes de la Tabla 25. Consumo de agua según cartas de pago del año 2020

$$Cr = \frac{0.056L/s}{0.078 L/s}$$

$$Cr = 0.72$$

$$Q_{med} = \left(\frac{200.94 L/hab/día \times 340hab}{86400} \right) \times 0.72$$

$$Q_{med} = 0.57L/s$$

- **Factor de Simultaneidad Coeficiente de Mayoración**

$$M = 3.8 \text{ (Comisión Nacional del Agua, 2019a)}$$

- **Caudal Máximo Instantáneo**

Se obtuvo mediante la ecuación 3.8

$$Q_{max} = 0.57 L/s \times 3.8$$

$$Q_{max} = 2.17L/s$$

- **Caudal de Infiltración**

Se produce por la existencia de uniones defectuosas en la tubería, inconvenientes constructivos, altura de nivel freático, mediante la ecuación 3.9. El material de las tuberías y uniones para el sistema de alcantarillado en la urbanización es de cemento y se cuenta con un nivel freático bajo. (Gutiérrez, 2017)

$$Qi = 0.5 L/s \times km \times 0.901 km$$

$$Qi = 0.45 L/s$$

- **Caudal por conexiones ilícitas o conexiones erradas**

Se determinó mediante la ecuación 3.10, se considera el 10% del caudal máximo instantáneo.

$$Q_e = 0.10 \times (2.17L/s)$$

$$Q_e = 0.22 L/s$$

- **Caudal de diseño**

El caudal de diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales domesticas es 2.71L/s, obtenido mediante la ecuación 3.11

$$Q_d = 2.17L/s + 0.45 L/s + 0.22 L/s$$

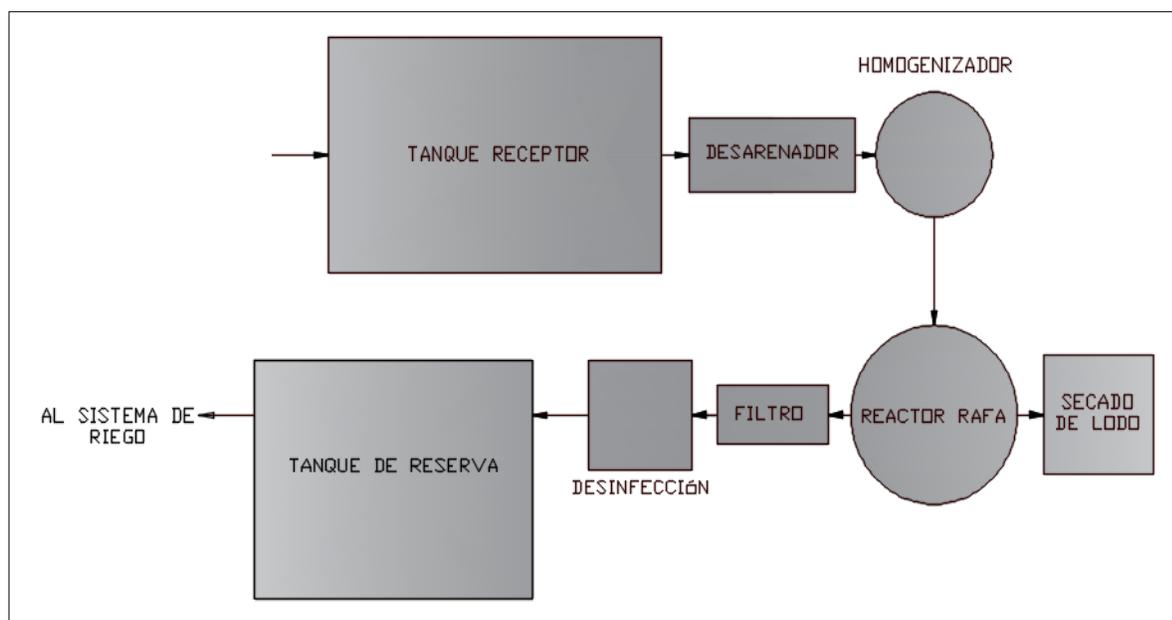
$$Q_d = 2.84 L/s$$

4.4.3. Diseño de un sistema de tratamiento anaerobio

A continuación, se presenta el tren de tratamiento definitivo para la urbanización Portón de Bellavista, mediante la Figura 15.

Figura 15

Tren de tratamiento urbanización Portón de Bellavista



- **Desarenador**

El tipo de desarenador utilizado en el proyecto se denomina desarenador horizontal tipo canal, se basa en la eliminación de arena. Es importante para evitar el depósito de arena en el Reactor RAFA, de esta manera se disminuye la frecuencia de su limpieza, además previene problemas de desgaste en equipos mecánicos en este caso la bomba para el sistema de riego. El retiro de arena se realizará de forma manual. (Comisión Nacional del Agua, 2019c).

En la Tabla 35 se encuentran los criterios de diseño para el desarenador.

Tabla 35

Datos para el diseño de desarenadores con flujo horizontal

Parámetro	Valor
Caudal de diseño Q (m ³ /s)	0.00284
Dimensiones	Valor
Profundidad h (m)	0.6
Longitud L (m)	3
% adicional por entrada y turbulencia	30
Tiempo de retención Tr (s)	60

Nota. Tabla adaptada del libro Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Pretratamiento y Tratamiento Primario (Comisión Nacional del Agua, 2019c)

Se considera una profundidad de 1.5 veces el ancho. (Comisión Nacional del Agua, 2019c).

Mediante la ecuación 4.1.

$$h = 0.60m$$

$$h = 1.5 \times b \quad (\text{Ec. 4.1})$$

Donde:

b= ancho de desarenador

h= altura de desarenador

$$b = 0.40m \approx 0.50m \therefore h = 0.75$$

Velocidad de sedimentación

Mediante la ecuación 4.2 obtenida de (Crites & Tchobanoglous, 2000) se determinó la velocidad de sedimentación.

$$V_{\text{sedimentación}} = \frac{h}{Tr} \quad (\text{Ec. 4.2})$$

$$V_{\text{sedimentación}} = \frac{0.60 \text{ m}}{60 \text{ s}}$$

$$V_{\text{sedimentación}} = 0.01 \text{ m/s}$$

Según (Crites & Tchobanoglous, 2000) la velocidad de sedimentación entre 2 – 3 pie/min (0.010 – 0.015 m/s) permiten la sedimentación de partículas de 0.15mm con una gravedad específica de 2.65 y una temperatura de 15.5°C.

En la Tabla 36 se encuentran las dimensiones y características del desarenador.

Tabla 36

Desarenadores características

Descripción	Valor
Material	H°A° 210 kg/cm ²
Ancho b (m)	0.50
Profundidad h (m)	1.00
Longitud L (m)	3.00
Tiempo de retención Tr (s)	60
Borde libre	0.25

- **Igualación u homogenización**

La homogenización amortigua la variación de caudales y carga contaminante en el agua residual, por medio de este se consigue un caudal con características uniformes. (Crites & Tchobanoglous, 2000)

Se determinó el volumen necesario para la unidad de homogenización con los datos de aforo obtenidos, se encuentra en la Tabla 37.

Tabla 37

Determinación del volumen del tanque de homogenización de caudal

Intervalo de tiempo	Caudal promedio horario L/s	Caudal promedio horario m3/s	Volumen período m3	Volumen horario acumulado m3	Volumen promedio m3	Diferencia volumen m3	Volumen acumulado m3
07:00 -08:00	0.013	0.000013	0.047	0.047	0.053	0.006	0.006
08:00 -09:00	0.012	0.000012	0.043	0.089	0.053	0.01034028	0.017
09:00 - 10:00	0.011	0.000011	0.039	0.128	0.053	0.01425694	0.031
10:00 - 11:00	0.016	0.000016	0.056	0.184	0.053	-0.00290972	0.028
11:00 -12:00	0.020	0.000020	0.073	0.257	0.053	-0.02007639	0.008
12:00 - 13:00	0.020	0.000020	0.073	0.330	0.053	-0.02007639	-0.012
13:00 - 14:00	0.015	0.000015	0.054	0.383	0.053	-0.00090972	-0.013
14:00 - 15:00	0.010	0.000010	0.035	0.418	0.053	0.01825694	0.005
15:00 - 16:00	0.010	0.000010	0.037	0.455	0.053	0.01592361	0.021
16:00 - 17:00	0.011	0.000011	0.039	0.494	0.053	0.01359028	0.035
17:00 - 18:00	0.017	0.000017	0.060	0.554	0.053	-0.00707639	0.028
18:00 - 19:00	0.022	0.000022	0.081	0.635	0.053	-0.02774306	0.000
PROMEDIO	0.015		0.053				

La diferencia entre el valor máximo y mínimo del volumen acumulado es el volumen mínimo a tomar en cuenta para el diseño del tanque de homogenización (Crites & Tchobanoglous, 2000). Como se indica en la ecuación 4.3

$$V_{m\acute{a}x} = 0.035 \text{ m}^3$$

$$V_{m\acute{i}n} = -0.013 \text{ m}^3$$

$$V_{homogenizaci\acute{o}n} = V_{m\acute{a}x} - V_{m\acute{i}n} \quad (\text{Ec. 4.3})$$

$$V_{homogenizaci\acute{o}n} = 0.048 \text{ m}^3$$

El volumen de homogenización siempre debe ser mayor que el volumen calculado teóricamente, ya que pueden existir cambios de caudal no predecibles en días determinados, el tanque de

homogenización no puede vaciarse. (Metcalf & Eddy, 2003) Por lo que se utilizó el caudal medio al final del período de diseño para el homogenizado.

$$Q = 2.052m^3/h$$

Tiempo de retención

Según (Albuja, 2019) el tiempo de retención en un tanque de homogenización varía entre 6 a 24 horas.

$$V_{homogenización} = \frac{2.052m^3}{h} \times 10h$$

$$V_{homogenizador} = 20.52m^3$$

Mediante la fórmula del volumen de un cilindro, se determina las dimensiones del homogenizador y se indican en la Tabla 38.

Tabla 38

Dimensiones Tanque Homogenización

Descripción	Valor
Material	H°A° 210 kg/cm ²
Profundidad h (m)	2.55
Diámetro d (m)	3.20
Volumen V _{homogenizador} (m ³)	20.26
Borde Libre (m)	0.10

- **Reactor Rafa**

Se trata de un tratamiento biológico de aguas residuales, tiene un bajo consumo energético, la materia orgánica en las aguas residuales son transformadas en metano, bióxido de carbono y masa microbiana, cuenta con una baja producción de lodos. El agua ingresa por la parte inferior del tanque

para que circule de manera ascendente, pasando por el manto de lodos. El biogas producido, el agua y las partículas adheridas al gas continúan el ascenso hasta los deflectores los que ayudan a la separación del biogas y el lodo. (Comision Nacional Del Agua, 2019)

El biogas sale por la campana de recolección, los sólidos que ascendieron con el agua se separan en el compartimento sedimentador y descienden, mientras que el efluente tratado se traslada hacia la parte superior del tanque para su salida. El lodo estabilizado que se extrae del reactor tiene un contenido bajo de materia organiza y patógenos. (Metcalf & Eddy, 2003)

Los factores que afectan el desempeño del Reactor RAFA son: temperatura, pH, nutrientes, variación de carga orgánica y algunos componentes del agua residual (metales pesados, sulfuro, oxígeno). Mientras que los parámetros a medirse para determinar la evolución del arranque son: PH, alcalinidad, SST, SSV DQO y el índice volumétrico de lodos. (Comision Nacional Del Agua, 2019)

En la Tabla 39 se indican los datos con los que se realizó el diseño del reactor RAFA.

Tabla 39

Datos de entrada para el diseño del reactor RAFA

Parámetro	Unidad	Valor
Caudal medio: Qmed	m ³ /d	49.25
Caudal instantáneo: Qmax	m ³ /d	187.49
Potencial hidrógeno: pH	-	7.8
DQO: So	g/m ³	359.00
DBO ₅ : So	g/m ³	189.36
Temperatura: T	°C	16

Carga de DQO en el afluente promedio (Lo)

Mediante la ecuación 4.4 tomada de Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente. (Comisión Nacional Del Agua, 2019)

$$L_o = S_o \times Q_{med} \quad (\text{Ec. 4.4})$$

$$L_o = 0.359 \text{ kg/m}^3 \times 49.25 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$L_o = 17 \text{ kgDQO/d}$$

Tiempo de residencia hidráulica (t)

En la Tabla 40 se encuentran los tiempos de residencia hidráulica recomendados para aguas residuales domésticas en reactores RAFA con una altura de 4 metros.

Tabla 40

Tiempo de residencia hidráulica recomendados

Temperatura del agua residual (°C)	Tiempo de residencia hidráulica	
	Promedio diario	Mínimo (durante 4 – 6 h)
16 - 19	10 - 14	7 – 9
22 - 26	7 - 9	5 - 7
> 26	6 - 8	4 - 5

Nota. Recuperado de Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (Comisión Nacional Del Agua, 2019; Metcalf & Eddy, 2003)

La temperatura medida del agua residual es de 15.86°C en promedio, razón por la que se utilizó una resistencia recubierta dentro del reactor para elevar la temperatura entro los 20°C y 25°C Se asume una retención hidráulica de 14 horas.

Volumen del reactor (V)

Mediante la ecuación 4.5 tomada de Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente. (Comisión Nacional Del Agua, 2019), se calcula el volumen del reactor.

$$V = Q_{med} \times t \quad (Ec. 4.5)$$

$$V = 49.25m^3/d \times 0.58d$$

$$V = 28.57m^3$$

Altura de reactor (H)

Valor asumido h=4m

Área del reactor

Mediante la fórmula 4.6 se ha determinado el área del reactor tomada de (Comisión Nacional Del Agua, 2019)

$$A = \frac{V}{H} \quad (Ec. 4.6)$$

$$A = \frac{28.73m^3}{4m}$$

$$A = 7.14m^2$$

Dimensiones del reactor

Se considera una forma cilíndrica, donde se utilizó la ecuación 4.7 del área de un círculo

$$A = \pi \times r^2 \quad (Ec. 4.7)$$

$$r = 1.51m \approx 1.50m$$

Carga Hidráulica Volumétrica (CHV)

Mediante la ecuación 4.8 tomada de (Comisión Nacional Del Agua, 2019)

$$CHV = \frac{Q_{med}}{v} \quad (Ec. 4.8)$$

$$CHV = \frac{49.25m^3/d}{28.27m^3}$$

$$CHV = 1.74 m^3/m^3 d$$

Carga orgánica volumétrica (COV)

Mediante la ecuación 4.9 tomada de (Comisión Nacional Del Agua, 2019)

$$COV = \frac{Q_{med} \times S_o}{v} \quad (Ec. 4.9)$$

$$COV = \frac{49.25m^3/d \times 0.359 kgDQO/m^3}{28.27 m^3}$$

$$COV = 0.63 kgDQO/m^3 d$$

Velocidad Ascendente (v)

Se determinó mediante la fórmula 4.10. de (Comisión Nacional Del Agua, 2019)

$$v = \frac{Q_{med}}{A} \quad (Ec. 4.10)$$

$$v = \frac{49.25m^3/d}{7.07 m^2}$$

$$v = 6.97 m/d$$

$$v = 0.30 m/h$$

Para Q_{máx}:

$$v = \frac{187.49m^3/d}{7.07 m^2}$$

$$v = 26.52 \text{ m/d}$$

$$v = 1.10 \text{ m/h}$$

Estimación de la eficiencia de remoción de la DQO (E_{DQO})

Mediante la ecuación 4.11 de (de Lemos Chernicharo, 2007) se determina la eficiencia de remoción de la DQO con el tratamiento con el reactor RAFA.

$$E_{DQO} = 100 \times (1 - 0.68 \times t^{-0.35}) \quad (\text{Ec. 4.11})$$

$$E_{DQO} = 100 \times (1 - 0.68 \times 14^{-0.35})$$

$$E_{DQO} = 72\%$$

Estimación de la eficiencia de remoción de la DBO (E_{DBO})

Siguiendo la ecuación 4.12 de (de Lemos Chernicharo, 2007) se determina la eficiencia de remoción de la DBO.

$$E_{DBO} = 100 \times (1 - 0.70 \times t^{-0.50}) \quad (\text{Ec. 4.12})$$

$$E_{DBO} = 100 \times (1 - 0.70 \times 14^{-0.50})$$

$$E_{DBO} = 81\%$$

Concentraciones de DQO y DBO en el efluente final (C_{efl})

Con la ayuda de la ecuación 4.13 y ecuación 4.14 de (Comisión Nacional Del Agua, 2019), se determinaron las concentraciones de DBO y DQO en el efluente final.

$$C_{efl_{DQO}} = S_0 - \frac{(E \times S_0)}{100} \quad (\text{Ec. 4.13})$$

$$C_{efl_{DQO}} = 0.359 \text{ kg/m}^3 - \frac{(72 \times 0.359 \text{ kg/m}^3)}{100}$$

$$Cefl_{DQO} = 0.101 \text{ kg/m}^3$$

$$Cefl_{DBO} = S_0 - \frac{(E \times S_0)}{100} \quad (\text{Ec. 4.14})$$

$$Cefl_{DBO} = 0.18936 \text{ kg/m}^3 - \frac{(81 \times 0.18936 \text{ kg/m}^3)}{100}$$

$$Cefl_{DBO} = 0.03598 \text{ kg/m}^3$$

Producción teórica de Metano (Q_{CH_4})

La producción de metano se determinó mediante las ecuaciones: 4.15, 4.16, 4.17 de (Comisión Nacional Del Agua, 2019)

$$DQO_{CH_4} = Q_{med} \times [(S_0 - Cefl_{DQO}) - (Y_{obs} \times S_0)] \quad (\text{Ec. 4.15})$$

Donde

Y_{obs} = Coeficiente del rendimiento de sólidos, en términos de DQO, se asume un valor de $0.21 \text{ kg DQO}_{\text{lodo}} / \text{kg DQO}_{\text{app}}$ según (Comisión Nacional Del Agua, 2019)

$$\begin{aligned} DQO_{CH_4} &= 49.25 \text{ m}^3 / d \\ &\times [(0.359 \text{ kg DQO/m}^3 - 0.101 \text{ kg DQO/m}^3) \\ &- (0.21 \text{ kg DQO}_{\text{lodo}} / \text{kg DQO}_{\text{app}} \times 0.359 \text{ kg/m}^3)] \end{aligned}$$

$$DQO_{CH_4} = 9.00 \text{ kg DQO/d}$$

$$K(t) = \frac{P \times K_{DQO}}{R \times (273 + T)} \quad (\text{Ec. 4.16})$$

Donde:

$$P = 1 \text{ atm}$$

$$R = 0.08206 \text{ atm L/mol K}$$

$T = \text{temperatura}$

$$K(t) = \frac{1 \text{ atm} \times 64 \text{ g DQO/mol}}{[0.08206 \text{ atm L/mol K} \times (273 + 20^\circ\text{C})]}$$

$$K(t) = 2.66 \text{ kgDQO/m}^3$$

$$Q_{CH_4} = \frac{DQO_{CH_4}}{K(t)} \quad (\text{Ec. 4.17})$$

$$Q_{CH_4} = \frac{9.00 \text{ kgDQO/d}}{2.66 \text{ kgDQO/m}^3}$$

$$Q_{CH_4} = 3.38 \text{ m}^3/\text{d}$$

Producción de Biogás (Qg)

Se determinó mediante la estimación del porcentaje de metano en el biogás, según (Comisión Nacional Del Agua, 2019), se puede considerar un contenido de metano del 70%, como se encuentra en la ecuación 4.18

$$Qg = \frac{Q_{CH_4}}{0.70} \quad (\text{Ec. 4.18})$$

$$Qg = \frac{3.38 \text{ m}^3/\text{d}}{0.70}$$

$$Qg = 4.83 \text{ m}^3/\text{d}$$

El biogás no es utilizado en la urbanización, por lo que se instaló una válvula y un quemador de biogás.

Producción de Lodo (Pl)

Se determinó mediante la ecuación 4.19 y 4.20

$$Pl = Y \times DQO_{app} \quad (Ec. 4.19)$$

Donde:

Y= Coeficiente del rendimiento de sólidos, se asume un valor de 0.18kgSST/ kg DQO_{app} según (Comisión Nacional Del Agua, 2019)

DQO_{app}= Carga de DQO en el afluente promedio

$$Pl = 0.18 \text{kgSST/ kg DQO}_{app} \times 17 \text{ kgDQO/d}$$

$$Pl = 3.06 \text{ kg SST/d}$$

Volumen de lodo Vl

$$Vl = \frac{Pl}{y \times c} \quad (Ec. 4.20)$$

Donde:

y= Densidad del lodo 1020 kg/m³ (Comision Nacional Del Agua, 2019)

C= Concentración esperada de la descarga de lodo

$$Vl = \frac{3.06 \text{ kg SST/d}}{1020 \text{ kg/m}^3 \times (4/100)} \quad (Ec. 4.18)$$

$$Vl = 0.075 \text{m}^3/\text{d}$$

- **Secado de Lodos de arenas**

Se utiliza en sistemas de tratamiento de aguas residuales pequeños por su facilidad de manejo y operación. (Crites & Tchobanoglous, 2000).

Según el Manual de Tratamiento y disposición de lodos de (Comisión Nacional del Agua, 2019e) el período de secado se estima en 15 días, el lodo seco se retira en 5 días por lo que el tiempo de permanencia del lodo T es de 20 días.

Volumen de lodo deshidratado por ciclo V_L

Se determinó mediante la ecuación 4.21 de (Comisión Nacional del Agua, 2019e)

$$V_L = VI \times T \quad (\text{Ec. 4.21})$$

Donde:

V_L = Volumen de lodo deshidratado por ciclo, m³

VI = Flujo de lodo, m³ /d

T = Tiempo del ciclo de operación, d

$$V_L = 0.075 \text{ m}^3/\text{d} \times 20 \text{ d}$$

$$V_L = 1.5 \text{ m}^3 \text{ ciclo}$$

Área de Lecho de Secado (A)

En base a la ecuación 4.22 tomada de (Comisión Nacional del Agua, 2019e) se determinó el área del lecho de secado de lodos.

$$A = \frac{Pl \times T}{Carga} \quad (Ec. 4.22)$$

Donde:

Carga= considerar entre 10 – 15 kg m² según (Comisión Nacional del Agua, 2019e)

$$A = \frac{3.06 \text{ kg /d} \times 20d}{15 \text{ kg m}^2}$$

$$A = 4.08 \text{ m}^2$$

Altura de la capa de lodo (H)

Se utiliza la ecuación 4.23, indicada por (Comisión Nacional del Agua, 2019e)

$$H = \frac{V_L}{A} \quad (Ec. 4.23)$$

$$H = \frac{1.5 \text{ m}^3 \text{ ciclo}}{4.08 \text{ m}^2 \text{ ciclo}}$$

$$H = 0.37 \text{ m}$$

- **Filtro en medio granular**

La filtración ayuda a obtener un efluente secundario de calidad superior, permite la remoción de sólidos, materiales no sedimentables, turbiedad, fósforo, DBO, DQO, metales pesados, virus. (Romero, 2010)

Un efluente secundario que es tratado mediante un filtro de arena y posteriormente y posteriormente pasa por desinfección, permite obtener un agua regenerada. (Comisión Nacional del Agua, 2019d). Se diseñó un filtro rápido a gravedad, en la tabla 41 se indican las dimensiones recomendadas.

Tabla 41*Dimensiones de filtro rápido a gravedad*

Parámetro	Unidad	Valor
Área	m ²	25
Ancho de celda	m	≤6
Relación l – a		2:1
Profundidad	m	4
Profundidad columna de agua	m	≥1.8
Taza de filtración recomendada	m/h	5
Taza de retrolavado recomendada	m/h	40
Carga hidráulica recomendada	m	2-3
Tipos de medio		2 ó más
Ancho de canaleta	m	0.4

Nota. Recuperado de Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Procesos Avanzados con Fines de Reúso. (Comisión Nacional del Agua, 2019d)

Número de unidades de filtración

Para determinar el número de unidades de filtración se lo realizó mediante la ecuación 4.24 de (Comisión Nacional del Agua, 2019d; Kawamura, 2000).

$$N = 0.0195Q^{0.5} \quad (\text{Ec. 4.24})$$

Donde:

N= número de filtros

Q= Caudal máximo de entrada

$$N = 0.0195 \times (245.28m^3/d)^{0.5}$$

$$N = 0.30 \approx 1 \text{ unidad}$$

Área superficial de un filtro

Se estimó mediante la ecuación 4.25 obtenida de (Comisión Nacional del Agua, 2019d). De la tabla

$$Af = \frac{Q}{Nq} \quad (\text{Ec. 4.25})$$

Donde:

Af= Área del filtro

Q= Caudal máximo de entrada

N=número de filtros

q= tasa de filtración

$$Af = \frac{10.22 \text{ m}^3/\text{h}}{1 \times 5 \text{ m}/\text{h}}$$

$$Af = 2.04 \text{ m}^2$$

Relación Largo – Ancho 2:1

$$Af = l \times a$$

$$2.04 \text{ m}^2 = 2a \times a$$

$$a = 1.00 \text{ m}$$

$$l = 2.05 \text{ m}$$

Se consideró una altura de 3.50 metros para colocar el drenaje, los medios filtrantes, la columna de agua necesaria para la filtración. Se trata de un filtro descendente, con un medio filtrante conformado

por tres capas: antracita, arena y grava con las especificaciones que se encuentran en la Tabla 42. Además, se encuentra la distribución de los diferentes componentes del filtro.

Tabla 42

Distribución en filtro

Parámetro	Unidad	Valor	Especificación
Borde libre	m	0.20	
Profundidad columna de agua	m	2.00	
Antracita Capa superior	m	0.50	Tamaño efectivo 1.20 mm Gravedad específica 1.60 Esfericidad 0.50
Arena Capa intermedia	m	0.20	Tamaño efectivo 0.50 mm Gravedad específica 2.65 Esfericidad 0.75
Grava Fondo	m	0.10	Tamaño efectivo 0.3 mm Gravedad específica 3.9 Esfericidad 0.60
Dren	m	0.50	Drenaje por bloques Se ubica grava para evitar obstrucciones 4mm con un espesor de 60mm 8 mm con un espesor de 60mm 16mm con un espesor de 100mm 30mm con un espesor de 100mm 50mm con un espesor de 160mm

Nota. Recuperado de Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Procesos Avanzados con Fines de Reúso (Comisión Nacional del Agua, 2019d; GLUMRB, 2003)

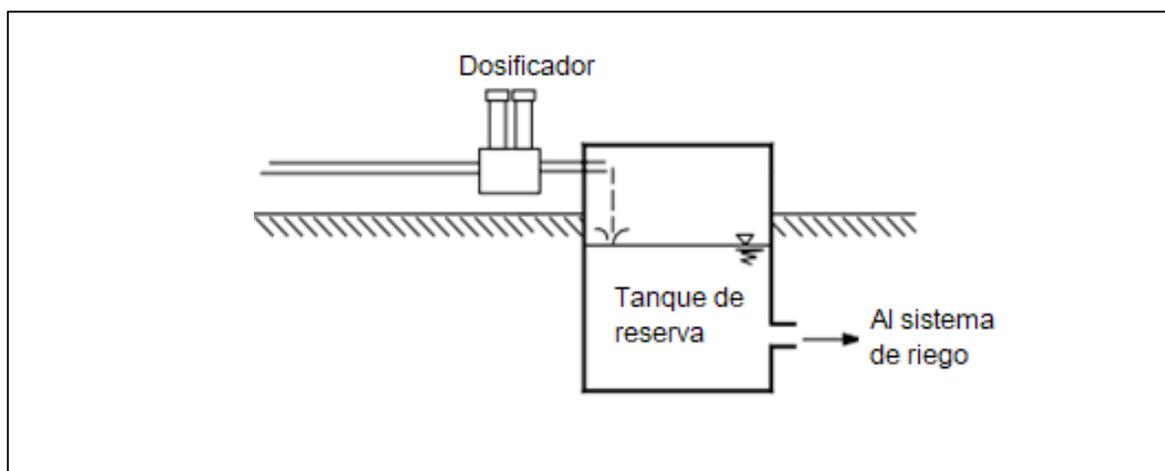
- **Desinfección**

La desinfección se realiza mediante hipoclorito de calcio en tabletas por su facilidad de manejo. Las mismas que se disuelven gradualmente, puede alimentar a un reservorio. (Solsona & Méndez, 2002). El tiempo de contacto con el agua residual debe ser mínimo 15 a 30 minutos o superior. (Comisión

Nacional del Agua, 2019b). En la Figura 16 se encuentra la instalación típica de los cloradores por erosión de tabletas de hipoclorito de calcio.

Figura 16

Clorador por erosión de tabletas de hipoclorito de calcio



Nota. Recuperado Desinfección del agua de la Organización Panamericana de la Salud (Solsona & Méndez, 2002)

Cuando se cuenta con un pH que varía entre 6-8 la Organización Mundial de la Salud indica que después de 30 min de contacto, una concentración de cloro residual mayor o igual a 0.5 mg/L garantiza la desinfección. (Organización Mundial de la Salud, 2006)

El tanque de desinfección se diseña para un tiempo de retención de 40min. Mediante la ecuación 4.4 se determinó el volumen.

$$Vd = Q \times t \quad (Ec. 4.4)$$

Donde:

Vd= Volumen de tanque de desinfección

Q= caudal de diseño m³/min

t = tiempo de retención

$$V = 0.17m^3/min \times 40min$$

$$V = 6.80m^3$$

En la Tabla 43 se indica el resumen de dimensiones y características del tanque de desinfección.

Tabla 43

Dimensiones del tanque de desinfección

Parámetro	Unidad	Valor
Caudal Q	m ³ /min	0.17
Tiempo de retención	min	40
Volumen	m ³	6.8
Profundidad	m	2
Borde libre	m	0.20
Ancho	m	1.85
Largo	m	1.85
Método de desinfección	hipoclorito de calcio en tabletas	
Material	H°A°	

Posteriormente al tratamiento, el agua tratada es trasladada al tanque de reserva. Para el diseño del tanque de reserva se ha considerado el caudal de agua que se utiliza diariamente en la urbanización, y el que se ocupa en el área verde.

4.4.4. Caudal de agua de riego para área verde

El área verde de la urbanización fue cubierto de Kikuyo, es una especie que se adapta a áreas frías, de fácil crecimiento y muy resistente, su producción óptima se obtiene con un promedio de agua de 2.1mm/día. (Jiménez, 2016).

Para la determinación de la necesidad hídrica del Kikuyo en un jardín se utilizó la ecuación 4.26.

Tomada de (Jiménez, 2016; Martín et al., 2004)

$$ET_{kikuyo} = ETr \times Kj_{Kikuyo} \quad (Ec. 4.26)$$

Donde

ET_{Kikuyo} = Evapotranspiración de Kikuyo mm/día

ETr = Evapotranspiración de referencia mm/día

Kj_{Kikuyo} = Coeficiente de jardín Kikuyo

El valor de evapotranspiración de referencia se obtuvo de los datos del INAMHI de la estación más cercana a la parroquia Belisario Quevedo, M0004 ubicado en el Barrio Rumipamba de las Rosas en Salcedo, el último reporte disponible es del año 2013, donde se encuentra la evaporación mensual y diaria de cada mes, lo que se indica en la Tabla 44.

Tabla 44

Datos de evaporación INAMHI

Mes	Evaporación (mm)		
	Suma	Máxima en 24 horas	Día
Enero	127.5	7.3	14
Febrero	92.5	6.1	26
Marzo	113.2	5.4	24
Abril	126.2	7.6	15
Mayo	102.5	5.7	23
Junio	112.5	5.7	29
Julio	114.3		
Agosto	129.0	7.1	12
Septiembre	133.8	7.2	21
Octubre	140.30	7.8	1
Noviembre	148.4	7.8	1

Mes	Evaporación (mm)		
	Suma	Máxima en 24 horas	Día
Diciembre	130.1	6.5	22
Valor Anual	1470.60	Promedio 6.7	

Nota. Recuperado del Anuario Meteorológico N° 53 – 2013, (INAMHI, 2017)

El Coeficiente K_j se obtiene mediante los siguientes coeficientes obtenidos de (Jiménez, 2016):

El coeficiente de la especie K_e , para el Kikuyo corresponde 0.20

El coeficiente de densidad de plantación K_d , es 1.0 para pastos

El coeficiente de microclima K_m , es de 1.2 para pasto en condiciones de micro climáticas altos, no se encuentra en una zona rodeada de edificaciones, pero la urbanización se encuentra planificada para que todos los lotes sean ocupados por edificaciones. (Jiménez, 2016; Martín et al., 2004).

Mediante la ecuación 4.27 se obtuvo el valor del coeficiente

$$K_{j_{kikuyo}} = K_{e_{kikuyo}} \times K_{d_{kikuyo}} \times K_{m_{kikuyo}} \quad (\text{Ec. 4.27})$$

$$K_{j_{kikuyo}} = 0.24$$

Mediante la ecuación 4.24, se determinó el valor de la evapotranspiración ET_{kikuyo} , se presenta en la Tabla 45.

Tabla 45

Evapotranspiración del Kikuyo

Mes	ET_{kikuyo} mm/día	Mes	ET_{kikuyo} mm/día
Enero	1.75	Julio	-
Febrero	1.46	Agosto	1.70
Marzo	1.30	Septiembre	1.73
Abril	1.82	Octubre	1.87
Mayo	1.37	Noviembre	1.87
Junio	1.37	Diciembre	1.56
Promedio		1.62 mm/día	

El Kikuyo para mantenerse en buenas condiciones en el área verde necesita en promedio 1.62mm/día de agua. Para determinar el caudal necesario diariamente se calculó siguiendo la ecuación 4.28 tomada de (Jiménez, 2016)

$$Q_R = \frac{ET_{kikuyo}}{E} \times \text{Área de riego} \quad (\text{Ec. 4.28})$$

Donde

Q_R = Caudal de riego promedio diario L/día

ET_{kikuyo} = Evapotranspiración promedio del Kikuyo mm/día

E = % de eficiencia del sistema de riego

Área de riego= área destinada a área verde de la urbanización.

La eficiencia del riego por aspersión que es el método a utilizarse varía ente 70 – 80%; por lo tanto, se trabajó con una eficiencia del 75%. (Martín et al., 2004).

$$Q_R = \frac{1.62\text{L/m}^2 \times \text{día}}{0.75} \times 3624\text{m}^2$$

$$Q_R = 7827.84 \text{ L/día}$$

4.4.5. Tanque de Reserva

Actualmente con la población que disponen, la urbanización genera 4.83m³/día según el aforo realizado, el que no alcanza para realizar el riego necesario en el área verde diaria, razón por la que, se diseñó un tanque de almacenamiento que recolecte las aguas residuales de la urbanización para regar el terreno pasando dos día, los días lluviosos no se accionará el sistema de riego, según (Hidalgo, 2017) en la región interandina el ciclo anual de precipitación es bimodal, se presenta en dos períodos, el primero

en los meses de abril y mayo, y el segundo en los meses de octubre y noviembre. Los períodos con escasez de lluvias ocurren en enero y el segundo período entre julio – agosto.

Por el factor económico no se diseñó un tanque de reserva para el final del período de diseño.

Se diseñó un tanque de almacenamiento de 60 m³, corresponde a la cuarta parte del caudal al final del período de diseño, con las siguientes dimensiones:

largo= 5.00m, ancho= 4.00m, profundidad = 3.20m

4.4.6. Planta piloto

La planta piloto se construyó a una escala 1:05 siguiendo el diseño realizado para la planta de tratamiento de aguas residuales de la urbanización Portón de Bellavista, se ha diseñado para un caudal de 0.108 L/s, el costo de construcción de la planta Piloto es de 1100 USD, lo que constó de: Un tanque de acero inoxidable de 230L de capacidad (Reactor RAFA), un tanque de plástico de 160L (Homogenizador), un tanque de plástico de 95L (Filtro), un tanque de plástico de 125L (Desinfección), Manguera ¾”, un calentador de agua, el medio filtrante, válvulas y accesorios. Los planos de la planta se encuentran en el Apéndice D.

La principal dificultad en la instalación de la planta piloto fue hermetizar al reactor RAFA lo que se logró por medio de un empaque de 50cm de diámetro en la tapa, otro inconveniente fueron las fugas que se presentaron en cada manguera, las cuales se han ido reparando con el cambio de la misma.

El proceso de funcionamiento de la planta piloto fue el siguiente: las aguas residuales ingresaron al homogenizador, posteriormente pasaron al reactor RAFA, luego se trasladó al filtro y finalmente llegó al tanque de desinfección. En la Figura 17 se presenta una fotografía de la planta piloto instalada.

Figura 17

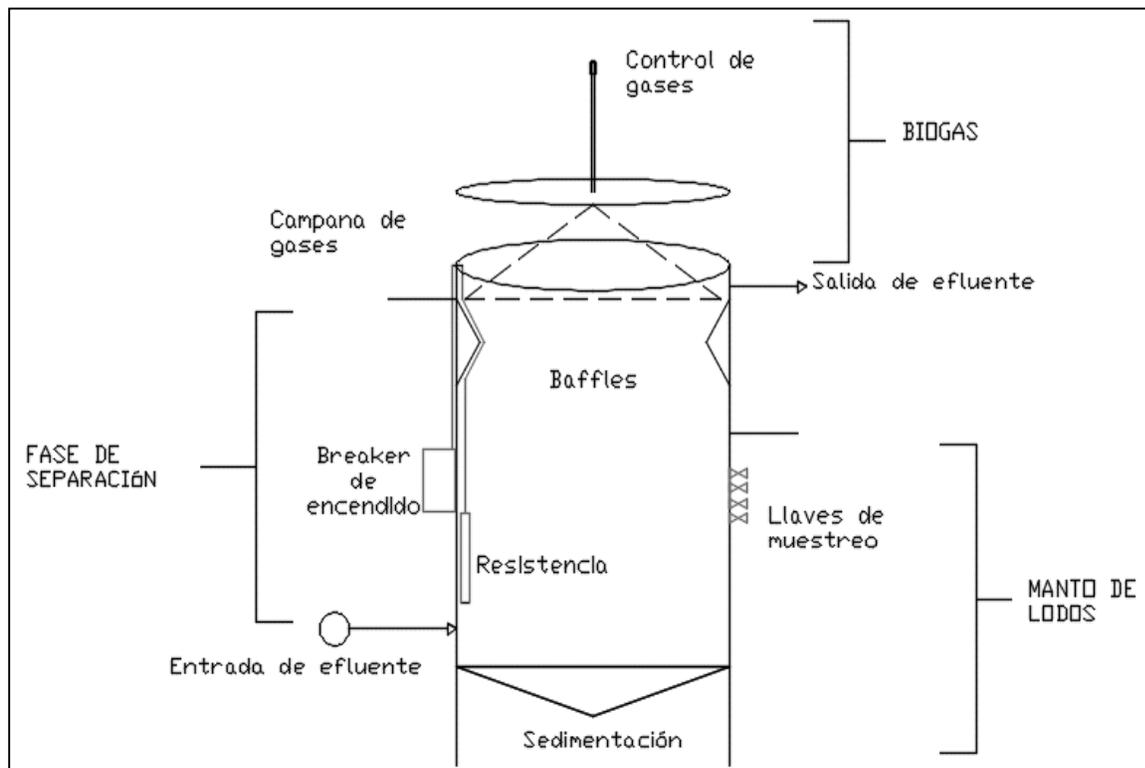
Instalación de la planta piloto en la urbanización Portón de Bellavista



- **Tanque de homogenización**, se capta el agua necesaria para la planta piloto, el llenado manual del tanque ayuda a la mezcla de la misma, para tener un caudal con características uniformes.
- **Reactor RAFA**, en la Figura 18 se encuentran las partes y componentes del reactor.

Figura 18

Esquema del Reactor RAFA



Nota. Recuperado del Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente de (Albuja, 2019; Comisión Nacional Del Agua, 2019).

En el reactor fue necesaria la colocación de bacterias anaerobias para degradar la materia orgánica obtenidas de una planta de tratamiento en funcionamiento, se colocó una resistencia interna que ayuden a mantener la temperatura óptima para el desempeño de las bacterias, además, se colocaron accesorios que permitan el ingreso y salida del agua para trasladarse hacia el filtro, para la salida de lodos y para obtener muestras y analizar en el laboratorio el comportamiento del reactor.

- **Filtro rápido a gravedad**, Se diseñó un filtro rápido a gravedad de flujo descendente, el que trata el efluente secundario producto del reactor RAFA, utiliza tres medios de filtración: antracita, arena y grava.

La filtración rápida se ha utilizado en varios países para mejorar los efluentes del tratamiento biológico secundario para emplearlo en la agricultura. (Comisión Nacional del Agua, 2019d)

- **Desinfección**, Permite la remoción de patógenos, se optó por la desinfección con tabletas de hipoclorito de calcio, por la facilidad de manejo, en la planta piloto se empleó hipoclorito de sodio comercial al 5%.

La principal ventaja de la instalación de la planta piloto fue verificar su funcionamiento antes de su construcción, según (Cortijo, 2018) el mérito que tienen las plantas anaerobias es que no necesitan un sistema de aireación para su óptimo funcionamiento, además, la producción de biogas que podría ser aprovechado. Su limitante es el tiempo de crecimiento bacteriano ya que prolonga los tiempos de retención, por ello se adquirió bacterias activas de una planta de tratamiento similar.

4.4.7. Calidad del agua

Para determinar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales piloto que ha sido instalada, se realizaron análisis físico químico y bacteriológicos al inicio de la puesta en marcha, que fue a los 15 días para permitir la adaptación de las bacterias y su reproducción, a los 21 días se realizaron análisis de DQO para controlar la evolución del sistema, posteriormente se realizó un análisis a los 30 días, los resultados se encuentran en la Tabla 46 y en la Tabla 47. Además, se indica el porcentaje de remoción relacionando los resultados del análisis antes del tratamiento con los resultados del análisis a los 30 días de funcionamiento.

Tabla 46

Comparación de los Análisis Físico Químico antes del inicio del tratamiento, a los 15 días y a los 30 días.

Parámetros	Unidad	Resultado antes del inicio	Resultado 15 días	Resultado 30 días	% de remoción
Aceites y Grasas	mg/L	12.00	3.00	0.20	98.33

Parámetros	Unidad	Resultado antes del inicio	Resultado 15 días	Resultado 30 días	% de remoción
Alcalinidad de Bicarbonatos (naranja de metilo)	mg/L	323.00	152.00	103.00	68.11
Boro	mg/L	<0.30	<0.40	<0.30	0
Conductividad eléctrica CE	mS/cm	0.83	0.81	0.78	6.02
Cloruros	mg/L	89.33	90.59	89.05	0.31
DBO ₅	mg/L	189.36	158.27	60.91	67.83
DQO	mg/L	359	290	127	64.62
pH		7.1	7.0	6.9	2.82
Nitratos	mg/L	0.29	0.21	0.23	20.69
Sodio	mg/L	64.35	60.77	54.48	15.34
Sólidos disueltos totales (TDS)	mg/L	684	420	408	40.35

Tabla 47

Comparación del análisis físico bacteriológico de las aguas residuales antes de iniciar el tratamiento, a los 15 días y a los 30 días.

Parámetros	Unidad	Resultado antes del inicio	Resultado 15 días	Resultado 30 días	% de remoción
Coliformes totales	NMP/100 mL	15000	<1.8	< 0	100
Huevos de parásitos	Huevos/mL	<1	0	0	100

En la Tabla 48 y Tabla 49 se realiza la comparación de los resultados obtenidos a los 30 días de funcionamiento con la normativa ambiental vigente para utilización de agua residual para riego.

Tabla 48

Comparación del análisis físico químico del agua residual tratada con la normativa

Parámetros	Unidad	Resultado	Límite máximo permitido	Observación
Aceites y Grasas	mg/L	0.20	0.3	Criterios de calidad admisible de uso agrícola
Alcalinidad de Bicarbonatos (naranja de metilo)	mg/L	103.00	518.00	Criterios de calidad admisible de uso agrícola

Parámetros	Unidad	Resultado	Límite máximo permitido	Observación
Boro	mg/L	<0.30	1	Criterios de calidad admisible de uso agrícola
Conductividad eléctrica CE	mS/cm	0.78	0.70	Criterios de calidad admisible de uso agrícola
Cloruros	mg/L	89.05	106.5	Criterios de calidad admisible de uso agrícola
DBO ₅	mg/L	60.91	100	Descarga de efluentes a un cuerpo de agua
DQO	mg/L	127	250	Norma de descarga de efluentes a un cuerpo de agua
pH		6.9	6.5-8.4	Criterios de calidad admisible de uso agrícola
Nitratos	mg/L	0.23	5	Criterios de calidad admisible de uso agrícola
Sodio	mg/L	54.48	68.94	Criterios de calidad admisible de uso agrícola
Sólidos disueltos totales	mg/L	408	450	Criterios de calidad admisible de uso agrícola

Tabla 49

Comparación del *análisis físico bacteriológico* de las aguas residuales tratada con la normativa

Parámetros	Unidad	Resultado	Límite máximo permisible	Observación
Coliformes totales	NMP/100 mL	0	1000	Criterios de calidad admisible de uso agrícola
Huevos de parásitos	Huevos/mL	0	0	Criterios de calidad admisible de uso agrícola

Según (Gandarillas R. et al., 2017) las plantas de tratamiento anaerobias dependen de varios factores físicos y biológicos para ser eficientes, una vez que estos factores son óptimos, el tiempo en el que se refleja los resultados de depuración definitivos son de 60 a 90 días, ya que en este tiempo se conforma el lecho de lodo concentrado en el fondo del reactor RAFA, razón por la que, los resultados obtenidos mediante los análisis del agua pueden mejorar con el tiempo manteniendo las condiciones en las que se encuentra. Los resultados obtenidos del análisis del agua tratada indican que la planta de tratamiento piloto es eficiente en la remoción de DBO, DQO, STD.

Según (Cabrera et al., 2017) el rango de remoción de DQO en plantas similares se encuentra entre 56 al 72%, mientras que, (Alcocer & Meza, 2021) indica que la remoción de materia orgánica expresada en DQO obtenida mediante el tratamiento con un reactor RAFA a nivel laboratorio es del 73.48%. De acuerdo a (Machdar et al., 2018) el DQO se ha reducido en un 54% mediante el tratamiento de aguas residuales domésticas con un reactor piloto.

La remoción que se obtuvo del tratamiento de aguas residuales domésticas es del 64.62%, valor que se encuentra dentro del rango de proyectos similares.

La planta piloto no ha removido completamente los nitratos que es uno de los parámetros que se analizaron, sin embargo, se encuentra dentro de los límites permisibles. Según (Gandarillas R. et al., 2017) la presencia de Nitrógeno y Fósforo es beneficioso en las aguas residuales tratadas destinadas a la reutilización en sistemas de riego.

4.4.8. Sistema de Riego

Se diseñó un sistema de riego por aspersión para el área verde, se utilizó 12 aspersores con un caudal de $0.46\text{m}^3/\text{h}$ y un diámetro de 18.43m como se indica en la Tabla 48

Tabla 50

Aspersor Smooth Drive Plastigama

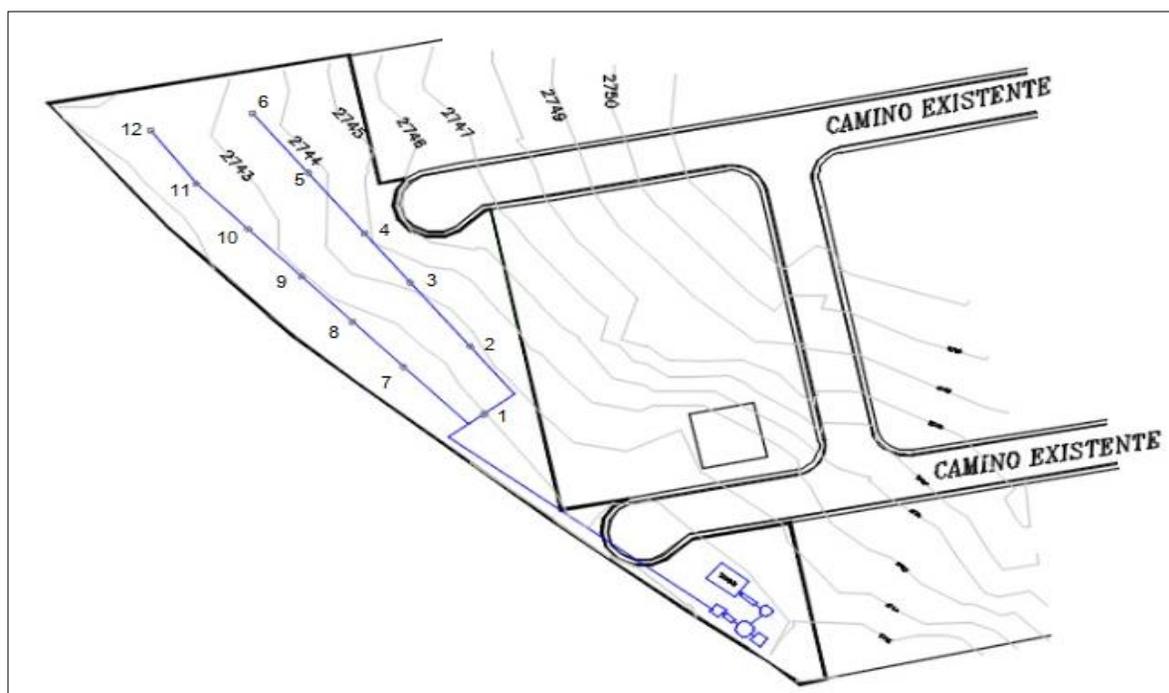
Smooth Drive Boq # 7 (7/64") Lima	Presión en la boquilla			
	25 PSI	17.58 mca	30 PSI	21.09 mca
Caudal (m3/h)		0.46 m ³ /h		0.50 m3/h
Diámetro a 0.50 m		18.43m		19.65m

Recuperado del Catálogo de Línea de Productos de Aspersión Plastigama Agricultura, (Plastigama, 2020)

Se obtuvo un caudal de $5.52 \text{ m}^3/\text{h}$ con los aspersores indicados, por lo que, se planificó para que el sistema de riego se active durante 1 hora y 25 minutos para satisfacer las necesidades hídricas del Kikuyo que es de $7.83 \text{ m}^3/\text{día}$. En la Figura 19 se encuentra la disposición de los aspersores.

Figura 19

Sistema de Riego Disposición de aspersores



Selección de la bomba

Se obtuvieron los datos que se encuentran en la Tabla 49. Para determinar la altura manométrica y seleccionar una bomba mediante las curvas de la bomba.

Tabla 51

Datos para la selección de bomba

Datos	Descripción
Presión de aspersores (mca)	17.58
Diferencia de altura del terreno (m)	4

Datos	Descripción
Pérdidas por fricción de la tubería (m)	0.04
Pérdidas por accesorios (m)	1.73
Total (m)	23.35
Caudal (m ³ /h)	5.98

Se utilizó el catálogo de bombas Pedrollo, se encuentran en la Figura 20. Donde por medio de la altura manométrica y el caudal se obtuvo la bomba propicia para el proyecto.

La Pérdida de fricción de la tubería se la obtuvo mediante la fórmula obtenida de (Mott, 2006)se encuentra en la ecuación 4.29.

$$f = \frac{0.25}{\left\{ \log\left(\frac{1}{3.7(D/\epsilon)} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}}\right) \right\}^2} \quad (\text{Ec. 4.29})$$

Donde:

f= Factor de fricción para flujo turbulento

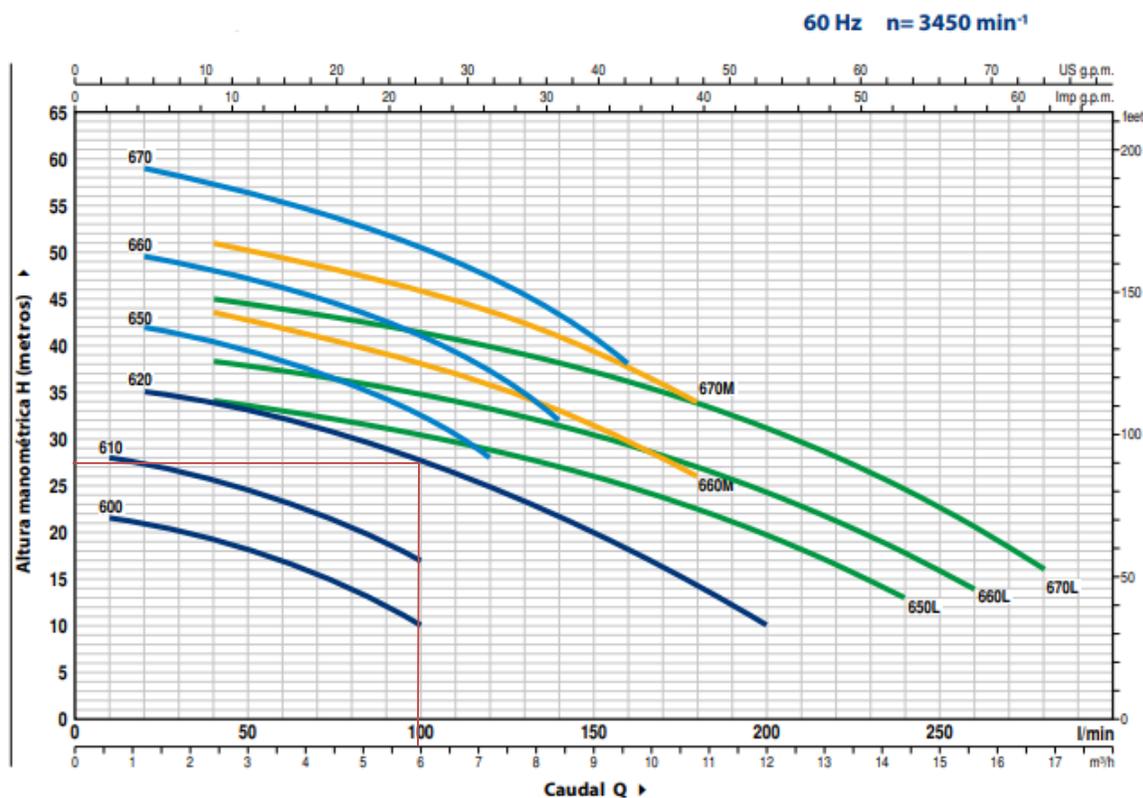
D= Diámetro interno de la tubería

ϵ = Rugosidad Absoluta

N_R = Número de Reynolds

Figura 20

Electrobombas centrífugas en acero inoxidable AL RED



Nota. Recuperado del Catálogo de bombas de la marca Pedrollo, the spring of life, para uso agrícola.

(Pedrollo, 2021)

La bomba que se ha utilizado en la bomba centrífuga de acero inoxidable de 1HP, trifásica, AL RED 620-4.

La tubería que se utilizó fue de polietileno de presión para uso agrícola. El diámetro de la misma se encuentra en el Apéndice E.

En la Figura 21 se indica el Área Verde de la Urbanización Portón de Bellavista y la ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Figura 21

Área Verde de la Urbanización Portón de Bellavista



4.4.9. Presupuesto y cronograma

Mediante el programa Proexcel versión 2020 se ha desarrollado el presupuesto y cronograma del proyecto, en la Tabla 52 se encuentra el presupuesto para la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Urbanización Portón de Bellavista y en la Tabla 53 se presenta el presupuesto de la planta piloto con los análisis de agua. El cronograma valorado de trabajos se encuentra en el Apéndice F.

Tabla 52

Presupuesto planta de tratamiento

Presupuesto planta de tratamiento Portón de Bellavista					
RUBRO No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
DESARENADOR					2574.5
1	Nivelación y replanteo (estructuras)	m2	2.64	1.31	3.46
2	Excavación estructuras manual	m3	2.90	12.28	35.66
3	Empedrado en contrapiso e=20cm (piedra de mina)	m2	2.64	11.68	30.84
4	Hormigón simple replantillo f'c=180 kg/cm2 e=5cm	m3	0.13	241.70	31.90
5	Malla electrosoldada 15*15*8mm	m2	7.90	17.63	139.28
6	Hormigón simple f'c=210 kg/cm2 incl. encof	m3	8.85	225.02	1,990.86
7	Cinta PVC para juntas de Hormigón a=0.20m	m	7.00	25.69	179.83
8	Suministro, instalación y prueba de tubería PVC 63mm. 0.63 MPa	m	0.60	13.56	8.14
9	Codo PVC 63mm. x 90°	u	2.00	7.04	14.08
10	Suministro Instalación y prueba de válvula de compuerta 2"	u	1.00	140.45	140.45
HOMOGENIZADOR					4590.63
11	Nivelación y replanteo (estructuras)	m2	10.18	1.31	13.33
12	Excavación estructuras manual	m3	30.54	12.28	374.99
13	Empedrado en contrapiso e=20cm (piedra de mina)	m2	10.18	11.68	118.89
14	Hormigón simple replantillo f'c=180 kg/cm2 e=5cm	m3	0.51	241.70	123.01
15	Acero de refuerzo f'y=4200 kg/cm2	kg	277.90	2.32	644.73
16	Hormigón simple f'c=210 kg/cm2 incl. encof	m3	8.14	225.02	1,832.34
17	Cinta PVC para juntas de Hormigón a=0.20m	m	11.31	25.69	290.55
18	Suministro, instalación y prueba de tubería PVC 63mm. 0.63 MPa	m	2.48	13.56	33.63
19	Suministro, instalación y prueba de soplador 4HP trifásico, 220V		1.00	1,159.16	1,159.16
REACTOR RAFA					3937.36
20	Nivelación y replanteo (estructuras)	m2	9.08	1.31	11.89
21	Excavación estructuras manual	m3	38.13	12.28	468.27
22	Empedrado en contrapiso e=20cm (piedra de mina)	m2	9.08	11.68	106.05
23	Hormigón simple replantillo f'c=180 kg/cm2 e=5cm	m3	0.45	241.70	109.72
24	Acero de refuerzo f'y=4200 kg/cm2	kg	411.75	2.32	955.25
25	Hormigón simple f'c=210 kg/cm2 incl. encof	m3	8.22	225.02	1,850.72
26	Cinta PVC para juntas de Hormigón a=0.20m	m	10.68	25.69	274.41
27	Suministro, instalación y prueba de tubería PVC 63mm. 0.63 MPa	m	1.00	13.56	13.56
28	Codo PVC 63mm. x 90°	u	1.00	7.04	7.04

Presupuesto planta de tratamiento Portón de Bellavista					
RUBRO No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
29	Suministro Instalación y prueba de válvula de compuerta 2"	u	1.00	140.45	140.45
FILTRO					1737.96
30	Nivelación y replanteo (estructuras)	m2	2.70	1.31	3.54
31	Excavación estructuras manual	m3	10.80	12.28	132.62
32	Empedrado en contrapiso e=20cm (piedra de mina)	m2	2.70	11.68	31.54
33	Hormigón simple replantillo f'c=180 kg/cm2 e=5cm	m3	0.14	241.70	32.63
34	Acero de refuerzo f'y=4200 kg/cm2	kg	281.36	2.32	652.76
35	Hormigón simple f'c=210 kg/cm2 incl. encof	m3	1.92	225.02	432.04
36	Cinta PVC para juntas de Hormigón a=0.20m	m	6.90	25.69	177.26
37	Antracita D= 1.2mm, e= 50cm	m3	1.03	118.60	121.56
38	Arena D= 0.50mm, e= 20cm	m3	0.41	83.12	34.08
39	Grava D=0.30mm, e= 10cm	m3	0.21	88.09	18.06
40	Grava D=4mm, e= 6cm	m3	0.12	88.09	10.84
41	Grava D=8mm, e= 6cm	m3	0.12	88.09	10.84
42	Grava D=16mm, e= 10cm	m3	0.21	88.09	18.06
43	Grava D=30mm, e= 10cm	m3	0.21	88.09	18.06
44	Grava D=50mm, e= 16cm	m3	0.33	88.09	28.89
45	Suministro, instalación y prueba de tubería PVC 63mm. 0.63 MPa	m	0.60	13.56	8.14
46	Codo PVC 63mm. x 90°	u	1.00	7.04	7.04
DESINFECCIÓN					1866.58
47	Nivelación y replanteo (estructuras)	m2	4.20	1.31	5.51
48	Excavación estructuras manual	m3	9.25	12.28	113.53
49	Empedrado en contrapiso e=20cm (piedra de mina)	m2	4.20	11.68	49.09
50	Hormigón simple replantillo f'c=180 kg/cm2 e=5cm	m3	0.21	241.70	50.79
51	Acero de refuerzo f'y=4200 kg/cm2	kg	214.81	2.32	498.35
52	Hormigón simple f'c=210 kg/cm2 incl. encof	m3	2.48	225.02	558.16
53	Cinta PVC para juntas de Hormigón a=0.20m	m	8.20	25.69	210.66
54	Suministro, instalación y prueba de tubería PVC 63mm. 0.63 MPa	m	0.50	13.56	6.78
55	Codo PVC 63mm. x 90°	u	1.00	7.04	7.04
56	Suministro, instalación y prueba de dispensador de pastillas de cloro		1.00	366.67	366.67
LECHO DE SECADO DE LODOS					668.46
57	Nivelación y replanteo (estructuras)	m2	4.84	1.31	6.34
58	Excavación estructuras manual	m3	3.39	12.28	41.60
59	Empedrado en contrapiso e=20cm (piedra de mina)	m2	4.84	11.68	56.53
60	Hormigón simple replantillo f'c=180 kg/cm2 e=5cm	m3	0.24	241.70	58.49
61	Malla electrosoldada 15*15*8mm	m2	12.41	17.63	218.79
62	Hormigón simple f'c=210 kg/cm2 incl. encof	m3	1.23	225.02	277.22

Presupuesto planta de tratamiento Portón de Bellavista					
RUBRO No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
63	Suministro, instalación y prueba de tubería PVC 63mm. 0.63 MPa	m	0.70	13.56	9.49
TANQUE DE RESERVA					6408.71
64	Nivelación y replanteo (estructuras)	m2	20.00	1.31	26.20
65	Excavación estructuras manual	m3	64.00	12.28	785.92
66	Empedrado en contrapiso e=20cm (piedra de mina)	m2	20.00	11.68	233.60
67	Hormigón simple replantillo f'c=180 kg/cm2 e=5cm	m3	1.00	241.70	241.70
68	Acero de refuerzo f'y=4200 kg/cm2	kg	494.06	2.32	1,146.22
69	Hormigón simple f'c=210 kg/cm2 incl. encof	m3	15.52	225.02	3,492.31
70	Cinta PVC para juntas de Hormigón a=0.20m	m	18.00	25.69	462.42
71	Suministro, instalación y prueba de tubería PVC E/C 63mm. 0.63 MPa	m	1.50	13.56	20.34
SISTEMA DE RIEGO					7733.94
72	Replanteo y nivelación lineal	km	0.23	238.08	54.76
73	Excavación manual.	m3	115.00	12.28	1,412.20
74	Suministro, Instalación y prueba de bomba trifásica 1HP	u	1.00	1,654.24	1,654.24
75	Suministro, instalación y prueba de tubería PVC E/C 63mm. 0.63 MPa	m	49.47	13.56	670.81
76	Accesorios para tubería 63mm, 0.63MPa	u	1.00	6.86	6.86
77	Suministro, instalación y prueba de tubería PVC E/C 25mm para riego de 1.0 MPa	m	172.61	19.78	3,414.23
78	Accesorios para tubería 25mm, 1.0MPa	u	1.00	19.24	19.24
79	Aspersor 7/64" boquilla #7	u	12.00	41.80	501.60
TOTAL					29,518.14
NOTA. ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.					
SON: VEINTE Y NUEVE MIL QUINIENTOS DIECIOCHO dólares CATORCE centavos					

Tabla 53

Presupuesto planta piloto

Presupuesto planta piloto instalada en la urbanización Portón de Bellavista					
RUBRO No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Análisis físico químicos y bacteriológicos del agua residual doméstica de la urbanización Portón de Bellavista	u	4.00	290.00	3.46
2	Reactor anaerobio de flujo ascendente en acero inoxidable incluye instalación eléctrica	u	1.00	1000.00	35.66
3	Tanques de plástico	u	3.00	20.00	30.84
4	Bacterias anaerobias	Kg	0.25	360.00	31.90
5	Medio Filtrante	Kg	20.00	3.00	139.28
				TOTAL	2370.00
NOTA. ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.					
SON: DOS MIL TRESCIENTOS SETENTA dólares					

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

- Mediante el levantamiento topográfico llevado a cabo en el área verde de la urbanización Portón de Bellavista se ha verificado que cuenta con una extensión 3624m² y la diferencia de nivel es de 4m. razón por la que se ha determinado que las condiciones son óptimas para la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales e implementación de sistema de riego.
- El censo sanitario ha permitido identificar que el uso que se le da principalmente al agua de consumo humano en la urbanización, es destinado para las actividades domésticas diarias de los habitantes, generan un caudal de aguas residuales promedio de 0.056 L/s
- Por medio de la caracterización del agua residual cruda y tratada se ha obtenido porcentajes de reducción de los parámetros analizados, así, disminución de aceites y grasas 98.33%, reducción de bicarbonatos 68.11%, conductividad eléctrica 6.02%, cloruros 0.31%, nitratos 20.69%, sodio 15.34%, sólidos disueltos totales 40.35%.

Los parámetros DBO₅ y DQO no se encuentran tomados en cuenta en los Criterios de calidad de aguas de uso agrícola o de riego del Libro VI. Anexo 1. (Acuerdo No 61 Reforma Del Libro VI Del Texto Unificado de Legislación Secundaria, 2015), por lo tanto, se realizó la comparación de los mismos con los parámetros indicados en la tabla de Descarga de efluentes a un cuerpo de agua dulce o salada Criterios de calidad de aguas de uso agrícola o de riego del Libro VI. Anexo 1. (Acuerdo No 61 Reforma Del Libro VI Del Texto Unificado de Legislación Secundaria, 2015), obteniendo una disminución de la DBO₅ del 67.83% y la DQO del 64.62%.

- En el presente proyecto se determinó que una planta de tratamiento anaerobia cumple con la depuración de las aguas residuales domesticas producidas por la urbanización, es un método eficiente, energética y económicamente viable para el saneamiento de la misma y su reutilización en el riego de jardines.

Los análisis de las aguas residuales tratadas demuestran que el tratamiento anaerobio es la mejor opción para las condiciones del lugar, los parámetros analizados se encuentran dentro de los valores indicados por (Acuerdo No 61 Reforma Del Libro VI Del Texto Unificado de Legislación Secundaria, 2015) Criterios de calidad admisible para uso agrícola del agua.

- La planta piloto implantada para la urbanización cuenta de una homogenizador, reactor RAFA, filtro descendente y un tanque de desinfección, es una opción viable por su desempeño, además, no necesita grandes extensiones de terreno para su construcción lo que le hace factible para el tratamiento de las aguas residuales. El reactor RAFA necesita la inoculación de bacterias, razón por la cual, los resultados finales de la depuración del agua empiezan a obtenerse de 30 a 60 días.
- Se ha realizado el diseño definitivo del proyecto escogiendo como alternativa óptima una planta de tratamiento de aguas residuales anaerobia, ya que, mediante la planta piloto se ha obtenido resultados favorables, observando la depuración del agua residual, el espacio con el que cuentan en la urbanización es óptimo y el presupuesto ha sido aceptado para su construcción. Es de gran interés que el agua se pueda utilizar para el riego de jardines ya que la urbanización no puede conectarse a una red de alcantarillado por la topografía.

5.2 Recomendaciones

- Priorizar la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales ya que las mismas se encuentran contaminado el medio: el aire, el suelo, las aguas subterráneas al ser infiltradas por medio de pozos sépticos por la falta de atención permanente de la Dirección de Agua Potable y Alcantarillado de Latacunga que en los últimos meses ya no envían el hidrosuccionador para vaciar el tanque de llegada de las aguas residuales.
- Construir un sistema de alcantarillado pluvial para evitar el colapso de la planta de tratamiento en días lluviosos.
- Realizar análisis de suelos antes de la construcción de la planta de tratamiento.
- Realizar el movimiento de tierras del área verde de la urbanización para unificar el terreno y facilitar la construcción de la planta de tratamiento
- Se debe realizar un plan de operación y mantenimiento para la planta de tratamiento, ya que, su eficiencia depende de cómo es manejada y se dé un periódico y adecuado mantenimiento.

Bibliografía

- Guías sobre la Reutilización de Aguas Residuales Tratadas, (2012).
- Albuja, R. (2019). Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas a partir de un sistema piloto a ser instalado en la parroquia Pifo barrio el Belén. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Alcocer, I., & Meza, J. (2021). Influencia de la temperatura y pH en la eficiencia de remoción de materia orgánica en un reactor RAFA a nivel de laboratorio de las aguas residuales municipales del Distrito de Quilcas - Huancayo. Universidad Nacional del Centro de Perú.
- Alvarado, E., & Cárdenas, A. (2015). Sistematización de la Información de las Plantas de Depuración de Aguas Residuales del Sector Rural del Cantón Cuenca - Azuay. 1–129.
- Amy, G., Brdjanovic, Damir., Comeau, Y., Ekama, George., Orozco, J., Gerba, C., Henze, M., Hooijmans, C., Judo, S., Kim, B., Lier, J., Mahmoud, N., Martins, A., Morgenroth, E., Olsson, G., Rosso, D., Stenstrom, M., Takacs, I., Van Loosdrecht, Marck., ... Zeeman, G. (2008). Biological WasteWater Treatment (Mongens. Henze, Marck. Van Loosdrecht, George. Ekama, & Damir. Brdjanovic, Eds.). IWA Publishing.
- Arteaga, R., Mendoza, F., Párraga, C., & Vargas, P. (2019). Elaboración, aplicación y evaluación de pesticidas orgánicos en jardín ornamental. Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía, IV(N°8), 886–896.
- Constitución de la Republica del Ecuador, Registro oficial 449 de 20 de octubre de 2008 1 (2008).
- Asociación Nacional de Industriales. (1997). ANDI.pdf.
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2015). El futuro de los servicios de agua y saneamiento en América Latina.
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2019). Panorama de las tarifas de agua en los países de Latinoamérica y el Caribe. In Servicio de Infraestructura en América Latina (p. 18).

- Banco Interamericano de Desarrollo. (2020a). Agua para el futuro: Estrategia de seguridad hídrica para América Latina y el Caribe. In *Earth Sciences Commons Scholar* (p. 218). <https://doi.org/10.18235/0002818>
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2020b). De estructuras a servicios, el camino a una mejor infraestructura en América Latina y el Caribe. In E. Cavallo, P. Andrew, & S. Tomás (Eds.), Banco Interamericano de Desarrollo.
- Barbosa, S., & Bustillos, L. (2020). Diseño de un fondo ambiental para la protección del agua, zonas de almacenamiento y recarga hídrica en la provincia de Cotopaxi. Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Cabrera, M., López, A., & Carillo, Y. (2017). Remoción de contaminantes orgánicos presentes en el agua residual doméstica mediante prototipo a escala de laboratorio. *La Granja*, 26(2), 72. <https://doi.org/10.17163/lgr.n26.2017.07>
- Casierra, H., Casalins, J., Vargas, X., & Caselles, A. (2016). Desinfección de agua residual doméstica mediante un sistema de tratamiento acoplado con fines de reúso. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 7(4), 97–111.
- Castro, P., & Mosquera, A. (2021). Identificación de los Servicios Ecosistémicos de la Apicultura.
- Cervantes, P., Souza, E., Bernal, A., Reyes, J., de la Rosa, G., & Cuevas, G. (2017). Impacto de los nano contaminantes en biorreactores aerobios para tratamiento de aguas residuales. *Revista Mexicana de Ingeniera Quimica*, 16(1), 247–260.
- Chan, Y. J., Chong, M. F., Law, C. L., & Hassell, D. G. (2009). A review on anaerobic-aerobic treatment of industrial and municipal wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 155(1–2), 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.06.041>
- Comision Nacional del Agua. (2019a). Datos Básicos Para Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado Comisión Nacional del Agua. 4. In *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*.

Comisión Nacional del Agua. (2019b). Desinfección Para Sistemas de Agua Potable y Saneamiento. Libro 23. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento.

Comisión Nacional del Agua. (2019c). Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Pretratamiento y Tratamiento Primario. 26. In Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento.

Comisión Nacional del Agua. (2019d). Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Procesos Avanzados con Fines de Reúso. 35. In Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento (Issues 978-968–5).

Comision Nacional Del Agua. (2019). Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente. 28. In Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento.

Comisión Nacional del Agua. (2019e). Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: Tratamiento y disposición de lodos. 32. In Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales Boulevard.

Comisión Nacional del Agua. (2019f). Introducción al Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. 25. In Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento.

Cortijo, L. (2018). Desarrollo de un biorreactor anaerobio de membrana cerámica de bajo consumo energético para el tratamiento de aguas residuales e industriales de alta carga. Universidad Complutense de Madrid.

Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblacionales (Traducción). McGraw-Hill Interamericana S.A.

de Lemos Chernicharo, C. A. (2007). Anaerobic Reactors en Biological Wastewater Treatment (Vol 4). IWA Publishing.

- Ferriman, A. (2007). BMJ Readers choose the “sanitary revolution” as greatest medical advance since 1840. *BMJ (Clinical Research Ed.)*, 334(7585), 111. <https://doi.org/https://doi.org/10.1136/bmj.39097.611806>.
- Gandarillas R., V., Saavedra, O., Escalera, R., & Montoya, R. (2017). Revisión de las experiencias en el tratamiento de aguas residuales domésticas mediante reactores UASB en Cochabamba Bolivia comparadas con las de Latinoamérica, India y Europa. *INVESTIGACION & DESARROLLO*, 17(1), 83–98. <https://doi.org/10.23881/idupbo.017.1-7i>
- GLUMRB. (2003). Recommended Standards for Water Works, Great Lakes–Upper Mississippi River Board of State and Provincial Public Health and Environmental Managers. Health Education Services.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Latacunga. (2016). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Latacunga 2016-2028.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Belisario Quevedo. (2019). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial Belisario Quevedo (p. 180).
- Google. (2021). Google Earth Pro (7.3.3.7786.).
- Guayara, F., & Peña, R. (2021). Comparación entre los consumos de agua potable durante la cuarentena del 2020 y los registros históricos en Morona Santiago y Chimborazo. Universidad Nacional de Chimborazo.
- Gutierrez, L. (2017). Sistema de Alcantarillado Sanitario para los barrios Pishica Pamba e Illuchi de la parroquia Belisario Quevedo del cantón Latacunga con la modelación sanitaria del tratamiento [Universidad Técnica De Ambato]. <http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/5301/Mg.DCEv.Ed.1859.pdf?sequence=3>
- Hanna. (2020). Manual de Instrucciones HI 9812 -5 Medidor portátil de pH / CE / TDS / ° C (pp. 1–16).
- Herrera, C. (2017). Residencia Universitaria para Alumnos no Residentes en la Ciudad de Quito, Sector la Floresta (Vol. 1). Universidad Católica del Ecuador.

- Hidalgo, M. (2017). Variabilidad climática interanual sobre el Ecuador asociada a ENOS. *Ciencia América*, 6(2), 32–37.
- INAMHI. (2017). Anuario Meteorológico Nº 53-2013.
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169: 2013 Agua, Calidad de agua, Muestreo Manejo y Conservación de Muestras., Pub. L. No. CDU: 614.777.620.113, Instituto Ecuatoriano De Normalización 26 (2013).
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176: Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo, Pub. L. No. CDU: 614.777:620.113, 15 (2013).
- Izurieta, R., Campaña, A., Calles, J., Estévez, E., & Ochoa, T. (2019). Calidad del Agua en las Américas Riesgos y Oportunidades. In IANAS La Red Interamericana de Academias de Ciencias (Issue February).
- Jiménez, A. (2016). Estudio de factibilidad de reúso de aguas residuales domésticas tratadas en condominios de estrato alto para riego de zonas verdes en la sabana de Bogotá. Universidad de la Salle.
- Kawamura, S. (2000). *Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities* (John Wiley).
- Lasso, J., & Ramírez, J. (2011). Perspectivas generales del efecto del reúso de aguas residuales para riego en cultivos para la producción de biocombustibles en Colombia. *El Hombre y La Máquina*, 36, 95–105.
- Lazarova, V., & Bahri, A. (2005). *Water Reuse for Irrigation: Agriculture, Landscapes, and Turf Grass*. CRC Press.
- Lituma, E., & Mora, E. (2016). Diseño y elaboración de un manual de toma, manejo y recepción de muestras de agua para el laboratorio de calidad de agua del departamento recursos hídricos y ciencias ambientales, perteneciente a la universidad de Cuenca (Vol. 1, Issue 5).
- Lledó, C. (2002). Contaminación De Las Aguas Subterráneas: Tipo Doméstico E Industrial. *Presente Y Futuro De Las Aguas Subterráneas En La Provincia De Jaén*, 149–156.

- López, C., Méndez, G., Carrillo, F., & Garcia, H. (2017). Tratamiento biológico de aguas residuales: principios, modelación y diseño. IWA. <https://doi.org/10.2166/978178040914>
- Lorenzo, E., Llanes, J., Fernandez, L., & Bataller, M. (2009). Reúso de aguas residuales domesticas para riego agrícola. Valoración crítica. Revista CENIC. Ciencias Biológicas, 40(1), 35–44.
- Machdar, I., Muhammad, S., Onodera, T., & Syutsubo, K. (2018). A pilot-scale study on a down-flow hanging sponge reactor for septic tank sludge treatment. Environmental Engineering Research, 23(2), 195–204. <https://doi.org/10.4491/eer.2017.106>
- Mancilla, G., Soto, M., & Vivanco, C. (2020). COVID-19: IMPLICANCIAS Y REPERCUSIONES EN LA SEGURIDAD HÍDRICA. In Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe (CAZALAC).
- Martín, A., Ávila, R., Yruela, M., Plaza, R., Navas, Á., & Fernández, R. (2004). Manual de Riego de Jardines (Junta de A). Ediciones Ilustres S. L. Córdoba.
- Mayorga, E., & Carrera, D. (2015). Diseño de reactores biológicos para tratamiento de aguas de canales de riego. Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE, 10(1), 30–36.
- Metcalf, & Eddy, I. (2003). Wastewater Engineering: Treatment and Reuse (G. Tchobanoglous, F. Burton, & D. Stensel, Eds.; Cuarta ed.). McGraw-Hill.
- Acuerdo No 61 Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria, Registro Oficial - Lunes 4 de mayo de 2015 80 (2015). https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_acuerdo-ministerial-061.pdf
- Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, Norma de Calidad Ambiental y de Descargas de Efluentes: Recurso agua. Libro VI. Anexo 1., Pub. L. No. 387, Registro Oficial miércoles 4 de noviembre de 2015 21 (2015).
- Código Orgánico Del Ambiente, 12-abr.-2017 1 (2018).
- Mott, R. (2006). Mecánica de fluidos (Pearson Ed). Prentice Hall Inc.

- Nuñez, L., Molinari, C., Paz, M., Tornello, C., Mantovano, J., & Moretton, J. (2014). Análisis de riesgo sanitario en aguas grises de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 30(4), 187–197.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2013). Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos? Viale delle Terme di Caracall.
- Organización Mundial de la Salud. (2006). Guías para la calidad del agua potable (Tercera Ed).
- Organización Panamericana De La Salud. (2005). Guías Para el Diseño de Tecnologías de Alcantarillado. El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Del Ambiente (OPS/CEPIS), 73.
- Orozco, Á. (2014). Bioingeniería de aguas residuales: teoría y diseño. (Segunda ed). ACODAL.
- Parra, I., & Chiang, G. (2013). Modelo integrado de un sistema de biodepuración en origen de aguas residuales domiciliarias. Una propuesta para comunidades periurbanas del Centro Sur de Chile. *Gestión y Ambiente*, 16(3), 39–51.
- Pedrollo. (2021). Electrobombas centrífugas en acero inoxidable.
- Pedroza, E. (2018). Hidráulica Básica. Historia, conceptos previos y ecuaciones (G. Martínez, Ed.; Primera ed). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Plastigama. (2020). Catálogo de Línea de Productos de Aspersión Plastigama Agricultura (p. 21).
- Rojano, A., Salazar, R., Flores, J., & Ojeda, W. (2017). Historia del agua en el valle de México. Congreso Nacional de Riego y Drenaje COMEII 2017, 485(julio).
- Romero, J. (2010). Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño. In C. Salazar & J. Cañas (Eds.), *Escuela Colombiana de Ingeniería (Escuela Co, Vol. 3)*. Nuevas Ediciones SA.
- Rosa, A., Conesa, J., Fullana, A., Melo, G., Borges, J., & Chernicharo, C. (2016). Energy potential and alternative usages of biogas and sludge from UASB reactors: Case study of the Laboreaux wastewater treatment plant. *Water Science and Technology*, 73(7), 1680–1690.
<https://doi.org/10.2166/wst.2015.643>

- Sánchez, D. (2017). Contaminantes biológicos en el agua y riesgo a la salud pública. *Boletín Científico de La Escuela Superior Atotonilco de Tula*, 4(7), 3–5. <https://doi.org/10.29057/esat.v4i7.2194>
- Santacruz, K. (2021). Diseño de un edificio de uso mixto como respuesta a la población flotante en el barrio Santa Clara de Millán. Universidad Central del Ecuador.
- Norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural., Pub. L. No. NORMA CO 10.7-602, 1 (2008).
- Normas para estudio de sistemas de abastecimiento de agua potable y disposición de aguas residuales, para poblaciones mayores a 1000 habitantes., Pub. L. No. CO 10.07-601, 420 (2008). http://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/norma_urbana_para_estudios_y_disenos.pdf
- Reglamento de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento del Agua, Registro Oficial 483 1 (2015).
- Silva, J., Torres, P., & Madera, C. (2008). Reuso de aguas residuales domésticas. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 26(2), 13.
- Solsona, F., & Méndez, J. (2002). *Desinfección del Agua*. Organización Panamericana de la Salud.
- Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. (2021). *Calendario de Actividades Académicas*. <https://www.espe.edu.ec/calendario-academico/>
- Veliz, E., Llanes, J., Asela, L., & Bataller, M. (2009). Reúso de aguas residuales domesticas para riego agrícola. Valoración crítica. In CENIC. *Ciencias Biológicas* ISSN: (Vol. 40).
- Zamora, I. (2020). El cuidado de agua en entornos urbanos durante la pandemia de Covid-19 (Temas de la Agenda 17). *Instituto Belisario Domínguez Del Senado de La República*, 1, 9.

Apéndices