

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
DOMÉSTICAS PARA LA CIUDAD DE GUARANDA,  
PROVINCIA BOLÍVAR**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERA AMBIENTAL**

**MICHELL KATERINE NARANJO TACO**

katerine.naranjo@epn.edu.ec

**DIRECTORA: PhD. ANA LUCÍA BALAREZO AGUILAR**

ana.balarezo@epn.edu.ec

**Quito, agosto 2019**

## **DECLARACIÓN**

Yo, Michelle Katerine Naranjo Taco, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

**MICHELLE KATERINE NARANJO TACO**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Michelle Katerine Naranjo Taco, bajo mi supervisión.

---

**PhD. ANA LUCÍA BALAREZO AGUILAR**  
**DIRECTORA DEL PROYECTO**

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por haber puesto en mi camino a todas aquellas personas que hicieron un cambio en mi vida y con quienes compartí momentos increíbles.

A mi padre, por su apoyo y ejemplo de vida, por enseñarme que cualquier adversidad se puede superar con esfuerzo y voluntad; y que los sacrificios siempre terminan por valer.

A mi madre, por alentarme y creer en mí durante todo este proceso, por ser mi guía, mi consejera y mi fuente de motivación en los momentos difíciles. Su amor hizo que todo valiera la pena.

A mis hermanas, mis amigas, quienes han sabido disipar mi angustia llenando mi corazón de alegría, tranquilidad y amor. Paulina, te respeto mucho por demostrarme que las mujeres de la familia somos fuertes y capaces lo que nos proponamos, eres mi ejemplo a seguir como persona y profesional. Estefanía, nuestro vínculo es muy especial, he compartido contigo la mayor parte de mi vida, eres muy fuerte y valiente, aunque dudes de ti misma yo siempre creeré en ti.

A mis sobrinos, Aaron, Benjamín y Thiago, por llenar mi corazón del amor más puro e inocente de todos, el amor de un niño. Gracias por los días de diversión y felicidad, ustedes me motivan a ser la mejor versión de mí misma y ser un ejemplo que puedan seguir.

A Suha, por ser mi confidente, mi conciencia y mejor amiga. Eres mi polo opuesto y es lo que hace divertida nuestra amistad. Te considero una persona muy valiosa en mi vida y agradezco a Dios por ponerte en mi camino. Espero que, a pesar de los años, nuestra amistad siga igual de fuerte y verdadera.

A Yadi, Abigail y Majo, por confiar en mí y permitirme compartir momentos increíbles a su lado. Yadi, gracias a tu sentido del humor y personalidad, hemos disfrutado de momentos graciosos, te quiero mucho mami. Abigail, eres una persona muy centrada y perseverante, cualidades que son dignas de admirar y que espero que te lleven muy lejos. Y Majo, eres la persona con más agallas y divertida que

conozco, gracias por esos momentos increíbles a tu lado. A las tres les deseo éxitos en su vida profesional.

A Kevin, Ariel, Javier, Elton y Yor, quienes me han apoyado en varios momentos de mi vida, se han ganado mi confianza y mi corazón. Ustedes son el significado de la verdadera amistad.

A mis amigos, mis babies, los mijines, quiero decirles que cada uno de ustedes me inspira de manera diferente, son la familia que yo elegí y que, a pesar del estrés y malos ratos, las risas nunca faltaron, sin ustedes esta etapa no hubiese sido igual, espero que nuestra amistad dure para siempre.

A la PhD. Ana Lucía Balarezo, por su paciencia y guía en la elaboración del presente documento.

A la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda, la cual me permitió realizar los análisis para el presente proyecto de titulación.

A la Escuela Politécnica Nacional, por permitirme conocer a estas maravillosas personas y dejarme las enseñanzas más valiosas de mi vida.

Espero que la vida me siga sorprendiendo con personas y momentos maravillosos.

*Su amiguila de Guaranda.*

*Katty*

## CONTENIDO

DECLARACIÓN .....	II
CERTIFICACIÓN .....	III
AGRADECIMIENTOS .....	IV
ÍNDICE DE TABLAS .....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XII
RESUMEN.....	XII
SIMBOLOGÍA.....	XV
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 OBJETIVOS .....	3
1.2.1 OBJETIVO GENERAL .....	3
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.3 ALCANCE.....	4
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 AGUAS RESIDUALES .....	6
2.1.1 CARACTERÍSTICAS.....	6
2.1.2 TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS.....	8
2.1.3 TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO PARA PEQUEÑAS Y MEDIANAS POBLACIONES.....	11
2.1.4 PARÁMETROS PARA CARACTERIZAR AGUAS RESIDUALES .....	16
2.2 MARCO LEGAL.....	19

2.3	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	20
2.3.1	UBICACIÓN.....	20
2.3.2	CLIMA.....	22
2.3.3	HIDROLOGÍA.....	22
2.3.4	USO DE SUELO.....	23
2.3.5	EDUCACIÓN .....	24
2.3.6	ECONOMÍA.....	24
2.3.7	DATOS DE LA CIUDAD .....	25
	CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	28
3.1	MEDICIÓN DE LOS CAUDALES DE DESCARGA .....	30
3.1.1	MÉTODO DE AFORO .....	30
3.2	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE LAS DESCARGAS .....	31
3.2.1	MUESTREO DE LAS DESCARGAS .....	31
3.2.2	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS .....	35
3.2.3	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS .....	43
3.2.4	CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS .....	50
3.3	ENCUESTA POBLACIONAL.....	52
	CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	54
4.1	DETERMINACIÓN DE LOS CAUDALES MÍNIMOS, PROMEDIOS Y MÁXIMOS, HORARIOS DIARIOS.....	54
4.1.1	HIDROGRAMAS DE DESCARGA.....	54
4.2	ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DE LAS DESCARGAS .....	58
4.3	CARGA CONTAMINANTE DE LAS DESCARGAS .....	63

4.3.1	BIODEGRADABILIDAD Ó RELACIÓN DBO <sub>5</sub> /DQO.....	65
4.4	ANÁLISIS SOCIAL .....	66
4.5	ANÁLISIS ECONÓMICO .....	68
4.6	PROCESO DE SELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO .....	71
4.7	PROPUESTA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO .....	75
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		78
5.1	CONCLUSIONES .....	78
5.2	RECOMENDACIONES .....	79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		80
ANEXOS.....		85
ANEXO N°1. CAUDALES DE ARD DE LAS 4 DESCARGAS DE LA CIUDAD DE GUARANDA .....		86
ANEXO N°2. RESULTADOS DE LAS ENCUESTAS SOCIOECONÓMICAS .....		91
ANEXO N°3. AVAL DE TESIS PARA ENSAYOS DE LABORATORIO EN LA EMAPAG .....		94
ANEXO N°4. MODELO DE ENCUESTA SOCIOECONÓMICA.....		97

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AR UTILIZADOS EN FUNCIÓN DEL TIPO DE CONTAMINANTE A ELIMINAR. ....	12
TABLA 2.2. PARÁMETROS DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS.....	18
TABLA 2.3. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE, 2015. ....	19
TABLA 3.1. COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE LOS PUNTOS DE DESCARGA DE ARD, 2018.....	28
TABLA 3.2. CAUDALES HORARIOS DE LA DESCARGA DE ARD DE MARCOPAMBA, 2018.....	32
TABLA 3.3. VOLUMEN DE LAS ALÍCUOTAS DE LA DESCARGA DE MARCOPAMBA. ....	33
TABLA 3.4. VALORES DE SÓLIDOS TOTALES REGISTRADOS DE LAS DESCARGAS DE ARD PARA EL PRIMER MUESTREO.....	39
TABLA 3.5. SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES DE LAS DESCARGAS DE ARD PARA EL PRIMER MUESTREO.....	40
TABLA 3.6. RESULTADOS DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES DE ARD PARA EL PRIMER MUESTREO. ....	42
TABLA 4.1. RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS OBTENIDOS EN LABORATORIO PARA CADA UNA DE LAS DESCARGAS DE ARD. ....	59
TABLA 4.2. VALORES PROMEDIO DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS OBTENIDOS EN LABORATORIO PARA CADA DESCARGA DE ARD. ....	60

TABLA 4.3. CARGAS CONTAMINANTES DE LOS PUNTOS DE DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN DISTINTOS PARÁMETROS, 2018. ....	64
TABLA 4.4. POBLACIÓN EQUIVALENTE PARA CADA DESCARGA DE ARD DE LA CIUDAD DE GUARANDA, 2018.....	65
TABLA 4.5. GRADO DE BIODEGRADABILIDAD DE LAS ARD DE LA CIUDAD DE GUARANDA, 2018.....	66
TABLA 4.6. RESULTADOS DE LAS PREGUNTAS DICOTÓMICAS DE LA ENCUESTA SOCIOECONÓMICA.....	68
TABLA 4.7. CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN ECONÓMICA. ....	70
TABLA 4.8. MATRIZ DE EVALUACIÓN PARA EL REACTOR UASB. ....	73
TABLA 4.9. MATRIZ DE EVALUACIÓN PARA LA LAGUNA ANAEROBIA. ....	74
TABLA 4.10. MATRIZ DE EVALUACIÓN PARA EL FILTRO ANAEROBIO. ....	74
TABLA A1.1. CAUDALES DE ARD DE LA DESCARGA DE MARCOPAMBA. ....	87
TABLA A1.2. CAUDALES DE ARD LA DESCARGA DE PUENTE DE VINCHOA. ....	88
TABLA A1. CAUDALES DE ARD DE LA DESCARGA DE VIVERO MUNICIPAL.....	89
TABLA A1.4. CAUDALES DE ARD DE LA DESCARGA DE NEGROYACO. ....	90
TABLA A2.1. GÉNERO DE LOS ENCUESTADOS.....	92
TABLA A2.2. EDAD DE LOS ENCUESTADOS. ....	92
TABLA A2.3. CONSUMO DE AGUA EN LOS HOGARES DE ACUERDO CON LOS ENTREVISTADOS. ....	92
TABLA A2.4. PAGO MENSUAL DEL CONSUMO DE AGUA EN DÓLARES. ....	92

TABLA A2.5. CALIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SEGÚN ENCUESTADOS.....	93
TABLA A2.6. CAUSAS DEL MAL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SEGÚN LOS ENCUESTADOS.....	93

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1. TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES (%) POR NIVEL REGIONAL, EN EL TERRITORIO ECUATORIANO 2016.....	2
FIGURA 2.1. PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS.....	9
FIGURA 2.2. ESQUEMA DE OPERACIÓN DE UNA LAGUNA ANAEROBIA.....	14
FIGURA 2.3. REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (UASB).....	15
FIGURA 2.4. ESQUEMA DE UN FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE.....	16
FIGURA 2.5. DIVISIÓN POLÍTICA DEL CANTÓN GUARANDA, 2013.....	21
FIGURA 2.6. MAPA CATASTRAL DE LA CIUDAD DE GUARANDA, 2013.....	22
FIGURA 2.7. RED HIDROGRÁFICA DEL CANTÓN GUARANDA, 2013.....	23
FIGURA 2.8. PUNTOS DE DESCARGA DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE GUARANDA.....	26
FIGURA 3.1. DESCARGAS DE ARD DE LA CIUDAD DE GUARANDA, 2018.....	29
FIGURA 3.2. TOMA DE ALÍCUOTA DURANTE EL MUESTREO COMPUESTO.....	34
FIGURA 3.3. MUESTRA COMPUESTA.....	34
FIGURA 3.4. ENVASES UTILIZADOS DURANTE EL MUESTREO COMPUESTO DE LAS DESCARGAS DE ARD.....	35
FIGURA 3.5. MEDICIÓN DE TEMPERATURA DURANTE EL MUESTREO DE LAS ARD, 2018.....	36

FIGURA 3.6. NEFELÓMETRO PARA MEDIR LA TURBIEDAD DE LAS ARD.....	37
FIGURA 3.7. ENSAYO DE SÓLIDOS TOTALES.....	39
FIGURA 3.8. MATERIALES Y EQUIPOS PARA DETERMINAR LOS SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES.....	41
FIGURA 3.9. ENSAYO DE SÓLIDOS SEDIMENTABLES.....	43
FIGURA 3.10. ENSAYO DE ACEITES Y GRASAS.....	46
FIGURA 3.11. ENSAYO DE TENSOACTIVOS.....	48
FIGURA 3.12. PREPARACIÓN DEL AGUA DE PEPTONA.....	51
FIGURA 3.13. PREPARACIÓN DEL CALDO BILIS BRILLANTE.....	51
FIGURA 3.14. ENSAYO DE COLIFORMES FECALES.....	52
FIGURA 4.1. VARIABILIDAD HORARIA DEL CAUDAL DE DESCARGA DE ARD MARCOPAMBA, 2018.....	55
FIGURA 4.2. VARIABILIDAD HORARIA DEL CAUDAL DE DESCARGA DE ARD DE VINCHOA, 2018.....	56
FIGURA 4.3. VARIABILIDAD HORARIA DEL CAUDAL DE DESCARGA DE ARD DEL VIVERO MUNICIPAL, 2018.....	57
FIGURA 4.4. VARIABILIDAD HORARIA DEL CAUDAL DE DESCARGA DE ARD DE NEGROYACO, 2018.....	57
FIGURA 4.5. EDAD DE LOS ENCUESTADOS.....	66
FIGURA 4.6. CONSUMO DE AGUA MENSUAL EN m <sup>3</sup> , 2018.....	67
FIGURA 4.7. PAGO MENSUAL DEL CONSUMO DE AGUA POR FAMILIA, 2018.....	67
FIGURA 4.8. DIAGRAMA DE LA PROPUESTA DE TRATAMIENTO, 2018.....	76

## RESUMEN

La ciudad de Guaranda, al igual que muchas ciudades en el país, no cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, por consiguiente, este proyecto de titulación presenta una propuesta de depuración. Se inició con la revisión de la información técnica relativa al tema, proporcionada por el GAD del cantón Guaranda, tal como el número y ubicación de los sitios de las descargas, posteriormente se realizó una visita de campo para verificar la accesibilidad a los sitios de descarga, así como los posibles riesgos y el ingreso de material de muestreo menor.

Seguidamente, se planificó la determinación de los caudales diarios de cada una de las descargas, así como los muestreos compuestos de las aguas residuales para su posterior caracterización físico, química y microbiológica. Luego, se aplicó una encuesta a la población para conocer su percepción respecto a la problemática de las aguas residuales domésticas en la ciudad, para finalmente proponer el sistema de tratamiento más viable.

Los resultados obtenidos mostraron que la ciudad de Guaranda tiene cuatro sitios de descarga de aguas residuales domésticas, localizados a lo largo del río del mismo nombre. De las descargas, la más representativa en términos de caudal fue Negroyaco con 21,05 L/s, mientras que el caudal de Puente Vinchoa tiene apenas 7,81 L/s. De la caracterización físico, química y microbiológica, los indicadores de contaminación en materia orgánica biodegradable (DBO) y la materia orgánica e inorgánica (DQO) están por el orden de 220 mg/L y 390 mg/L, respectivamente. En base al coeficiente de biodegradabilidad de las aguas residuales y la condición socioeconómica de la población se determinó que el tratamiento viable se orienta hacia procesos biológicos, los cuales son óptimos para poblaciones urbanas entre 20.000 y 100.000 habitantes, y de acuerdo con el análisis técnico, social y ambiental, éstos se reducen a tres tratamientos: laguna anaerobia, reactor UASB y filtro anaerobio, los cuales de acuerdo con el análisis del Índice de Tecnología Óptima (ITO), el reactor UASB resultó ser el tratamiento más adecuado.

## SIMBOLOGÍA

‰: porcentaje.

mg/L: miligramo/Litro.

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: ácido sulfúrico.

KOH: hidróxido de potasio.

HCl: ácido clorhídrico.

APHA: American Public Health Association ó Asociación Americana de Salud Pública.

AR: Aguas Residuales.

ARD: Aguas Residuales Domésticas.

CEPAL: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

COOTAD: Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización.

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno.

DQO: Demanda Química de Oxígeno.

EIA: Estudio de Impacto Ambiental.

EMAPAG: Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda.

FONAG: Fondo para la protección del agua.

GADs: Gobiernos Autónomos Descentralizados.

INEC: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.

LMP: Límite Máximo Permisible.

PDOT: Plan de Ordenamiento Territorial.

PTARM: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales.

SENPLADES: Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo.

SD: sólidos disueltos.

SS: sólidos suspendidos.

ST: sólidos totales.

UASB: Upflow Anaerobic Sludge Blanket ó Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente.

# **CAPÍTULO 1.**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1 ANTECEDENTES**

Las descargas de aguas residuales provenientes del uso humano representan una problemática ambiental debido a la alta carga contaminante que contienen; estas aguas, al no ser tratadas afectan a la vida acuática de los ecosistemas e imposibilitan el uso del recurso hídrico, este escenario ha sido evidenciado con mayor énfasis en América Latina y el Ecuador no es la excepción. Para resolver dicho problema, las ciudades del país que no disponen de plantas de tratamiento han optado por diluir la carga contaminante con el caudal de los ríos, siendo la forma más fácil e insostenible (CEPAL, 2015).

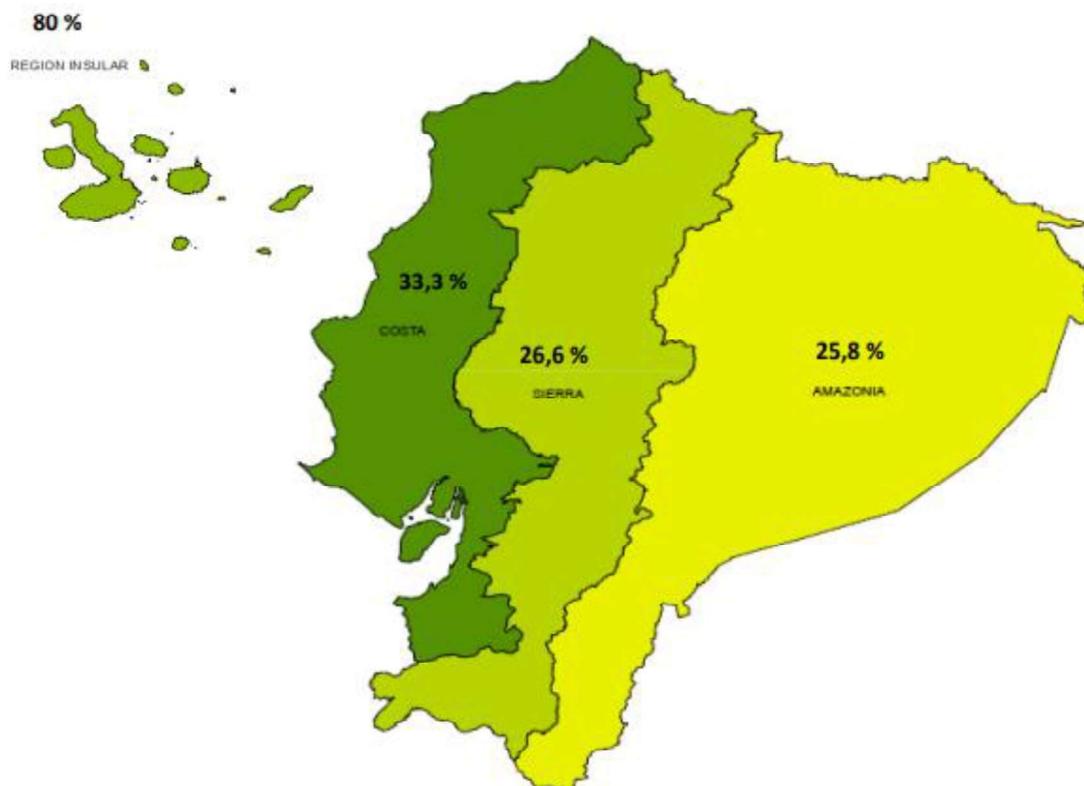
El Ecuador cuenta con 421 plantas de tratamiento de aguas residuales y de acuerdo con su distribución regional, la mayoría se localizan en la región Sierra (INEC, 2016). De los 215 GADs municipales existentes, 133 realizan un tratamiento parcial de sus aguas residuales municipales y en los 82 restantes no realizan tratamiento (INEC, 2016). La Figura 1.1 muestra el porcentaje de aguas residuales tratadas por nivel regional.

La ciudad de Guaranda, provincia Bolívar, con un consumo promedio per cápita de agua potable de 200 L/día (EMAPA-G, 2014), no dispone de un sistema de tratamiento de las aguas residuales domésticas que generan los 23 874 habitantes (INEC, 2010) y se descargan directamente al curso acuático que atraviesa la ciudad.

La ciudad cuenta con un sistema de alcantarillado combinado, que en época lluviosa hace que el caudal de las precipitaciones se sume al de las aguas residuales. El sistema de alcantarillado descarga en cuatro puntos a lo largo del río Guaranda, generando en época de estiaje olores desagradables, espuma, entre

otros aspectos organolépticos que, sin lugar a duda, cambian la estética del curso receptor, perdiendo de esta manera su potencial uso aguas abajo de las descargas (Contraloría General del Estado, 2013).

**FIGURA 1.1. TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES (%) POR NIVEL REGIONAL, EN EL TERRITORIO ECUATORIANO 2016.**



Fuente: (INEC, 2016)

El Municipio de Guaranda, a través de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda (EMAPAG), se encarga tanto de la captación como del tratamiento, distribución del agua potable y disposición final de las aguas residuales de la ciudad (EMAPAG, 2014), sin embargo esta última actividad no ha sido correctamente ejecutada aun cuando, en los incisos k de los artículos 54 y 55 del COOTAD, los GADs Municipales del país tienen la rectoría de regular, prevenir y controlar la contaminación ambiental, y preservar y garantizar el acceso efectivo de la población a ríos, lagos, lagunas, etc. (COOTAD, 2010).

En el pasado, el GAD cantonal propuso resolver dicho problema a través de la implementación de pequeños sistemas de tratamiento, pero fueron intentos fallidos ya que la etapa de construcción nunca finalizó, por lo que hoy en día parte de las infraestructuras se encuentran a manera de vestigios y escombros. La primera planta fue construida en el Sur de la ciudad y la segunda se localizó en la zona baja de la urbanización Coloma Román, la cual se disponía a servir a la población Norte, pero los problemas de diseño no permitieron cumplir el objetivo (Contraloría General del Estado, 2013). Para el año 2007, la EMAPAG realizó un Estudio de Impacto Ambiental en la ciudad con el fin de implementar un Plan Maestro que resuelva la problemática de las aguas residuales (CORPCONSUL CIA. LTDA, 2007), a pesar de dichos esfuerzos el proyecto no se llevó a cabo y hasta el momento el municipio no ha implementado ninguna estrategia con respecto a las descargas de las aguas residuales (AR).

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL**

Proponer un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas para la ciudad de Guaranda, en base a la caracterización de las mismas, para mejorar las condiciones del cuerpo receptor.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar la variabilidad diaria de las descargas, utilizando el método volumétrico para su aforo, para establecer los caudales mínimos, promedios y máximos.
- Caracterizar física, química y microbiológicamente las aguas residuales municipales, a través de análisis in situ y en laboratorio, para determinar el sistema de tratamiento óptimo.
- Proponer un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas para la ciudad de Guaranda, en función de sus características, a fin de reducir la contaminación del río.

### **1.3 ALCANCE**

El presente proyecto de titulación tuvo como finalidad proponer un sistema de tratamiento para las aguas residuales domésticas de la ciudad de Guaranda. Se llevó a cabo en varias etapas: primero se recopiló información bibliográfica secundaria en instituciones públicas y privadas, como el GAD Municipal, INEC, EMAPAG, entre otras relativas al tema, para posteriormente ser analizadas. En la segunda etapa, se ubicaron los sitios de las descargas de las aguas residuales domésticas (ARD) de la ciudad, para posteriormente en una visita de campo a los sitios, determinar la accesibilidad, morfología y georreferenciación. En la tercera etapa se procedió a medir los caudales de cada descarga para conocer su variabilidad horaria diaria. En la cuarta etapa o etapa de muestreo, se tomaron muestras compuestas de cada descarga. Para la quinta etapa, se ejecutó la caracterización física, química y microbiológica de las ARD en los laboratorios de la EMAPAG. Durante la sexta etapa, se aplicó encuestas a una muestra aleatoria de la población guarandea, a fin de conocer la percepción respecto a la ARD. Finalmente, se propuso un sistema de tratamiento acorde a los resultados obtenidos y las características de la zona de estudio.

### **1.4 JUSTIFICACIÓN**

El presente trabajo permite la generación de información técnica cualitativa y cuantitativa de las aguas residuales municipales de la ciudad de Guaranda. Se localizaron y georreferenciaron cada una de las descargas, además en la etapa de aforo de los efluentes domésticos se determinaron los caudales mínimos, medios y máximos horarios-diarios. Con la caracterización física, química y microbiológica se obtuvo la carga contaminante, en términos de aceites y grasas, detergentes, sólidos, materia orgánica biodegradable ( $DBO_5$ ), materia orgánica e inorgánica (DQO) y coliformes totales y fecales.

Para la determinación de los caudales de las diferentes descargas, se utilizó el método volumétrico debido a la fiabilidad, sencillez y economía de éste (Ramas, 2014). Los análisis físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales

domésticas y del cuerpo receptor, antes y después de recibir las descargas, se realizaron parcialmente in situ y en laboratorio, siguiendo los procedimientos descritos en “Métodos Estándar para el Análisis de Agua y Aguas Residuales”, metodología estandarizada y avalada por la American Water Waste Association (APHA, 2017). Los resultados obtenidos de la caracterización fueron comparados con los límites máximos permisibles estipulados en la normativa ambiental nacional: Tabla 9 del Libro VI Anexo 1 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (2015), a fin de establecer el grado de incumplimiento. La determinación de la propuesta del sistema de tratamiento se realizó de acuerdo a las sugerencias establecidas por Ramalho (2009), Metcalf y Eddy (2013), Noyola, Morgan, & Güereca (2013), Libhaber & Jaramillo (2012), fuentes que evalúan y recomiendan los procesos más indicados para el tratamiento aguas residuales.

Finalmente, se espera que la información obtenida a través de la caracterización de las aguas residuales domésticas de la ciudad de Guaranda sea de utilidad en la toma de decisiones técnicamente fundamentadas de proyectos o estudios relacionados con el tratamiento de ARD de la ciudad.

## **CAPÍTULO II.**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 AGUAS RESIDUALES**

Se originan a partir de procesos o actividades que degradan la calidad inicial del agua (MAE, 2015) y dependiendo el uso que provea; es decir industrial, agrícola, pecuario, minero o doméstico, tendrá mayor o menor concentración de compuestos orgánicos e inorgánicos (Henry & Heinke, 2004).

Las aguas residuales (AR) se clasifican en urbanas, domésticas e industriales, las primeras se generan de la mezcla de los residuos líquidos domésticos, industriales y pluviales, las segundas proceden únicamente de viviendas, establecimientos públicos y actividades comerciales; y las terceras resultan de vertidos comerciales e industriales (Ramalho, 2009).

Las aguas residuales domésticas (ARD) resultan de las actividades cotidianas como lavado de ropa, alimentos, duchas, retretes, etc, (Metcalf & Eddy, 2013). Existe una relación directa entre el agua abastecida y el agua residual, cerca del 75% del agua abastecida se convierte en residual; dicha relación no puede ser del 100%, debido a las pérdidas que existen por infiltración, fugas en la red de distribución, procesos productivos, riego, incendios, etc, pero tiende a ser constante en ciudades con alcantarillados bien diseñados, generando caudales per cápita entre 120 a 500 L/hab\*día de ARD (Metcalf & Eddy, 2013).

##### **2.1.1 CARACTERÍSTICAS**

La composición de las ARD varía en función de los hábitos, costumbres, crecimiento económico y social de la población (Metcalf & Eddy, 2013). En general su contenido es 99% agua y 1% de residuos sólidos (RS), de éste el 20% es considerada materia sedimentable (Rojas, 2002). Los RS están compuestos por materia orgánica y mineral. Se dice que el 75% de sólidos en suspensión y el 40% de sólidos filtrables; son de naturaleza orgánica (Metcalf & Eddy, 2013).

La materia orgánica está formada principalmente por proteínas, hidratos de carbono y aceites y grasas (Ramalho, 2009), los cuales provienen de animales, plantas e hidrocarburos derivados del petróleo (Arce, Calderón & Tomasini, 2000).

La temperatura de las aguas residuales suele ser mayor que la del agua potable, su rango oscila entre 10°C a 21 °C. Al sobrepasar los 25°C, tendrá un efecto nocivo en el desarrollo de la fauna y flora en un cuerpo de agua, debido a que aumenta la velocidad de las reacciones bioquímicas, lo cual a la larga disminuye la concentración de oxígeno disuelto, favoreciendo así la proliferación de algas, hongos y bacterias (Metcalf & Eddy, 2013).

La turbidez en las AR es producida por el contenido de material en suspensión y coloidal, estas partículas impiden el paso de la luz en el cuerpo de agua y reducen la productividad primaria dentro de él. El material coloidal está compuesto por materia orgánica, limo, sólidos o microorganismos, que absorben y dispersan la luz impidiendo su transmisión (Metcalf & Eddy, 2013).

Es importante conocer el contenido de los elementos disueltos en las AR, los cuales se presentan en forma de metales, iones o minerales, estos pueden afectar la biota acuática, debido a que cada organismo tolera cierto rango de concentración de dichos elementos (Panachlor, 2016). Los iones químicos más comunes son el calcio  $\text{Ca}^{+2}$ , fosfatos  $\text{PO}_4^{-3}$ , nitratos  $\text{NO}_3^-$ , sodio  $\text{Na}^+$ , potasio  $\text{K}^+$  y cloruros  $\text{Cl}^-$ , cuyo contenido se mide a través de la conductividad eléctrica.

Las ARD presentan altos contenidos en nutrientes (nitrógeno N y fósforo P), los cuales se detallan a continuación:

- ✓ El nitrógeno en las ARD se encuentra especialmente en forma orgánica (proteínas) y en forma amoniacal, compuesto que predomina en la orina de los seres vivos. Los nitritos y los nitratos rara vez aparecen en las aguas residuales domésticas (Menéndez & Pérez, 2007). El contenido de nitrógeno en sus diversas formas es de interés, ya que son fundamentales en el crecimiento de los organismos acuáticos, y cuyas alteraciones en su concentración pueden

afectar drásticamente el balance ecosistémico (Espinoza, León & Rodríguez, 2013).

- ✓ Las ARD son relativamente ricas en fósforo, debido al uso de detergentes, jabones y productos de limpieza en las actividades humanas. La abundancia de fósforo puede ocasionar el deterioro de la calidad del agua debido a la aparición de color o sabor desagradables, espuma, crecimiento de algas, etc. Para solucionar dichos problemas es importante conocer la concentración de dicho parámetro en las AR (Menéndez & Pérez, 2007).

Las enfermedades más comunes ocasionadas por las ARD son del tipo gastrointestinal, debido a su alto contenido de material fecal (Gallegos, 2013). Para determinar si una muestra de agua contiene material fecal, se realizan análisis de coliformes totales y fecales.

## **2.1.2 TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS**

Tienen como finalidad reducir la contaminación de las AR previo a su descarga, además de cumplir con los límites máximos permisibles para descargas a cuerpos receptores de agua dulce de acuerdo con la legislación ambiental nacional vigente (García, 2017).

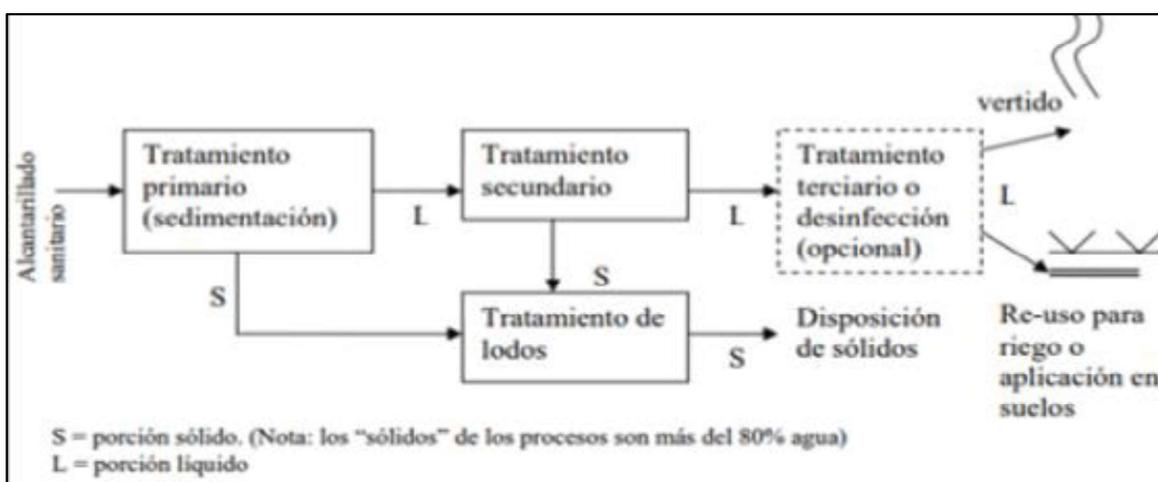
Los tratamientos de AR se clasifican en preliminares, primarios, secundarios y terciarios. Cada una de estas fases se acopla en función de las características de los afluentes y la calidad del efluente requerido (Trapote, 2017). La Figura 2.1 presenta el diagrama de flujo de las fases del tratamiento que conforman una PTAR tipo convencional.

### **2.1.2.1 Pretratamiento y tratamiento primario**

Se encarga especialmente de la eliminación de residuos sólidos, objetos o partículas gruesas que se encuentran flotando o en suspensión (Ramalho, 2009) y que puedan ocasionar fallos en el funcionamiento de la planta de tratamiento (Metcalf & Eddy, 2013), puesto que cualquier deficiencia en éste repercutirá

negativamente ocasionando obstrucciones de tuberías, válvulas y bombas, desgaste de equipos, formación de costras, etc. (Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua de Sevilla, 2016). Para eliminar el efecto abrasivo de dichos materiales se utiliza una serie de rejas colocadas en secuencia con celdas de diferente tamaño a fin de retener sólidos de distintas dimensiones (Carrasco & Menéndez, 2010).

**FIGURA 2.1. PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS.**



Fuente: Brown, 2004.

El tratamiento primario se encarga de la remoción de los sólidos en suspensión que han atravesado la fase de pretratamiento (Metcalf & Eddy, 2013) cuya concentración debe reducirse en un 50%, también, se espera una reducción de la DBO<sub>5</sub> en un 20%, puesto que parte de los sólidos que se eliminan están constituidos por materia orgánica (Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua de Sevilla, 2016). Para dicho proceso se utiliza la decantación primaria, la cual aprovecha la gravedad haciendo que las partículas más densas que el agua descendan y se depositen en el fondo del decantador (Carrasco & Menéndez, 2010).

Los tratamientos fisicoquímicos se realizan mediante la adición de reactivos químicos los cuales consiguen el mismo objetivo que la decantación, a través de procesos de coagulación-floculación. Sin embargo estos se aplican principalmente cuando las aguas residuales presentan contaminación por vertidos industriales que

pueden afectar al tratamiento biológico y cuando se dan fuertes variaciones estacionales de caudal (Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua de Sevilla, 2016).

#### **2.1.2.2 Tratamiento secundario**

Tiene como finalidad lograr efluentes más puros que puedan ser utilizados en procesos industriales, recreación, riego y recarga de acuíferos (Rojas, 2002). Se fundamenta en procesos biológicos que reducen entre el 85% y 95% la carga orgánica contaminante del agua residual (Carrasco & Menéndez, 2010), principalmente en términos de DBO<sub>5</sub> (Rojas, 2002).

El tratamiento biológico o secundario utiliza la materia orgánica previamente dividida y disuelta (Rojas, 2002) como alimento de microorganismos en procesos de oxidación, y así obtener energía suficiente para el mantenimiento celular y formación de tejido celular nuevo (Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua de Sevilla, 2016). Cuando la materia orgánica es totalmente agotada las células empiezan a consumir su propio tejido celular a fin de obtener energía para el mantenimiento celular y poder cumplir con el ciclo (respiración endógena) (Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua de Sevilla, 2016).

Los microorganismos pueden ser aerobios, anaerobios y facultativos (Henry & Heinke, 2004). Los procesos aerobios son aquellos que necesitan de oxígeno libre para transformar el 65% de la materia orgánica en biomasa (González, 2016), es por ello que se necesita la implementación de sistemas de aireación a fin de mantener concentraciones de oxígeno óptimas, seguido de un separador de biomasa que convertirá la materia orgánica suspendida soluble en insoluble, obteniendo un agua clarificada (Carrasco & Menéndez, 2010).

Existen dos fases importantes dentro de este proceso biológico que son la eliminación de nitrógeno y fósforo. La primera consiste en la nitrificación la cual convierte el amonio presente en el agua a nitrato en condiciones aerobias y en la desnitrificación, la cual transforma dichos nitratos a nitrógeno gas en condiciones

anóxicas (Henry & Heinke, 2004). La segunda fase utiliza organismos acumuladores de fósforo (Carrasco & Menéndez, 2010), los cuales almacenan el fósforo para posteriormente ser eliminados como lodos (Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua de Sevilla, 2016).

Como consecuencia de las reacciones de síntesis, las bacterias tienden a unirse (floculación), formando agregados de mayor densidad llamados lodos, los cuales adsorben la materia en forma coloidal. La separación de los lodos se realiza por acción de la gravedad, en donde se conduce el contenido de los reactores biológicos a una etapa de sedimentación (decantación o clarificación secundaria) (Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua de Sevilla, 2016)

### **2.1.2.3 Tratamientos terciarios**

Se emplea para eliminar el material residual de los efluentes producto del tratamiento biológico, además de otros contaminantes que persistieron en todo el proceso de depuración (Ramalho, 2009). Su trabajo es acondicionar el agua tratada para su posterior reutilización en campos como la agricultura, industria, recreativos, etc (Carrasco & Menéndez, 2010).

La Tabla 2.1 indica algunas alternativas de tratamiento en función de los contaminantes de las AR a remover.

## **2.1.3 TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO PARA PEQUEÑAS Y MEDIANAS POBLACIONES**

La experiencia obtenida por los países en desarrollo muestra que las PTAR cuyos tratamientos biológicos son del tipo mecánico aerobio resultan complejos, costosos y de operación compleja, por lo que su vida útil es corta (Libhaber & Jaramillo, 2012).

De acuerdo con Noyola et al. (2013), los sistemas aerobios necesitan de equipos mecánicos para su ejecución, además, la cantidad de lodos producidos es mayor, por lo que los gastos energéticos y de disposición final de lodos se traducen como

un aumento en los costos de producción. Por otro lado, explica que los procesos anaerobios generan menor cantidad de lodos y gas CH<sub>4</sub>, el cual puede ser utilizado como generador de energía, combustible, calor y electricidad. Sin embargo, la eficiencia en la remoción de contaminantes de AR es mayor en procesos aerobios (Noyola et al., 2013).

**TABLA 2.1. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AR UTILIZADOS EN FUNCIÓN DEL TIPO DE CONTAMINANTE A ELIMINAR.**

CONTAMINANTES	SISTEMA DE TRATAMIENTO
Sólidos en suspensión	Sedimentación. Desbaste. Filtración. Flotación. Adición de polímeros o reactivos químicos. Coagulación-sedimentación. Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno
Materia orgánica biodegradable	Fangos activados. Película fija: filtros percoladores. Película fija: discos biológicos. Variaciones del lagunaje. Filtración intermitente en arena. Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno. Sistemas físico-químicos
Patógenos	Cloración. Hipocloración. Ozonización. Radiación UV. Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno
Nitrógeno	Variaciones de sistemas de cultivo suspendido (nitrificación-Desnitrificación). Variaciones de sistemas de película fija (nitrificación-desnitrificación). Arrastre de amoníaco (stripping). Intercambio de iones. Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno
Fósforo	Adición de sales metálicas. Coagulación y sedimentación con sal. Eliminación biológica de fósforo. Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno
Materia orgánica refractaria	Absorción en carbón. Ozonización terciaria. Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno
Metales pesados	Precipitación química. Intercambio de iones
Sólidos inorgánicos disueltos	Intercambio de iones. Ósmosis inversa. Electrodiálisis

Fuente: Pérez, 2003.

En países en vías de desarrollo, es recomendable utilizar métodos de tratamiento simples y de bajo costo, fundamentados en tecnologías apropiadas y comprobadas, de tal manera que, sean fáciles de maniobrar y de cumplir con cualquier calidad de efluente requerida. Asimismo, existen tecnologías enfocadas especialmente para países situados en el trópico, debido a que los procesos biológicos funcionan mejor

a temperaturas altas pero que también presentan adaptabilidad al frío (Libhaber & Jaramillo, 2012).

Según Libhaber & Jaramillo (2012), las tecnologías óptimas de tratamiento de AR municipales basadas en procesos anaerobios, recomendadas para medianas poblaciones, entre 20 000 y 100 000 habitantes son las siguientes:

- Laguna anaerobia
- Reactores UASB
- Filtros anaerobios

Su fundamento técnico se explica a continuación:

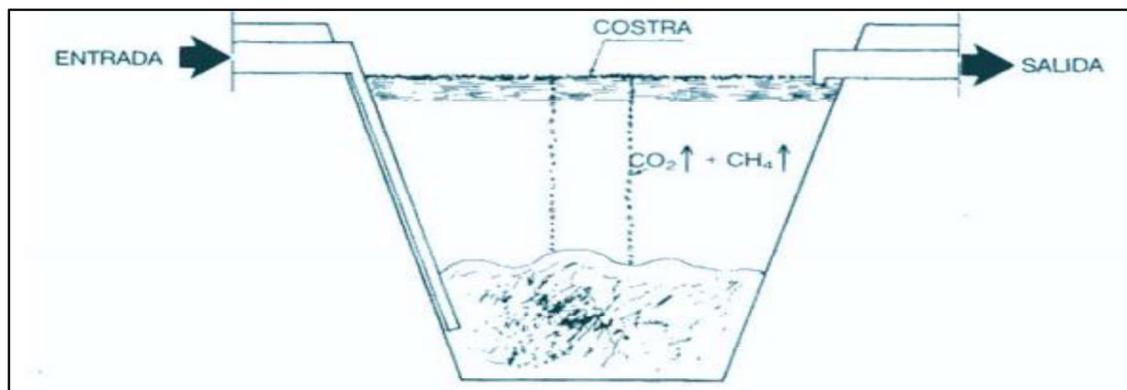
#### **2.1.3.1 Lagunas anaerobias**

Son infraestructuras de 3 a 5 metros de profundidad, que tienen como fin descomponer la materia orgánica a través de procesos simbióticos entre bacterias y algas (Noyola et al., 2013; Ramalho, 2009). Las bacterias inicialmente consumen la materia orgánica junto con el posible O<sub>2</sub> introducido por las AR, obteniendo como subproductos CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> (Noyola et al., 2013), favoreciendo el desarrollo de bacterias anaerobias (Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua de Sevilla, 2016). En la Figura 2.2, se puede observar un esquema básico del funcionamiento de una laguna anaerobia.

Están diseñadas para recibir una carga orgánica muy alta, entre 100 y 500 g DBO<sub>5</sub>/día/m<sup>3</sup>. El límite inferior se utiliza en zonas con una estación de frío profundo de hasta 10 °C, mientras que el límite superior se usa en zonas con temperaturas cálidas anuales entre 25 y 30 °C (Libhaber & Jaramillo, 2012).

Se consideran reactores anaerobios de baja velocidad, debido a que su tiempo de retención oscila entre 2 y 6 días (Noyola et al., 2013). La disposición final de lodos suele realizarse tras un tiempo de operación entre 5 y 10 años, los cuales solo necesitan de la fase de secado (Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua de Sevilla, 2016).

**FIGURA 2.2. ESQUEMA DE OPERACIÓN DE UNA LAGUNA ANAEROBIA.**



Fuente: (Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua de Sevilla, 2016)

Esta tecnología elimina entre el 40 al 70% de la materia orgánica contenida en las AR municipales. Por ejemplo, para AR con  $\text{DBO}_5$  entre 200 y 300 mg/L, el efluente de lagunas anaerobias generalmente contendrá entre 60 y 180 mg/L  $\text{DBO}_5$  (Libhaber & Jaramillo, 2012).

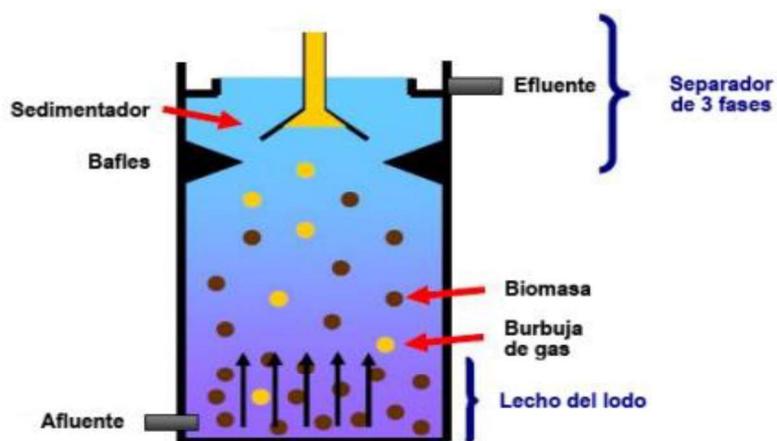
### 2.1.3.2 Reactores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)

El reactor anaerobio de flujo ascendente es un tanque con una sección transversal rectangular (Ramalho, 2009), en el cual se distinguen tres secciones que son: la zona inferior o lecho de lodo por donde se introducen las AR permitiendo la interacción entre el sustrato y el agua residual, la zona intermedia o de expansión de lodo, y por último la zona superior en donde se encuentra el sistema de captación de biogás que favorece la sedimentación de gránulos o flóculos anaerobios (Libhaber & Jaramillo, 2012; Noyola et al., 2013). La Figura 2.3 presenta la estructura básica de un reactor UASB.

El lodo ocupa un tercio del volumen del reactor (Noyola et al., 2013) y está compuesto por microorganismos que forman granulos entre 0.5 y 2 mm de diámetro, los cuales presentan alta velocidad de sedimentación por lo que resisten a altas cargas hidráulicas (Ramalho, 2009).

Por otra parte, su adaptación a la variación de caudales lo hace apto para el tratamiento de aguas residuales domésticas, obteniendo eficiencias de remoción del orden de 60 a 70% en DQO y del 70 al 80% en DBO (Noyola et al., 2013). Sin embargo, éstos están limitados por la concentración de los lodos en el reactor; las concentraciones más altas de lodo habrían resultado en una mayor eliminación de materia orgánica, pero también habrían resultado en un mayor escape de lodo en el efluente (Libhaber & Jaramillo, 2012).

**FIGURA 2.3. REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (UASB).**



Fuente: (Libhaber & Jaramillo, 2012)

### 2.1.3.3 Filtros anaerobios

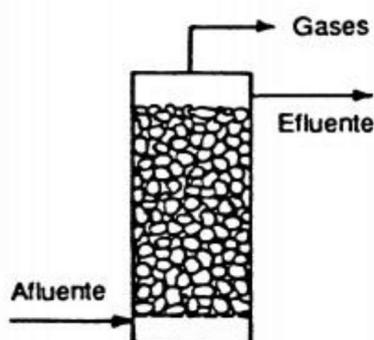
Conocidos también como filtros sumergidos, son sistemas que llevan a cabo el tratamiento anaerobio a través del desarrollo de biomasa por adherencia a un material de relleno en un reactor, en el cual el flujo puede ser ascendente o descendente (Ramalho, 2009). La Figura 2.4 muestra un esquema básico de este sistema de tratamiento.

El material de empaque puede estar hecho de plásticos, cerámicas o piedras de diámetro entre 3 y 5 cm (Noyola et al., 2013), sobre los cuales los microorganismos se desarrollan (Menéndez & Pérez, 2007). Debido a la alta concentración de microorganismos, los tiempos de retención alcanzan valores entre 3 y 6 horas

(Menéndez & Pérez, 2007), esto lo hace ideal para caudales fluctuantes durante el día.

La eficiencia de remoción de DQO para aguas residuales de tipo doméstico está alrededor del 65% mientras que para DBO, cuando el filtro anaeróbico es la unidad de tratamiento principal, es de 70-80%, y cuando se usa como unidades de pulido alcanza hasta el 95% (Libhaber & Jaramillo, 2012).

#### **FIGURA 2.4. ESQUEMA DE UN FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE.**



Fuente: (Ramalho, 2009)

### **2.1.4 PARÁMETROS PARA CARACTERIZAR AGUAS RESIDUALES**

La caracterización de aguas residuales consiste en el análisis de parámetros físicos, químicos y biológicos, los cuales determinarán la calidad y grado de contaminación de las aguas residuales domésticas (Metcalf & Eddy, 2013).

#### **2.1.4.1 Parámetros físicos**

De acuerdo con Metcalf & Eddy (2013), los parámetros físicos más relevantes para el análisis de aguas residuales son sólidos totales, sólidos sedimentables y sólidos disueltos.

##### **2.1.4.1.1 Sólidos totales**

De acuerdo con Menéndez & Pérez (2007), cuando se habla de sólidos contenidos en AR, se hace referencia a aquello que permanece como residuo después de la

evaporación y secado de la muestra a 103°C. Adicionalmente, este parámetro permite conocer si las AR requieren de algún tipo de pretratamiento o tratamiento primario en particular. La fracción orgánica de los sólidos se determina mediante la pérdida por combustión a 600°C (Menéndez & Pérez, 2007).

En cambio, los sólidos sedimentables indican la cantidad de material que sedimenta de una muestra durante un determinado tiempo y representan una aproximación de lodo que se obtendrá en la fase de sedimentación del agua residual (Metcalf & Eddy, 2013).

#### **2.1.4.2 Parámetros químicos**

Según Metcalf y Eddy (2013), las características químicas de importancia en el análisis de AR son: contenido de materia orgánica e inorgánica. Los parámetros como aceites y grasas y tensoactivos (detergentes), ya fueron explicados anteriormente.

##### **2.1.4.2.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

Sirve como medida de contaminación orgánica, representa la cantidad de oxígeno necesaria para degradar biológicamente la materia orgánica de un cuerpo de agua, y transformarla en gas carbónico y nuevo material celular (Metcalf y Eddy, 2013). Es importante en la selección de procesos biológicos, ya que incide en su rendimiento (Henry & Heinke, 2004).

##### **2.1.4.2.2 Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Mide indirectamente la contaminación por material orgánico e inorgánico, a través de la cantidad de oxígeno necesario para su degradación química (Metcalf y Eddy, 2013).

##### **2.1.4.2.3 Potencial hidrógeno (pH)**

La escala de pH mide el grado de acidez de un fluido, a través de la concentración de iones  $H^+$ , aquellos que poseen concentraciones bajas se llaman básicos y sus

contrarios ácidos se mide de acuerdo con una escala de valores que van del 0 (valor más ácido) al 14 (valor más básico) (Environmental Protection Agency, 2018).

Metcalf y Eddy (2013) presentan algunos valores promedios y típicos de los parámetros de las ARD, los cuales se muestran en la Tabla 2.2.

**TABLA 2.2. PARÁMETROS DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS.**

<b>Componente</b>	<b>Unidades</b>	<b>Intervalo</b>	<b>Valor Típico</b>
<i>Sólidos totales</i>	mg ST/L	350-1200	720
<i>Sólidos en suspensión</i>	mg SS/L	100-350	220
<i>Sólidos sedimentables</i>	mL/L	5-20	10
<i>Sólidos disueltos</i>	mg SD/L	250-850	500
<i>DBO<sub>5</sub></i>	mg/L	110-400	220
<i>DQO</i>	mg/L	250-1000	500
<i>Nitrógeno total</i>	mg/L	20-85	40
<i>Fósforo total</i>	mg/L	4-15	8
<i>pH</i>	-	6,5-7,5	7,2
<i>Aceites y grasas</i>	mg/L	50-150	100

ST: sólidos totales; SS: sólidos en suspensión; SD: sólidos disueltos; DBO: demanda bioquímica de oxígeno, DQO: demanda química de oxígeno; pH: potencial hidrógeno.

Fuente: Metcalf y Eddy, 2013.

#### **2.1.4.3 Parámetros microbiológicos**

Los coliformes son bacterias que se encuentran en la flora y fauna, componentes bióticos, abióticos y en el ser humano, principalmente abundan en la superficie del agua o en la materia sedimentable del agua. Indican el grado de contaminación fecal en un cuerpo de agua. Se clasifican en dos grupos: coliformes totales y coliformes fecales (Carrillo y Lozano, 2008).

##### **2.1.4.3.1 Coliformes totales**

Este parámetro no suele utilizarse como indicador de contaminación, sin embargo, en aguas tratadas para consumo se restringe su presencia (Carrillo y Lozano,

2008). Algunos géneros de coliformes surgen por la descomposición de vegetales en el agua. Aquellos que conforman este grupo son: *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Serratia*, *Edwardsiella* y *Citrobacter* (Carrillo y Lozano, 2008).

#### 2.1.4.3.2 Coliformes fecales

Representan un subgrupo de los coliformes totales, tienen la capacidad de soportar altas temperaturas y se encuentran en la flora intestinal de los seres vivos. Cerca del 95% de coliformes presentes en las heces fecales son *Escherichia coli* y *Klebsiella* (Carrillo y Lozano, 2008).

## 2.2 MARCO LEGAL

La normativa que rige en la calidad del agua es el Anexo 1 del Libro VI del Texto Único de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (MAE, 2015), cuyos límites de descarga a un cuerpo de agua dulce son los descritos en la Tabla 2.3.

**TABLA 2.3. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE, 2015.**

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
<i>Aceites y grasas</i>	Sustancias solubles en hexano	mg/l	30
<i>Coliformes fecales</i>	NMP	NMP/100ml	2000
<i>Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días)</i>	DBO <sub>5</sub>	mg/l	100
<i>Demanda Química de Oxígeno</i>	DQO	mg/l	200
<i>Nitrógeno Total Kjeldhal</i>	N	mg/l	50
<i>Fósforo Total</i>	P	mg/l	10
<i>Potencial Hidrógeno</i>	pH		5-9

**TABLA 2.3. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE, 2015.  
(CONTINUACIÓN)**

<i>Sólidos suspendidos Totales</i>	SST	mg/l	130
<i>Sólidos Totales</i>	ST	mg/l	1600
<i>Temperatura</i>	°C		Condición natural +/- 3
<i>Tensoactivos</i>	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5

Fuente: Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, 2015.

## 2.3 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

### 2.3.1 UBICACIÓN

La provincia Bolívar está ubicada en la zona Interandina o Sierra del Ecuador, se encuentra delimitada por las provincias de Cotopaxi al Norte, Guayas al Sur, Los Ríos al Oeste, y Chimborazo y Tungurahua al Este (Universidad Estatal de Bolívar, 2013), y de acuerdo con el ordenamiento territorial realizado por la SENPLADES (2015), Bolívar pertenece a la zona 5 junto con las provincias de Guayas, Los Ríos y Santa Elena para cumplir los objetivos y estrategias del país.

Los cantones que forman la provincia Bolívar son siete: Las Naves, Echeandía, Caluma, Chimbo, San Miguel, Chillanes y Guaranda. Por su parte el cantón Guaranda está formado por las siguientes parroquias: Facundo Vela, Salinas, San Luis de Pambil, Julio Moreno, San Simón, San Lorenzo, Santa Fé, Simiatug y Guaranda; dichas divisiones se observan en mayor detalle en la Figura 2.5 (Universidad Estatal de Bolívar, 2013).

El cantón Guaranda presenta límites con: Cotopaxi al Norte, Chimbo y San Miguel al Sur, Chimborazo y Tungurahua al Este, y los cantones Las Naves, Caluma y

Echeandía al Oeste; como se muestra en la Figura 2.5 (Universidad Estatal de Bolívar, 2013).

**FIGURA 2.5. DIVISIÓN POLÍTICA DEL CANTÓN GUARANDA, 2013.**



Fuente: Universidad Estatal de Bolívar, 2013.

La ciudad de Guaranda, capital de la provincia Bolívar y cabecera del cantón del mismo nombre, se localiza en la hoya de Chimbo a 2.668 msnm (Municipio de Guaranda, 2018).

La Figura 2.6 muestra las parroquias urbanas Ángel Polibio Chávez y Gabriel Ignacio Veintimilla de la ciudad de Guaranda para las cuales se diseñará la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR. Estas parroquias comprenden los barrios del Indio Guaranga, Los Tanques, Loma de Guaranda, Bella vista, Juan XXIII, Centro de Guaranda, Guanguliquin, El Terminal, 5 de Junio, 9 de Octubre, Parque Montufar, Las Colinas, Marcopamba y La Merced, parte de Joyocoto, parte



como erosión y deforestación repercuten en la cuenca baja, ocasionando inundaciones en períodos lluviosos.

**FIGURA 2.7. RED HIDROGRÁFICA DEL CANTÓN GUARANDA, 2013.**



Fuente: Universidad Estatal de Bolívar, 2013

De acuerdo con el Estudio de Impacto Ambiental, realizado por CORPCONSUL (2007), en la ciudad las precipitaciones medias mensuales más altas se producen en el mes de marzo con 234 mm, mientras que las mínimas ocurren en el mes de julio con 10,5 mm; durante este mes la precipitación puede alcanzar valores de precipitación iguales a cero; obteniendo así una precipitación media anual de 1750 mm (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Guaranda, 2015).

#### **2.3.4 USO DE SUELO**

El uso de suelo en la ciudad está dado por bosque y vegetación, mientras que los cultivos y pasto no son muy representativos de la ciudad, ya que más bien ésta se

encuentra saturada de asentamientos humanos debido al crecimiento poblacional, por lo que la ganadería y la agricultura no son actividades características de la zona, sin embargo, este panorama es contrario en las parroquias rurales del cantón (Universidad Estatal de Bolívar, 2013).

### **2.3.5 EDUCACIÓN**

Según el GAD del cantón (2015), en la ciudad la tasa neta de asistencia en educación básica es de casi el 93%, en bachillerato es cercano al 34% y en educación superior es del 21%. De igual manera, muestra que la tasa de analfabetismo en la ciudad es del 18% y la deserción escolar es del 8%.

### **2.3.6 ECONOMÍA**

La posición geográfica del cantón Guaranda presenta un rol estratégico al ser la conexión entre la Costa y la Sierra, cuya economía se basa en la agricultura y ganadería destinando el 60% del suelo a este sector (Universidad Estatal de Bolívar, 2013). Además, posee un valor ecológico-funcional debido a la presencia de los ecosistemas páramo, bosques naturales, protectores los cuales representan 38,1% del uso de suelo.

La ciudad de Guaranda tiene un papel político, administrativo, comercial y financiero en donde predomina el empleo en el sector público en escuelas, colegios, universidad, hospitales, ministerios, entre otras entidades; empleos en el sector privado como en bancos, clínicas, laboratorios, agencias, etc, microempresas artesanales como la elaboración de licor, mermeladas y quesos, y actividades turísticas (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Guaranda, 2015).

Así mismo, la ciudad cuenta con dos hospitales, 3 clínicas, 4 escuelas, 5 colegios, una universidad; la Estatal de Bolívar, dos mercados, una terminal terrestre, 3 bancos; del Pichincha, Guayaquil y Fomento, una sede de la Policía Nacional, un centro de Cruz Roja, un Cuerpo de Bomberos, cuatro parques, un complejo deportivo, un centro de rehabilitación social y un cementerio.

### 2.3.7 DATOS DE LA CIUDAD

Guaranda fue fundada el 23 de abril de 1571, posee una superficie de 9,5 km<sup>2</sup> y de acuerdo al INEC (2010), su población es de 23 874 habitantes, de los cuales el 54% son mujeres y 46% son hombres. Es conocida como la “Ciudad de las Siete Colinas” porque está comprendida entre los cerros de: San Jacinto, Loma de Guaranda, San Bartolo, Cruz Loma, Tililag, Talalag y el Mirador (Municipio de Guaranda, 2018).

Para calcular la población guarandefia actual se utilizó el método geométrico, que es recomendado para proyectar poblaciones mayores a 10000 habitantes, que asume un crecimiento poblacional proporcional al tamaño de ésta (Julio Pérez, 2010).

$$Pd = Pa(1 + r)^t \quad (1)$$

Donde:

*Pd*: población de diseño

*Pa*: población conocida

*r*: tasa de crecimiento anual en la ciudad de Guaranda es de 1,57% (INEC, 2010).

*t*: periodo de diseño

Entonces para el año 2018 se tiene que la población es de:

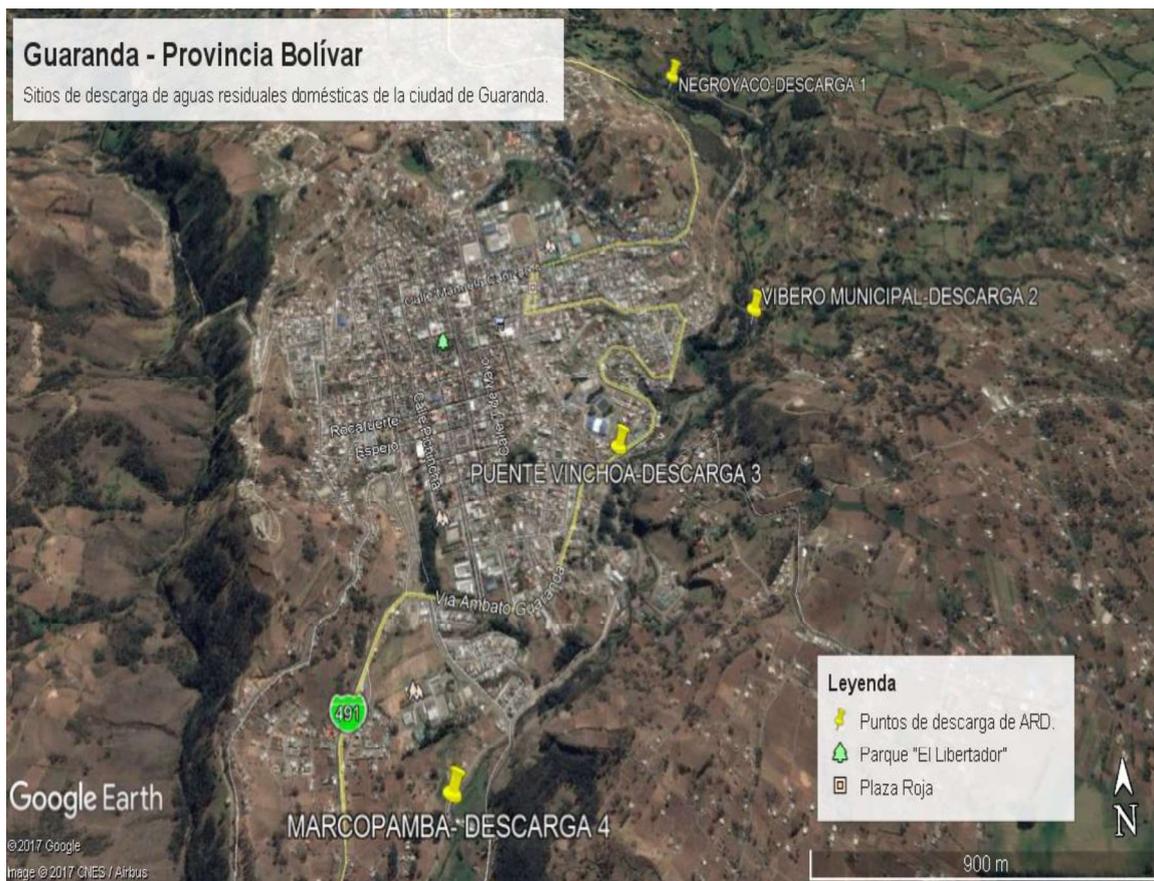
$$Pd = 23\,874 (1 + 0,00157)^9 = 24\,273 \text{ habitantes}$$

De acuerdo con la EMAPAG (2014), el sistema de captación y distribución de agua de la ciudad se encuentra abastecido por vertientes del Arenal, localizado en las faldas del volcán Chimborazo. La empresa indica, además, que el agua captada es conducida hasta la planta de tratamiento de Chaquisca, para pasar por procesos de aireación, sedimentación y desinfección. Su red de distribución cubre el 90% del área total de la ciudad.

El Estudio de Impacto Ambiental realizado por CORPCONSUL (2007) revela que el sistema de alcantarillado combinado cubre un 80% del área consolidada ya que el 20% corresponde a nuevos asentamientos en áreas periurbanas de la ciudad. El sistema está dividido en cuatro sectores, siendo el mayor la parte central de

Guaranda. La Figura 2.8 muestra los cuatro puntos de descarga de efluentes domésticos de la ciudad, los cuales han sido identificados con los nombres de Marcopamba, Puente Vinchoa, Vivero Municipal y Negroyaco.

**FIGURA 2.8. PUNTOS DE DESCARGA DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE GUARANDA.**



Fuente: Google Earth, 2017.

El sistema de gestión de los residuos sólidos municipales de la ciudad tiene una cobertura del 91%, el cual tiene como actividades: el barrido de las calles, la recolección a pie de vereda y la disposición final de los residuos en el relleno sanitario Curgua (CORPCONSUL, 2007).

El barrido se realiza de forma manual, a través del empleo de 15 jornaleros, quienes utilizan carretillas, palas y escobas, para mantener la estética de la ciudad durante

el día (CORPCONSUL, 2007). La recolección a pie de vereda se realiza con la ayuda de 25 trabajadores que son distribuidos en 7 vehículos de recolección de carga posterior, 5 de 23 m<sup>3</sup> de y dos de 12 m<sup>3</sup>. El horario de trabajo en las rutas periféricas se realiza de lunes a viernes de 6H00 a 10:00 de la mañana y en la zona céntrica de 18:00 a 22:00 (CORPCONSUL, 2007).

## **CAPÍTULO III.**

### **METODOLOGÍA**

Del análisis de la información técnica secundaria tal como el Estudio de Impacto Ambiental del Alcantarillado de la ciudad, Plan de Ordenamiento Territorial, Plan Maestro, y Perfil Territorial, se concluyó que la ciudad dispone de 4 descargas de ARD que desembocan en el río de la ciudad y se ubican de manera secuencial en los sectores de Negroyaco, Vivero Municipal, Puente Vinchoa y Marcopamba, como se muestra en el numeral 2.3.7.

Posteriormente, se planificó una visita técnica a los sitios de descarga; a fin de conocer su morfología, accesibilidad, materiales y equipamiento necesarios, para el aforo de los caudales de descarga y recolección de muestras representativas de las ARD para su respectiva caracterización física, química y microbiológica.

Durante la visita preliminar a cada uno de los sitios de descarga, se realizó el levantamiento de coordenadas geográficas de cada descarga, con la ayuda de un GPS Garmin GPSMAP 64s-2017, que basado en el sistema de coordenadas UTM y WGS84 proporcionó los datos que se presentan en la Tabla 3.1. Además, se constató que la descarga de mayor altitud es la de Puente Vinchoa, seguida por Vivero Municipal. Las ARD son arrastradas por gravedad siguiendo el cauce natural del río.

**TABLA 3.1. COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE LOS PUNTOS DE DESCARGA DE ARD, 2018.**

<b>Lugar</b>	<b>Coordenadas en X</b>	<b>Coordenadas en Y</b>	<b>Altura m.s.n.m</b>
Negroyaco	723261	9825093	2573
Vivero municipal	723452	9823987	2580
Puente Vinchoa	722917	9823520	2592
Marcopamba	722393	9822599	2559

La Figura 3.1 muestra los sitios de descarga de la ciudad de Guaranda, los cuales se localizan en quebradas cercanas a la vía Panamericana, que terminan en el río Guaranda. Así mismo, todas presentan vegetación arbustiva en sus alrededores, lo cual es un foco de contaminación para la propagación de vectores.

**FIGURA 3.1. DESCARGAS DE ARD DE LA CIUDAD DE GUARANDA, 2018.**



La descarga de Marcopamba, Puente Vinchoa y Vivero Municipal son de tipo baúl, mientras que la de Negroyaco tiene confluencia con un riachuelo subterráneo previo a su descarga en el río.

El origen del riachuelo es desconocido y no existe información precisa en el municipio de la ciudad y en la EMAPAG, además para estudios relacionados se toma como punto de descarga el sitio de unión con el río de la ciudad. La zona circundante a la descarga presenta planicies con vegetación, aprovechada por el

ganado de los pobladores cercanos a la zona, además de piedras, rocas y árboles, y para llegar a dicha descarga se recorrió una distancia cercana a 1 km.

La descarga de Marcopamba fue la más fácil de acceder, ya que se encuentra a pocos metros de distancia de la vía y conduce directamente al río, mientras que, las otras tres presentaron pendientes, vegetación, piedras, basura y erosión del suelo; siendo las de Negroyaco y Vivero Municipal las más difíciles de acceder, debido a su lejanía de la carretera.

Debido a la presencia de nutrientes en las ARD, en la descarga de Puente Vinchoa se encontró cayotes o zambos, cuyas plantas se extienden entorno a la zona de descarga, además la estructura civil de la descarga está compuesta por un muro de ala que evita la erosión en el talud izquierdo de la quebrada, el cual conduce las ARD al cuerpo receptor, la distancia entre la estructura y el río es casi de 10 m.

Para acceder a la descarga Vivero Municipal, primero se debe acceder al vivero, el cual se localiza a 1,5 km desde la carretera Panamericana, cuyo trayecto en su mayoría es descenso. La descarga se localiza detrás del vivero a unos 20 m de la caseta del guardia a 8 m a lo largo de la orilla del río. La descarga vierte directamente en el río y está ubicada a una altura de 2 m, lo cual provoca un efecto de cascada previo a su descarga.

### **3.1 MEDICIÓN DE LOS CAUDALES DE DESCARGA**

Debido a que la red de alcantarillado de la ciudad de Guaranda es de tipo combinada, es decir que las AR están compuestas por aguas servidas domésticas y pluviales (Metcalf & Eddy, 2013), el aforo de los caudales y los muestreos (dos muestreos) de las aguas residuales domésticas se realizó en época de estiaje y en días laborables.

#### **3.1.1 MÉTODO DE AFORO**

Debido a la distancia entre cada descarga y la difícil accesibilidad a cada sitio, el aforo de cada descarga se realizó en varios días.

De acuerdo con González & Ramírez (2014) y el FONAG (2006), y en función de que las descargas, eran en su mayoría de tipo baúl, se empleó el método volumétrico para determinar el caudal, debido a su sencillez, fácil maniobra, y economía de materiales, para el cual se utilizó un recipiente de 20 L de capacidad y un cronómetro para la estimación del tiempo de llenado.

Para el aforo, se eligió un punto en cada descarga, aquel que presente un flujo laminar y de fácil acceso (FONAG, 2006). El cronómetro se inició en el instante en que el recipiente se introdujo a la corriente y se detuvo en el momento de llenado (González & Ramírez, 2014). Las mediciones se hicieron por quintuplicado, además estas fueron tomadas a partir de las 07:00 hasta las 19:00, con intervalos de 03:00 entre ellas y en horario diurno, por ser el más representativo.

El caudal (L/s) se calculó dividiendo el volumen del recipiente para el tiempo de llenado del mismo, así para el primer dato:

$$\text{Caudal (L/s)} = \text{volumen del recipiente} / \text{tiempo de llenado} \quad (2)$$

Ejemplo de cálculo:                      20 litros / 2.16 s= 9.26 L/s

La Tabla 3.2 muestran los caudales horarios calculados para la descarga de ARD de Marcopamba. Similar metodología de aforo de caudales se efectuó para los otros tres puntos de descarga, los datos registrados de los caudales calculados se presentan en el Anexo N°1.

## **3.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE LAS DESCARGAS**

### **3.2.1 MUESTREO DE LAS DESCARGAS**

De acuerdo al Servicio Nacional para la Sostenibilidad de Servicios en Saneamiento Básico (2015), la muestra compuesta es apta para indicar las variaciones de contaminación en el agua, por consiguiente se optó por realizar el muestreo

compuesto. La toma de muestras de las descargas se enmarcó en la norma técnica ecuatoriana INEN 2169 (2013), que establece los cuidados y precauciones para prevenir contaminación cruzada durante el proceso.

El muestreo compuesto y aforo de los caudales de cada descarga se realizaron en semanas diferentes, pero el mismo día, con el fin de asegurar condiciones similares. Inició a las 07:00 y concluyó a las 19:00, con intervalos de 3:00, esto es 07:00, 10:00, 13:00, 16:00, y 19:00, con un total de 5 alícuotas para cada una de las descargas. Para los análisis en laboratorio se tomó un volumen de muestra compuesta de 2,5 litros.

**TABLA 3.2. CAUDALES HORARIOS DE LA DESCARGA DE ARD DE MARCOPAMBA, 2018.**

HORA	TIEMPO [s]	CAUDAL [L/s]	HORA	TIEMPO [s]	CAUDAL [L/s]
7h00	2.16	9.26	16h00	2.59	9.39
	2.26	8.85		2.68	8.91
	2.34	8.55		2.61	9.29
	1.92	10.42		2.67	8.86
	2.1	9.52		2.62	9.16
10h00	2.67	7.46	19h00	2.19	9.14
	2.7	7.14		2.11	9.47
	2.63	7.69		2.19	9.14
	2.73	7.52		2.08	9.64
	2.54	7.81		2.13	9.41
13h00	2.5	8.00			
	2.6	7.69			
	2.68	7.46			
	2.44	8.20			
	2.64	7.58			

Como el aforo fue realizado en días iguales, el caudal horario y el caudal medio diario son aceptables para el cálculo del volumen de cada alícuota con la siguiente fórmula:

$$V_i = \frac{V \cdot Q_i}{n \cdot Q_p} \quad (3)$$

Donde:

$V_i$  = volumen de cada alícuota en el tiempo  $t_i$ .

$V$  = Volumen total de la muestra; (L).

$Q_i$  = caudal en el tiempo  $i$ ; (L/s).

$Q_p$  = caudal promedio total; (L/s).

$n$  = número total de alícuotas tomadas.

Ejemplo de cálculo: para la primera alícuota de la descarga de Marcopamba tomada a las 7h00, se utilizó el caudal horario correspondiente que fue de 9,32 L/s y su caudal medio diario que fue de 8,54 L/s, entonces se tiene que:

$$V_i = \frac{2,5 L \times 9,32 L/s}{5 \times 8,54 L/s} = 0,545 L = 545 mL$$

La Tabla 3.3 muestra el volumen total de cada alícuota calculado a partir de la ecuación (3), utilizando el caudal horario respectivo y el caudal medio diario de la descarga de Marcopamba.

Para la toma de cada alícuota se homogenizó tres veces el envase con el agua a muestrear como lo indica la Figura 3.2. Luego de completar las 5 alícuotas, se procedió a medir los volúmenes exactos calculados utilizando una probeta, dichos volúmenes fueron colocados en un recipiente de mayor volumen para ser homogenizadas y formar la muestra compuesta de 2,5 litros, como lo muestra la Figura 3.3. Este procedimiento se repitió para cada sitio de descarga.

**TABLA 3.3. VOLUMEN DE LAS ALÍCUOTAS DE LA DESCARGA DE MARCOPAMBA.**

Hora	Caudal horario (L/s)	Volumen de las alícuotas (mL)
7h00	9.32	545
10h00	7.54	442
13h00	7.79	456
16h00	9.12	534
19h00	9.36	548
<b>Caudal medio diario</b>	8.54	

**FIGURA 3.2. TOMA DE ALÍCUOTA DURANTE EL MUESTREO COMPUESTO.**



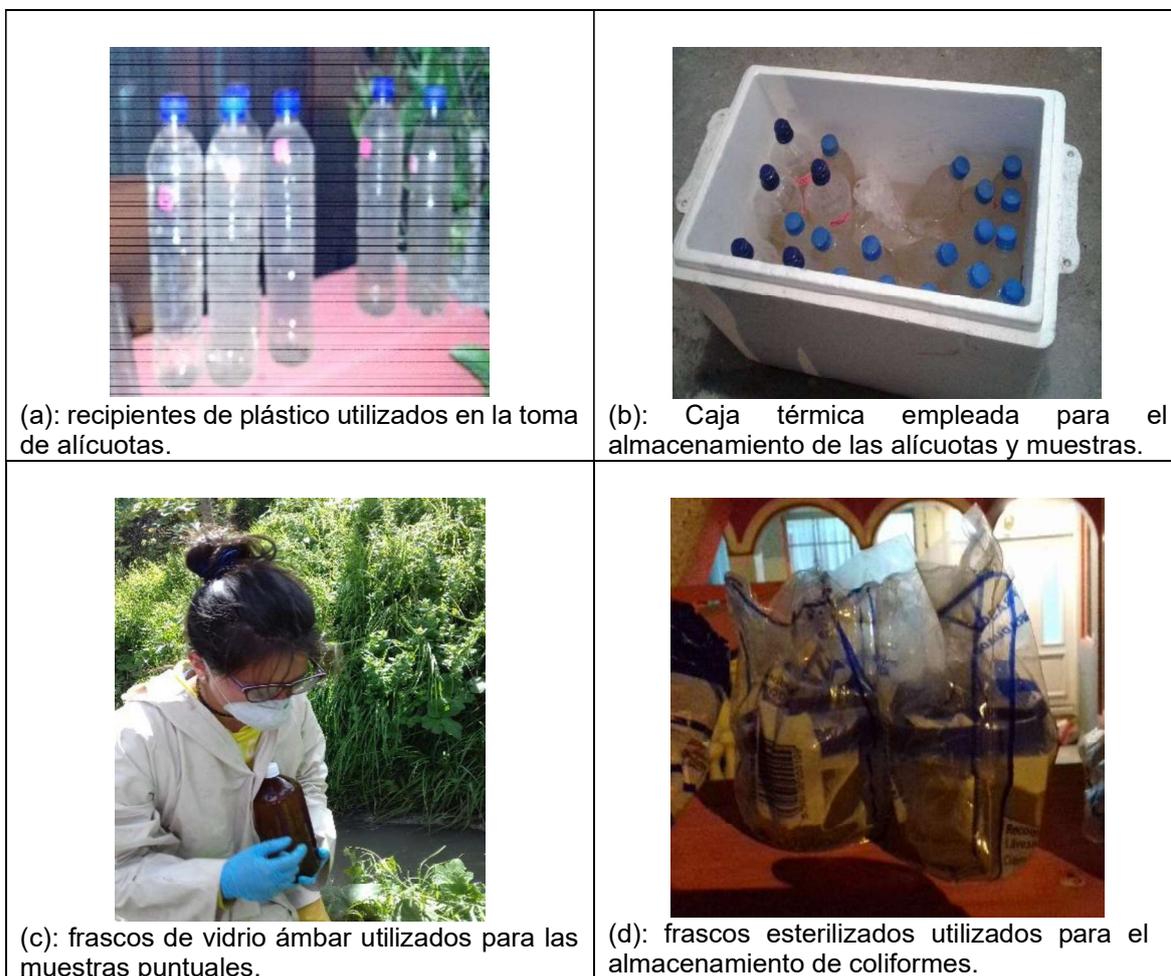
**FIGURA 3.3. MUESTRA COMPUESTA.**



Los recipientes de las muestras compuestas fueron homogenizados y aforados, a fin de impedir la presencia de aire, agitación durante el transporte y la interacción entre la fase líquida y gaseosa. Se procuró sellarlos correctamente, a fin de evitar contaminación cruzada o pérdida.

Sumado al muestreo compuesto, se realizaron dos muestreos puntuales en cada descarga utilizando envases de vidrio ámbar de 1 litro de capacidad y envases de plástico esterilizados, para los análisis de aceites y grasas y coliformes respectivamente, como lo muestra la Figura 3.4. (c) y (d). Así mismo, indica los recipientes de plástico utilizados para la toma de alícuotas y la caja térmica empleada para el transporte y preservación de las muestras.

**FIGURA 3.4. ENVASES UTILIZADOS DURANTE EL MUESTREO COMPUESTO DE LAS DESCARGAS DE ARD.**



Cada recipiente fue rotulado, especificando el código y datos pertinentes como nombre del sitio de muestreo, tipo de muestra, fecha y persona del muestreo. Posteriormente, fueron almacenadas dentro de una caja térmica a 4 °C con hielo y sal para luego ser transportadas al laboratorio.

### 3.2.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Los parámetros de temperatura y turbiedad se realizaron *in situ*, mientras que los parámetros de conductividad, sólidos totales, sólidos disueltos totales y sólidos sedimentables se realizaron en laboratorio.

La temperatura se midió en cada alícuota tomada mientras que los demás parámetros fueron medidos en las muestras compuestas de cada una de las descargas de ARD.

### 3.2.2.1 Temperatura

Para medir la temperatura de las alícuotas se utilizó un termómetro digital con precisión de 0,1°C.

#### Procedimiento

1. Se insertó el termómetro digital en el envase que contenía la alícuota, exactamente después de haber sido tomada. La Figura 3.5 muestra la toma de datos de temperatura.
2. Similar procedimiento se realizó en los cuatro puntos de descarga.

**FIGURA 3.5. MEDICIÓN DE TEMPERATURA DURANTE EL MUESTREO DE LAS ARD, 2018.**



### 3.2.2.2 Turbiedad

Para registrar la turbiedad de las ARD en cada punto de descarga se utilizó un turbidímetro HACH y sus respectivas celdas de medición. El procedimiento se realizó conforme al manual del equipo.

#### Procedimiento

1. Encerar el equipo con la solución patrón.
2. Colocar la muestra en otra celda y presionar el botón medir.

3. Realizar la medición con las demás muestras. Lavar las celdas con agua destilada después de cada lectura.

La Figura 3.6 muestra el turbidímetro utilizado en campo para medir la turbiedad de las muestras compuestas de ARD de las 4 descargas.

**FIGURA 3.6. NEFELÓMETRO PARA MEDIR LA TURBIEDAD DE LAS ARD.**



### 3.2.2.3 Conductividad

Para registrar las medidas de conductividad se utilizó un conductímetro HACH Company (2004) con resultados en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

#### Procedimiento

1. Calibrar el equipo con la solución patrón.
2. Introducir el electrodo de medida en la muestra y registrar el dato mostrado en el conductímetro.
3. El electrodo deberá ser lavado con agua destilada antes de cada medición.

### 3.2.2.4 Sólidos totales (ST)

Se basó en el método gravimétrico 2540 B del APHA (2017), el cual estima el contenido de materiales disueltos y suspendidos, en una muestra utilizando la diferencia de peso que experimenta un crisol antes y después del ensayo. Se emplearon los siguientes materiales y equipos:

- Crisoles tarados
- Pinzas metálicas

- Estufa (0-120°C)
- Desecador
- Balanza analítica

### Procedimiento

1. Tarar los crisoles destinados al ensayo, para esto se los lavó y colocó en una estufa a 105°C por 6 horas, luego se trasladaron a la etapa de enfriamiento en un desecador por 2 horas y finalmente se los llevó a pesaje en una balanza analítica (+/- 0,1 mg) para tener el peso inicial del crisol tarado en gramos.
2. Utilizando una probeta medir 50 mL de muestra homogenizada y en el crisol tarado.
3. Con el uso de una pinza metálica ubicar el crisol dentro de la estufa a 105°C por 6 horas para favorecer la evaporación del agua.
4. Una vez transcurrido el tiempo retirar el crisol de la estufa y colocar en el desecador.
5. Registrar el nuevo peso del crisol con el residuo sólido.
6. Calcular los sólidos totales utilizando la ecuación 4.

Para el cálculo de los sólidos totales se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Sólidos totales (mg/L)} = \frac{(A-B) \cdot 1000}{V} \quad (4)$$

Donde:

A: peso del crisol + peso del residuo seco, en mg.

B: Peso del crisol vacío, mg.

V: volumen de la muestra, mL.

Como para la descarga de Marcopamba se tiene que el peso de A es de 43,9955 g, el peso de B es de 43,9681 g y el volumen de la muestra es de 20 mL, entonces según la ecuación 4 tenemos que:

$$\text{mg/L de sólidos totales} = \frac{(44,9482 - 44,9204)g \cdot 1000 \cdot 1000 \text{ mg}}{50 \text{ ml} \cdot 1 \text{ g}} = 556 \text{ mg/L}$$

La Tabla 3.4 muestra los datos registrados durante el ensayo de sólidos totales para las cuatro muestras compuestas de cada una de las descargas de ARD correspondientes al primer muestreo.

**TABLA 3.4. VALORES DE SÓLIDOS TOTALES REGISTRADOS DE LAS DESCARGAS DE ARD PARA EL PRIMER MUESTREO.**

Descarga	Crisol vacío g	Crisol + residuo seco g
Marcopamba	43,9955	43,9681
Puente de Vinchua	44,9482	44,9204
Vivero Municipal	42,5324	42,5096
Negroyaco	45,1626	45,1446

La Figura 3.7 muestra parte del equipamiento utilizado durante el ensayo de sólidos totales.

**FIGURA 3.7. ENSAYO DE SÓLIDOS TOTALES.**



### 3.2.2.5 Sólidos disueltos totales (SDT)

Se basa en el método 2540 C del APHA (2017). Los materiales y equipos utilizados fueron los siguientes:

- Filtro de fibra de vidrio
- Bomba
- Torre de filtración
- Pinza para filtros
- Crisoles para filtros

### Procedimiento

1. Tarar los crisoles y filtros de fibra de vidrio necesarios para realizar el ensayo.
2. Armar la torre de filtración con una membrana de filtración.
3. Filtrar al vacío un volumen de 50 mL de muestra.
4. Colocar 25 mL del filtrado y llevar a la estufa a 105°C por 6 horas.
5. Concluido el peso de la evaporación trasladar el crisol al desecador para su enfriamiento.
6. Pesar el crisol con los residuos sólidos en una balanza analítica (+/- 0,1 mg).
7. Calcular de SDT, utilizando la siguiente relación:

$$SDT, \frac{mg}{L} = \frac{\text{peso del crisol} + \text{residuo sólido} - \text{peso del crisol vacío}}{\text{vol de muestra mL}} \quad (5)$$

La Tabla 3.5 muestra los datos registrados del ensayo de sólidos disueltos totales para el primer muestreo.

**TABLA 3.5. SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES DE LAS DESCARGAS DE ARD PARA EL PRIMER MUESTREO.**

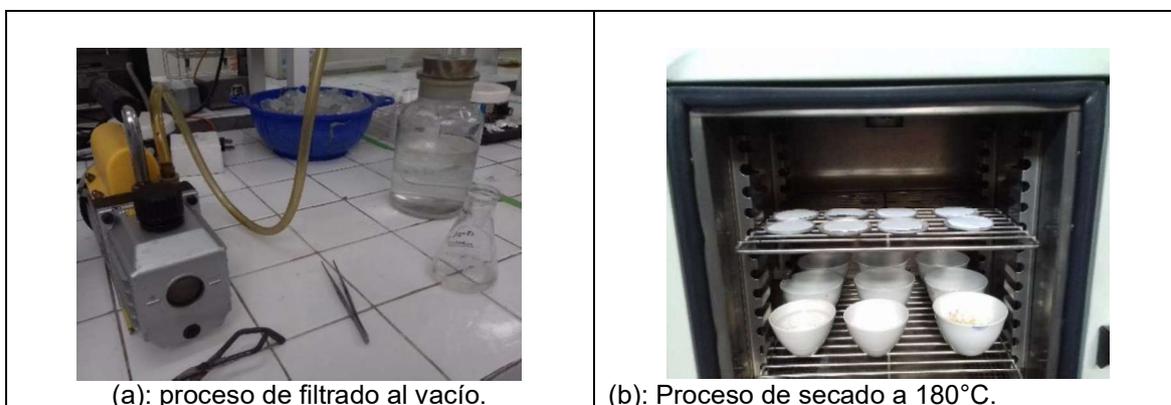
Descarga	Peso del crisol + residuo sólido g	Peso del crisol vacío g
Marcopamba	83,9648	83,9545
Puente de Vinchoa	84,6855	84,6750
Vivero Municipal	78,1471	78,1388
Negroyaco	82,9409	82,9332

Como ejemplo de cálculo para la muestra compuesta de la descarga Puente Vinchoa, se tiene:

$$SDT, \frac{mg}{L} = \frac{(84,6855 - 84,6750)g * 1000 * 1000mg}{25 ml * 1g} = 420 mg/L$$

La Figura 3.8 muestra parte de los materiales y equipos utilizados en el ensayo de sólidos disueltos totales.

**FIGURA 3.8. MATERIALES Y EQUIPOS PARA DETERMINAR LOS SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES.**



### 3.2.2.6 Sólidos suspendidos totales (SST)

La determinación de los SST se basó en el método 2540 D del APHA (2017). Los materiales y equipos utilizados son los siguientes:

- Filtro de fibra de vidrio
- Pinzas para membranas de filtración
- Porta filtro
- Estufa

#### Procedimiento

1. Utilizando una pinza para membrana retirar la membrana de filtración utilizada en el ensayo de los SDT y colocar en el porta-filtros previamente tarado.
2. Llevar el porta-filtros a la estufa a 105°C por 6 horas para facilitar la evaporación.

3. Retirar el porta-filtros con la membrana de la estufa y colocar en un desecador para facilitar en enfriamiento.
4. Registrar el nuevo peso del crisol utilizando una balanza analítica.
5. Con los nuevos datos registrados calcular los SST con la siguiente ecuación:

$$SST, \frac{mg}{L} = \frac{(\text{Peso del crisol} + \text{residuo seco} - \text{peso del crisol vacío}) * 1000 * 1000}{\text{Vol de la muestra}} \quad (6)$$

La Tabla 3.6 muestra los datos registrados en el ensayo sólidos suspendidos totales de las muestras compuestas de las 4 descargas para el primer muestreo. Como ejemplo de cálculo se tiene:

$$SST, mg/L = \frac{(4.0888 - 4,0829) * 1000 * 1000}{50 \text{ ml}} = 118$$

**TABLA 3.6. RESULTADOS DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES DE ARD PARA EL PRIMER MUESTREO.**

Descarga	Peso de A g	Peso de B g
Marcopamba	3,9496	3,9434
Puente de Vinchoa	4,1295	4,1231
Vivero Municipal	4,0888	4,0829
Negroyaco	3,9058	3,9020

### 3.2.2.7 Sólidos sedimentables

Se basó en el método 2540 F del APHA (2017). Para este ensayo se utilizaron conos Imhoff, y su procedimiento es el siguiente:

#### Procedimiento

1. Homogenizar la muestra y colocar en un cono Imhoff hasta completar los 1000mL.
2. Dejar sedimentar por 45 minutos.

3. Con la ayuda de una varilla de agitación remover suavemente el material sólido adherido a las paredes del cono.
4. Dejar sedimentar por 15 minutos adicionales.
5. Registrar la cantidad de materia sedimentada en mL/L.

La Figura 3.9 muestra el ensayo de sólidos sedimentables de las muestras compuestas de ARD de los cuatro puntos de descarga.

### FIGURA 3.9. ENSAYO DE SÓLIDOS SEDIMENTABLES.



### 3.2.3 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

El único parámetro químico medido *in situ* fue el pH, mientras que el resto fueron medidos en laboratorio. Los parámetros de aceites y grasas y coliformes fecales y totales fueron analizados a partir de las muestras puntuales tomadas, mientras que los parámetros de DBO, DQO y tensoactivos, se midieron a partir de las muestras compuestas.

#### 3.2.3.1 Potencial hidrógeno

Se basó en el método del indicador (Schafer, 2018) para el cual se utilizaron bandas indicadoras de pH.

#### Procedimiento

1. Insertar el extremo de la banda de pH en la sustancia a analizar.

2. Luego de algunos segundos retirar el papel y compararlo con la escala de color a fin de obtener el valor.
3. Para analizar otra sustancia, utilizar una tira nueva.

#### **3.2.3.2 Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Se basó en método 8000 del manual HACH (2000), el cual dicta que para muestras cuyo DQO se estima que está entre 0 y 1500 mg/L, se utilizan viales HACH de rango alto o HR+. Los materiales y equipos que se emplearon son los siguientes:

- Viales de DQO HACH
- Pipetas
- Espectrofotómetro HACH
- Digestor HACH
- Pipeta

#### **Procedimiento**

1. Homogeneizar la pipeta con la muestra compuesta.
2. Pipetear 2 mL de muestra homogeneizada y colocarla en el vial.
3. Cerrar y homogeneizar el vial.
4. Preparar de la misma manera el blanco utilizando agua destilada.
5. Luego, depositar el vial en el digestor a 500 °C por dos horas.
6. Seleccionar la longitud de onda de 620 nm en el espectrofotómetro.
7. Encerrar el equipo con el blanco preparado y proceder a medir el vial.
8. Repetir el mismo proceso para todas las muestras.

#### **3.2.3.3 Demanda Biológica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

Se basó en el método 5210 del APHA (2017). Los materiales, equipos y reactivos utilizados fueron los siguientes:

- Agitador
- OxyTop
- Incubadora,
- Hidróxido de sodio, NaOH.

- Inhibidor de oxígeno

### **Procedimiento**

1. Llenar la botella del OxyTop con 164 mL de muestra ya que el rango de DBO<sub>5</sub> esperado se encuentra entre 0 y 400 mg/L.
2. Adicionar 3 gotas de inhibidor de oxígeno y una barra de agitación en su interior.
3. Luego, colocar con pinzas dos pastillas de NaOH en el interior del receptáculo de caucho.
4. Cerrar la botella con el receptáculo de caucho.
5. Colocar el equipo Oxy Top en la incubadora a una temperatura de 20°C por cinco días.
6. Al cabo de este periodo multiplicar la DBO<sub>5</sub> obtenida por un factor de 10.

#### **3.2.3.4 Aceites y grasas**

Se basó en el método 2530 C del APHA (2017). Para de evitar la oxidación de grasas se tomó un litro de muestra en un envase de vidrio ámbar. Los materiales, reactivos y equipos utilizados fueron los siguientes:

- Embudo de separación
- Matraz de destilación
- Filtro
- Rotavapor
- Ácido clorhídrico 6N, HCl
- Ciclohexano, C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>

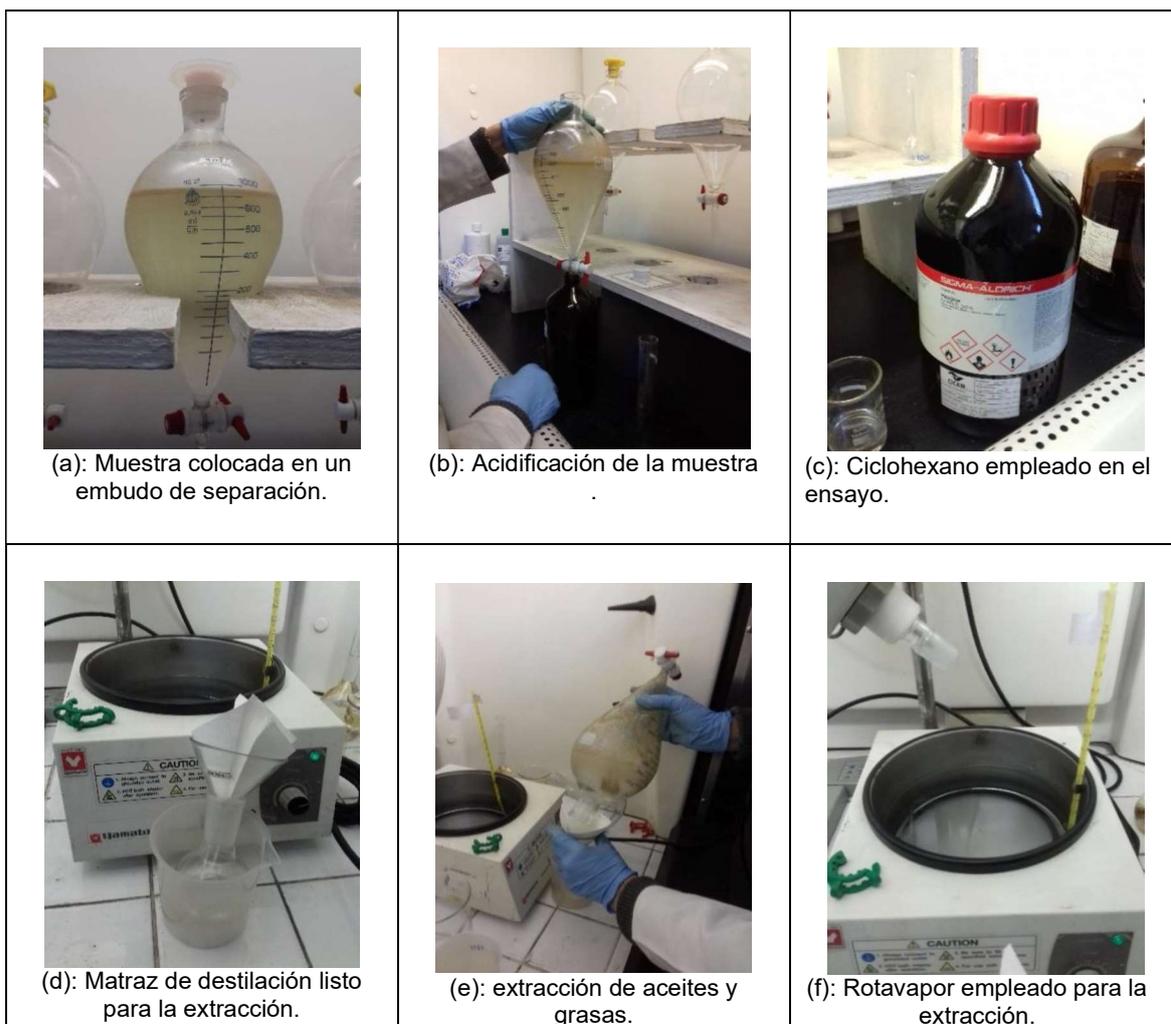
### **Procedimiento**

1. Colocar 1000 mL de muestra en un embudo de separación.
2. Acidificar la muestra con dos gotas de HCl 6N.
3. Luego, filtrar la muestra para que los aceites y las grasas sean separados de los sólidos, y así evitar variaciones en el volumen.
4. Previo a la extracción, colocar papel filtro empapado en disolvente en la salida del embudo.

5. Añadir 30 mL  $C_6H_{12}$  y se agitó por dos minutos hasta esperar que la muestra se separe en dos capas.
6. Drenar la capa de disolvente en un matraz de destilación limpio y tarado.
7. Posteriormente, realizar dos extracciones adicionales y lavar el papel filtro con 20 mL de  $C_6H_{12}$ .
8. Finalmente, destilar el disolvente del matraz en el rotavapor a 70 °C por 15 minutos. Luego se colocar en un desecador por media hora y pesar.

La Figura 3.10 muestra parte del procedimiento y materiales utilizados para el ensayo de aceites y grasas.

**FIGURA 3.10. ENSAYO DE ACEITES Y GRASAS.**



### 3.2.3.5 Tensoactivos

Se basó en el método 5540 C del APHA (2017), para el análisis de surfactantes aniónicos de AR. Los materiales, reactivos y equipos utilizados fueron los siguientes:

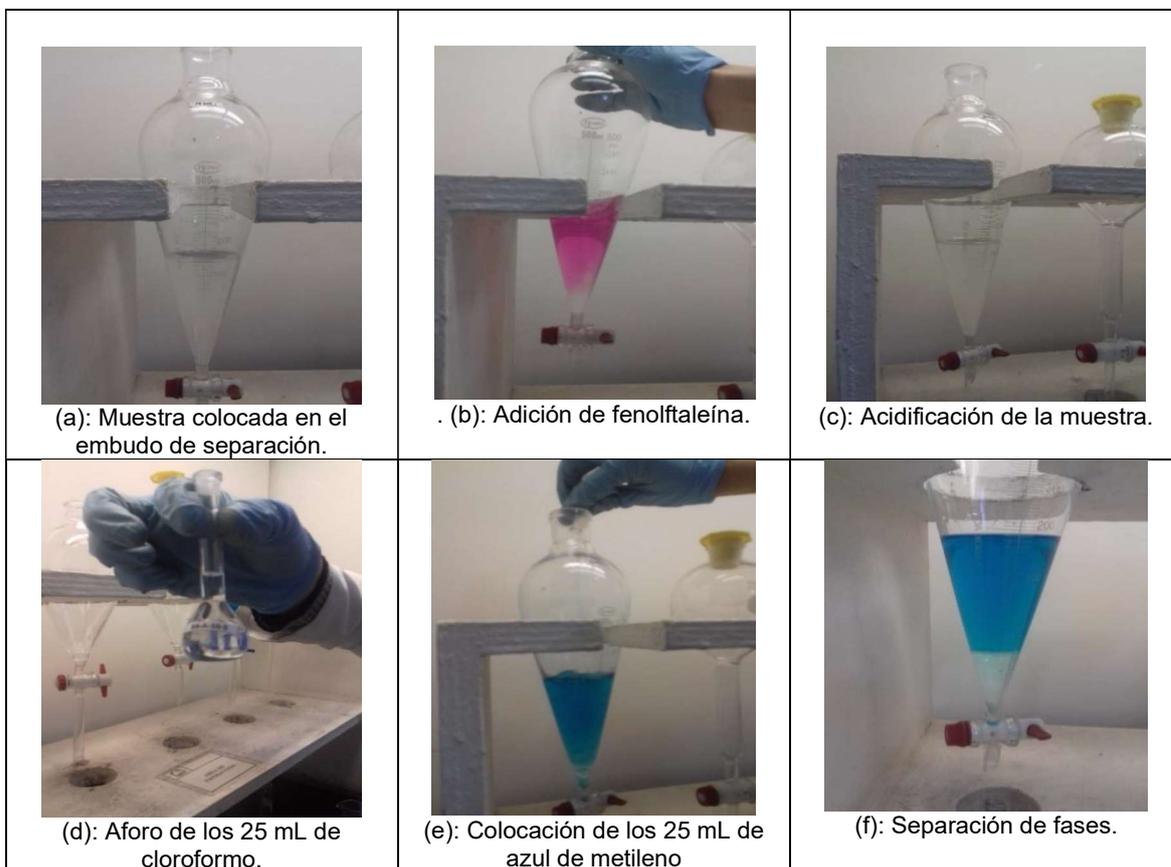
- Azul de metileno
- Embudos de separación
- Fenolftaleína
- Hidróxido de sodio 1N, NaOH.
- Ácido sulfúrico 1N, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
- Cloroformo, CHCl<sub>3</sub>.
- Espectrofotómetro HACH.

### Procedimiento

1. Tomar 150 mL de muestra filtrada y colocar un embudo de separación.
2. Añadir tres gotas de fenolftaleína.
3. Colocar de NaOH 1N hasta que la muestra tome un color rosado enérgico.
4. Agregar H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1N gota a gota hasta que la coloración desaparezca.
5. Añadir 25 ml de azul de metileno.
6. Añadir 10 mL de CHCl<sub>3</sub>, luego cerrar el embudo y agitar cuidadosamente durante 30 segundos, liberar presión abriendo el embudo. Repetir este proceso dos veces más.
7. Dejar reposar el embudo para que las capas se separen.
8. Colocar un pequeño retazo de algodón en la salida del embudo a manera de filtro para extraer la capa de CHCl<sub>3</sub> en un balón de 100 mL.
9. Enjuagar el vástago del primer embudo con una pequeña cantidad de CHCl<sub>3</sub>, a fin de extraer todo el surfactante contenido. Repetir el proceso de extracción dos veces más.
10. Repetir el procedimiento para todas las muestras compuestas.
11. Encerar el espectrofotómetro con CHCl<sub>3</sub> como blanco y proceder a la medición.

La Figura 3.11 muestra parte del procedimiento y materiales utilizados para el ensayo de tensoactivos.

**FIGURA 3.11. ENSAYO DE TENSOACTIVOS.**



### 3.2.3.6 Fósforo total

Se basó en el método 8190 de HACH (2000). Los materiales, equipos y reactivos utilizados fueron los siguientes:

- Viales o celdas
- Pipetas
- Espectrofotómetro HACH.
- Digestor HACH.
- Phos Ver 3.
- Persulfato de potasio,  $K_2S_2O_8$ .
- Hidróxido de sodio, NaOH.

### **Procedimiento**

1. Realizar las diluciones requeridas previo al ensayo.
2. Colocar 25 mL de muestra en un vial.
3. Luego añadir el reactivo  $K_2S_2O_8$ , tapar y agitar hasta disolverlo.
4. Calentar el tubo a 150 °C durante 30 minutos. Dejarlo reposar en una gradilla para tubos.
5. Colocar 2 mL de hidróxido de sodio 1,54N, taparlo y homogenizar.
6. Agregar el reactivo Phos Ver 3 y dejar reaccionar por 2 minutos.
7. Realizar el mismo proceso con agua destilada para la elaboración del blanco.
8. Encerar el espectrofotómetro con la longitud de onda 890 nm y proceder a la medición de las muestras compuestas.

#### **3.2.3.7 Nitrógeno total Kjeldahl**

Se basó en el método 8075 del manual HACH (2000). Los materiales, reactivos y equipos utilizados fueron los siguientes:

- Probetas
- Celdas
- Pipetas
- Digestor HACH
- Espectrofotómetro HACH
- Indicador TKN
- Hidróxido de sodio 8 N, NaOH.
- Estabilizador mineral
- Alcohol polivinílico
- Reactivo Nessler

### **Procedimiento**

1. Digerir 25 mL de muestra y 25 mL de agua destilada a 440°C por separado.
2. Colocar 10 mL de la muestra digerida en una probeta de 25 mL y 10 mL de agua destilada en otra para la elaboración del blanco.

3. Agregar una gota de indicador TKN a cada probeta. Luego colocar gota a gota KOH 8N, hasta obtener una coloración azul.
4. Aforar hasta 20 mL las probetas con agua destilada y añadir 3 gotas de estabilizador mineral y 3 gotas de alcohol polivinílico a cada una.
5. Aforar a 25 mL cada probeta y homogenizar.
6. Colocar 1 mL de reactivo Nessler a cada probeta y mezclar.
7. Esperar dos minutos de reacción.
8. Colocar en una celda de medición y proceder con la lectura.
9. Repetir el procedimiento con todas las muestras compuestas.

### **3.2.4 CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS**

#### **3.2.4.1 Coliformes totales**

Se basó el método del Número Más Probable (NMP) 9222 C de APHA (2017). Los materiales, equipos y reactivos empleados fueron los siguientes:

- Viales
- Tubos Durham
- Micropipeta
- Incubadora
- Agua Peptona
- Caldo bilis

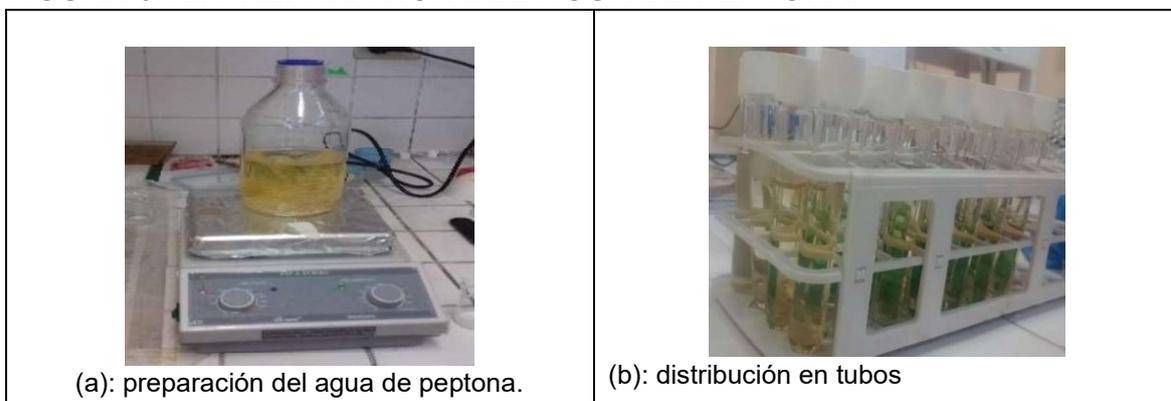
#### **Procedimiento**

1. Preparar el agua de peptona pesando 25,5 gramos de peptona y llevar a un volumen de 1 litro.
2. Preparar el medio de cultivo o caldo bilis, pesando 40 gramos de caldo bilis brillante y aforar a un volumen de 1 litro.
3. Llevar a esterilización los tubos de agua de peptona y los de caldo de bilis, a fin de evitar contaminación.
4. Colocar 1 mL de la muestra en un tubo con agua de peptona. Luego tomar con la micropipeta 1 mL de dicha solución y colocarlo en un tubo con caldo de bilis.

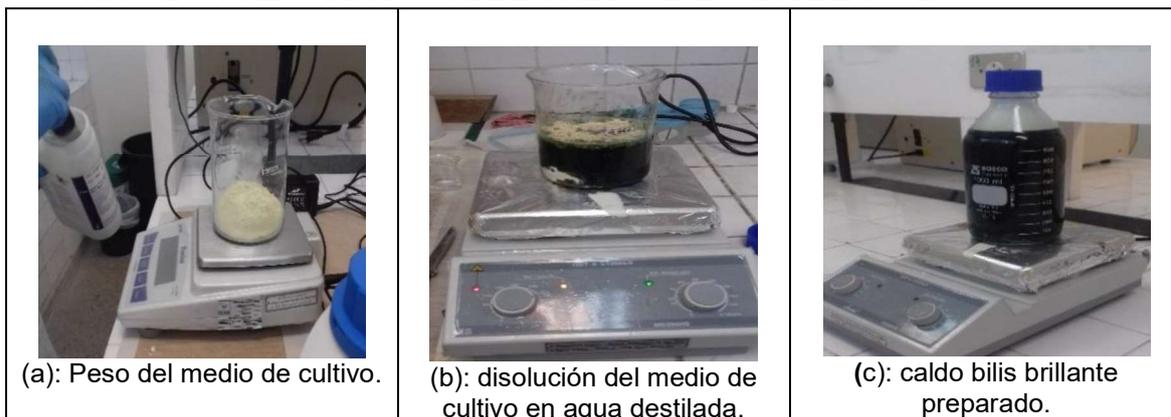
5. Repetir el paso anterior para las diluciones establecidas. Cada dilución se utilizó para sembrar tres tubos de caldo de bilis, los cuales fueron introducidos en la incubadora a 35°C por 48 horas.
6. Aquellos tubos que presentaron aparición de gas fueron considerados como positivos mientras que los que no cumplían con esto fueron tomados como negativos.

La Figura 3.12 muestra parte de la elaboración del agua de peptona mientras que la Figura 3.13 muestra parte de la preparación del caldo bilis.

**FIGURA 3.12. PREPARACIÓN DEL AGUA DE PEPTONA.**



**FIGURA 3.23. PREPARACIÓN DEL CALDO BILIS BRILLANTE.**



#### 3.2.4.2 Coliformes fecales

En los tubos positivos del ensayo de coliformes totales se procedió en base al APHA (2017) método 9222 B. Los materiales y equipos utilizados fueron los siguientes:

- Asa de inoculación
- Tubos con medio de cultivo
- Incubadora

### Procedimiento

1. Insertar un asa de inoculación calentada al rojo vivo, a fin de eliminar cualquier tipo de coliforme que no sea fecal, debido a que estos últimos son termo tolerantes.
2. Realizar la siembra en nuevos tubos con caldo bilis brillante.
3. Encubar a 45°C por 24 horas. La Figura 3.14 muestra parte del procedimiento de coliformes fecales de las muestras puntuales de ARD.

**FIGURA 3.34. ENSAYO DE COLIFORMES FECALES.**



### 3.3 ENCUESTA POBLACIONAL

Se realizó un sondeo a la población guarandeña en base al muestreo aleatorio simple en el cual se seleccionaron las viviendas de forma proporcional con el grado de densidad poblacional (Morillas, 2007). La fórmula utilizada para calcular el tamaño de la muestra es:

$$n = \frac{N\sigma^2 z^2}{(N-1)e^2 + \sigma^2 z^2} \quad (7)$$

En donde:

n= Tamaño de la muestra

N= Población

$z$ = Variable normal tipificada, corresponde a un nivel de confianza del 95%=1.96 el valor mínimo aceptado para considerar la investigación como confiable.

$e$ = Representa el límite aceptable de error muestral, generalmente va del 1% (0.01) al 9% (0.09), siendo 5% (0.05) el valor estándar usado en las investigaciones.

$\sigma$ =Representa la desviación estándar de la población. En el caso de desconocerlo este dato es común utilizar un valor constante que equivale a 0.5

Entonces para la población guarandefia se tiene que:

$$n = \frac{(24213) \times 0,5^2 \times 1,96^2}{(24213 - 1) \times 0,05^2 + 0,5^2 \times 1,96^2} = 378$$

El modelo de la encuesta realizada se encuentra en el Anexo N°4, la cual cuenta con cuatro preguntas de opción múltiple y cuatro preguntas dicotómicas (sí o no).

## **CAPÍTULO IV.**

### **RESULTADOS Y ANÁLISIS**

#### **4.1 DETERMINACIÓN DE LOS CAUDALES MÍNIMOS, PROMEDIOS Y MÁXIMOS, HORARIOS DIARIOS**

El análisis y determinación de los caudales de las descargas de ARD interviene en el dimensionamiento de la infraestructura en una PTAR. Generalmente, dichas variaciones se dan en lugares que poseen zonas turísticas, parques, colegios, universidades, hospitales, etc (Metcalf y Eddy, 2013). El caudal de ARD también está ligado al consumo de agua potable con algún factor de corrección. Se tiene que el caudal máximo corresponde al mayor consumo de agua durante el día, mientras que el mínimo representa lo contrario (Ramalho, 2009).

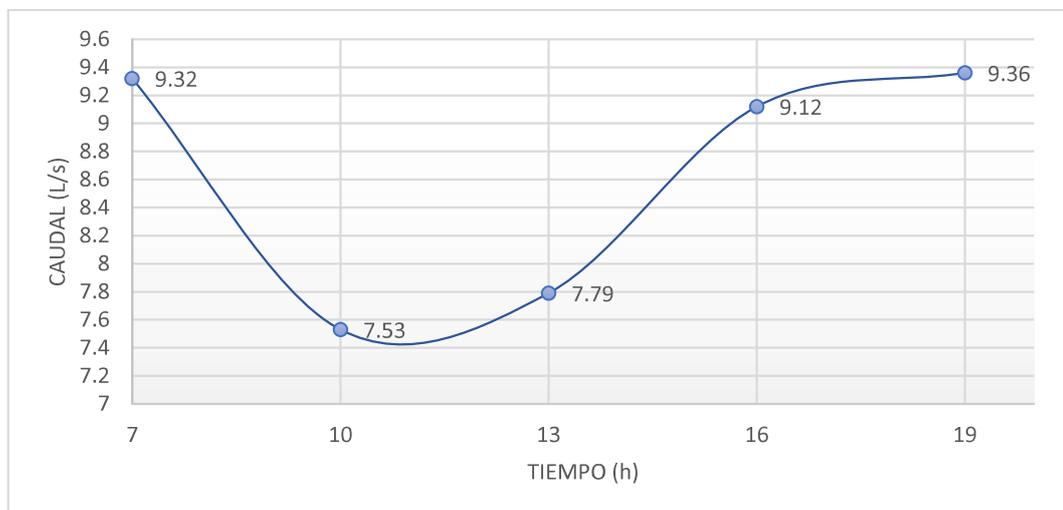
##### **4.1.1 HIDROGRAMAS DE DESCARGA**

###### **Descarga de Marcopamba**

La Figura 4.1 muestra la variabilidad en los caudales de la descarga de Marcopamba, se tiene un caudal inicial a las 07:00 de 9.32 L/s, el cual decrece abruptamente hasta alcanzar su caudal mínimo de 7,53 L/s a las 10:00, para luego incrementarse a 9,12 L/s a las 16:00 y se mantiene casi constante con una variabilidad muy pequeña hasta las 19:00 en donde alcanza su máximo con 9,36 L/s. El caudal promedio para esta descarga fue de 8 L/s.

Los resultados anteriores corresponden a la zona Sur de la ciudad de Guaranda, la cual está formada mayormente por zonas residenciales. La población suele trabajar entre las 08:00 a las 17:00, en este lapso los habitantes no se encuentran en sus hogares, dicho esto se considera que las actividades en los hogares inician a las 07:00 lo que explica su caudal inicial elevado. El caudal mínimo entre las 10:00 y 13:00 se debería a la ausencia de la población en los hogares, mientras que el caudal máximo a las 19:00 representaría lo contrario.

**FIGURA 4.1. VARIABILIDAD HORARIA DEL CAUDAL DE DESCARGA DE ARD MARCOPAMBA, 2018.**



De acuerdo con las aseveraciones de Metcalf y Eddy (2013), los caudales de agua residuales siguen una ley de variación diaria, en donde el máximo suele darse a las 19:00 como lo muestra la Figura 4.1.

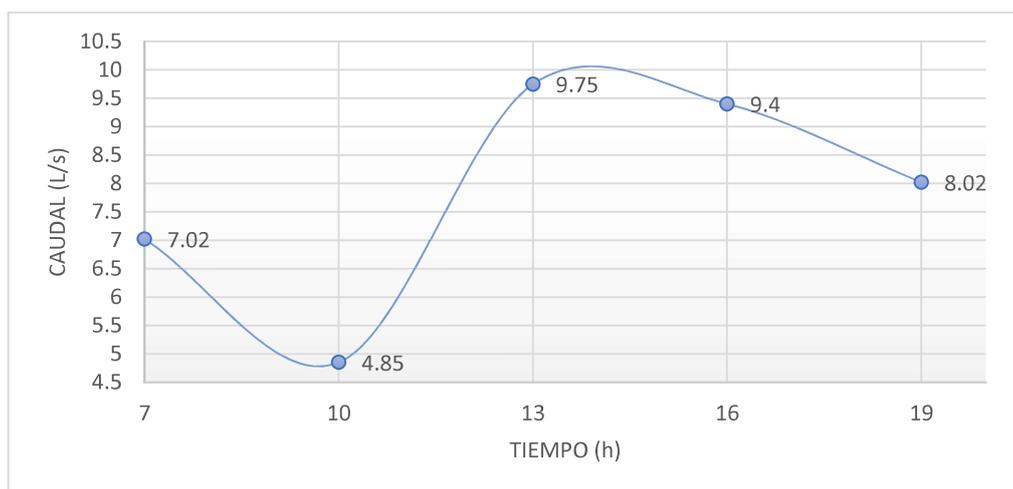
#### **Descarga Puente de Vinchoa**

La Figura 4.2 muestra la variabilidad en caudales de la descarga Puente Vinchoa, cuyo mínimo es de 4,85 L/s a las 10:00, luego alcanza su caudal máximo de 9,75 L/s a las 13h00. Además, entre las 13:00 y 19:00 el caudal de descarga presenta poca variabilidad, decreciendo hasta 8,02 L/s a las 19:00. El caudal promedio para esta descarga fue de 7,81 L/s.

La descarga de Puente Vinchoa corresponde a la zona céntrica del Oeste de la ciudad, la cual está formada por instituciones, casas, colegios, escuelas, parques, zonas residenciales, mercado, etc. Las actividades en dicha zona empiezan a partir de las 08:00, lo que explicaría el caudal significativo al iniciar la jornada. Además, se estima que la población labora entre las 08:00 y 12:00 por lo que el caudal alcanza su mínimo a las 10:00. El receso en las instituciones públicas se da a las 12:00 o 13:00, lo que explica el incremento del caudal hasta llegar a su máximo. La

zona central de la ciudad es muy concurrida por la población por lo que su caudal disminuye, sin perder relevancia.

**FIGURA 4.2. VARIABILIDAD HORARIA DEL CAUDAL DE DESCARGA DE ARD DE VINCHOA, 2018.**



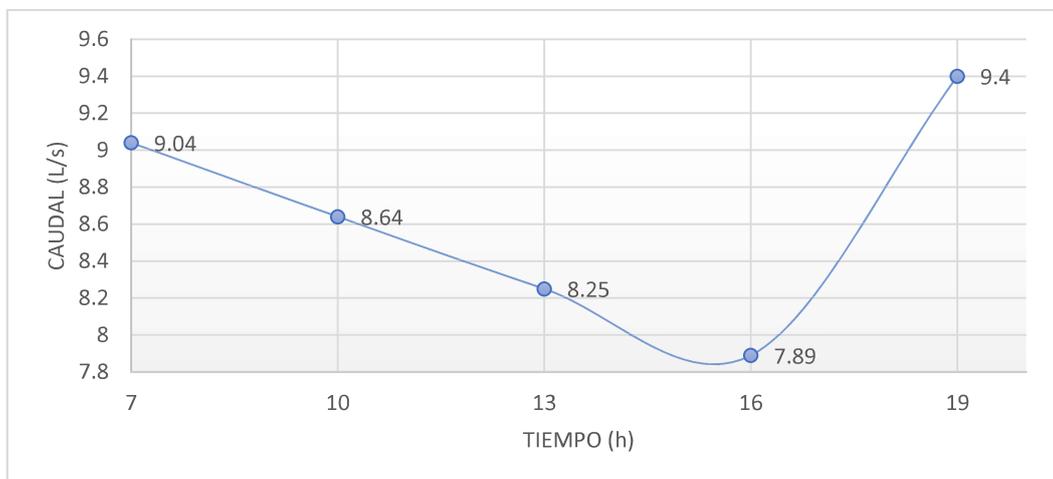
De acuerdo con Metcalf y Eddy (2013) y el Centro de las Nuevas Tecnologías de Sevilla (2016), este hidrograma es típico en aguas residuales de origen doméstico.

#### **Descarga del vivero Municipal**

La Figura 4.3 muestra la variabilidad en caudal de la descarga Vivero Municipal, que corresponde a la parte céntrica del Este de la ciudad. Se tiene un caudal inicial de 9,04 L/s, el cual decrece hasta llegar a su mínimo de 7,89 L/s a las 16:00, el cual se recupera hasta alcanzar su máximo de 9,4 L/s a las 19:00. Se observa que, para esta descarga el caudal no presenta mayor variabilidad, manteniéndose elevado durante el día. El caudal promedio fue de 8,64 L/s.

La parte céntrica de la ciudad es lugar de instituciones, terminal de autobuses, restaurantes, parques, mercado, etc, lo que la hace muy comercial, justificando sus caudales de descarga elevados durante el día. Según Metcalf y Eddy (2013), la hora de consumo máximo de agua suele darse al finalizar la jornada ya que se estima que la población se encuentra en sus hogares. El hidrograma coincide con lo anterior, teniendo su máximo a las 19:00.

**FIGURA 4.3. VARIABILIDAD HORARIA DEL CAUDAL DE DESCARGA DE ARD DEL VIVERO MUNICIPAL, 2018.**

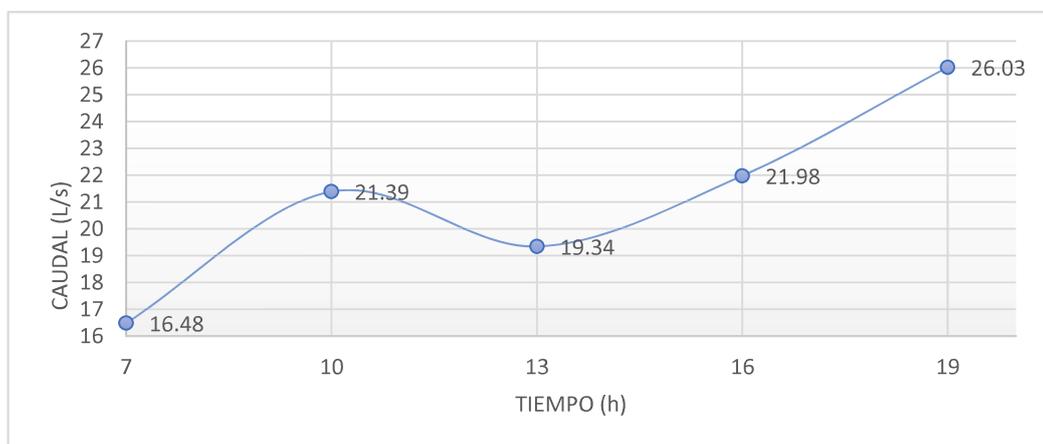


### Descarga de Negroyaco

Es importante mencionar que dicha descarga conecta con una vertiente subterránea previo a su descarga al río Guaranda. En consecuencia, los caudales medidos son más elevados que las tres descargas anteriores.

La Figura 4.4 muestra la variabilidad en caudal de descarga de Negroyaco, la cual corresponde a la zona Norte de la ciudad. Se tiene un caudal inicial mínimo de 16,48 L/s, el cual incrementa hasta 21,39 L/s a las 10:00, y alcanza su máximo de 26,03 L/s a las 19:00. El caudal promedio para esta descarga fue de 21,05 L/s.

**FIGURA 4.4. VARIABILIDAD HORARIA DEL CAUDAL DE DESCARGA DE ARD DE NEGROYACO, 2018.**



Es importante considerar que, para esta descarga, el caudal no está sujeto únicamente a las costumbres y actividades de los pobladores, sino que también a la variabilidad de la vertiente. Esta parte de la ciudad está formada en su mayoría por residencias, en donde se estima que la población retorna a sus hogares antes de las 19:00, por lo que alcanza su punto máximo a esta hora.

## **4.2 ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DE LAS DESCARGAS**

Para el análisis comparativo de la calidad del agua de las descargas de ARD, se tomó en consideración la Tabla 9: "Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce" del Anexo 1 del Libro VI del TULSMA (2015), para determinar el grado de cumplimiento de las cuatro descargas con los valores máximos permisibles de la normativa ambiental.

La Tabla 4.1 muestra los resultados de los parámetros de analizados tanto *in situ* como en laboratorio de los dos muestreos compuestos para las cuatro descargas de ARD, mientras que la Tabla 4.2 muestra los valores promedio de los dos muestreos junto a los límites de descarga anteriormente mencionados. El análisis se realizará en base a los resultados de la Tabla 4.2.

Los aceites y grasas provienen fundamentalmente de la dieta alimenticia de los seres vivos, lo que explica su presencia en las ARD. De acuerdo con Metcalf y Eddy (2013), las concentraciones registradas de aceites y grasas en las descargas corresponden a ARD de concentración débil. La descarga de Puente Vinchoa excede el límite permisible (30 mg/L) con 31,75 mg/L, debido a que provienen de la zona comercial de la ciudad, por con siguiente se requiere de una trampa de grasas en las unidades de tratamiento. Las descargas de Marcopamba y Vivero Municipal se encuentran cercanos al límite con 28,75 y 27 mg/L, respectivamente, las cuales por prevención deberán ser sometidas de igual manera a tratamiento. La descarga de Negroyaco presenta el valor más bajo con 13,3 mg/L, debido a la dilución con el agua de vertiente.

**TABLA 4.1. RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS OBTENIDOS EN LABORATORIO PARA CADA UNA DE LAS DESCARGAS DE ARD.**

PARÁMETRO	UNIDAD	MARCOPAMBA		PUENTE VINCHOA		VIVERO MUNICIPAL		NEGROYACO	
		Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 1	Muestreo 2
<i>Aceites y grasas</i>	<i>mg/L</i>	27,9	29,6	30,9	32,6	28,1	25,9	14,7	11,9
<i>Coliformes fecales</i>	<i>NMP/100mL</i>	2,3 x10 <sup>4</sup>	2 x10 <sup>4</sup>	7,5x10 <sup>6</sup>	6,8x10 <sup>6</sup>	7,4x10 <sup>6</sup>	1,5x10 <sup>6</sup>	3,6x10 <sup>4</sup>	4,5x10 <sup>4</sup>
<i>Coliformes totales</i>	<i>NMP/100mL</i>	4,3x10 <sup>6</sup>	4 x10 <sup>6</sup>	4,3x10 <sup>7</sup>	9,3x10 <sup>7</sup>	9,4x10 <sup>7</sup>	2,4x10 <sup>7</sup>	9,1x10 <sup>6</sup>	9,3x10 <sup>6</sup>
<i>Conductividad</i>	<i>μS/cm</i>	598	569	632	588	567	537	446	495
<i>Demanda bioquímica de oxígeno DBO<sub>5</sub></i>	<i>mg/L</i>	231	239	214	223	218	228	112	125
<i>Demanda química de oxígeno DQO</i>	<i>mg/L</i>	412	420	376	395	386	398	192	210
<i>Fósforo total</i>	<i>mg/L</i>	5,70	5,92	6,73	7,34	5,7	5,95	3,91	3,33
<i>Nitrógeno total Kjeldahl</i>	<i>mg/L</i>	18,5	22,1	21,5	24,3	20,5	18,2	9,7	10,5
<i>Potencial hidrógeno</i>	-	7	7	7	7	7	7	7	7
<i>Sólidos sedimentables</i>	<i>mL/L*h</i>	5	4	6	5,5	5	5,5	4,5	4
<i>Sólidos suspendidos</i>	<i>mg/L</i>	124	102	128	104	118	128	76	120
<i>Sólidos totales</i>	<i>mg/L</i>	548	500	556	450	456	432	360	436
<i>Sólidos totales disueltos</i>	<i>mg/L</i>	412	364	420	344	332	304	308	312
<i>Temperatura</i>	<i>°C</i>	17,9	19,6	20	20,3	18,3	19,0	20,4	19,9
<i>Tensoactivos (detergentes aniónicos)</i>	<i>mg/L</i>	17,8	15,2	19,9	22,5	18,6	17,1	8,6	9,4
<i>Turbiedad</i>	<i>NTU</i>	254	242	335	305	191	186	125	126

**TABLA 4.2. VALORES PROMEDIO DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS OBTENIDOS EN LABORATORIO PARA CADA DESCARGA DE ARD.**

<i>PARÁMETRO</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>LMP según el TULSMA</i>	<i>MARCOPAMBA</i>	<i>PUENTE VINCHOA</i>	<i>VIVERO MUNICIPAL</i>	<i>NEGROYACO</i>
<i>Aceites y grasas</i>	mg/L	30	28.75	31.75	27	13.3
<i>Coliformes fecales</i>	NMP/100mL	Remoción al 99%	2.15x10 <sup>4</sup>	7.15x10 <sup>6</sup>	4.45x10 <sup>6</sup>	4.05x10 <sup>4</sup>
<i>Coliformes totales</i>	NMP/100mL	-	4.15x10 <sup>6</sup>	6.80x10 <sup>7</sup>	5.90x10 <sup>7</sup>	9.20x10 <sup>6</sup>
<i>Conductividad</i>	µS/cm	-	583.5	610	552	470.5
<i>Demanda bioquímica de oxígeno DBO<sub>5</sub></i>	mg/L	100	235	218.5	223	118.5
<i>Demanda química de oxígeno DQO</i>	mg/L	250	416	385.5	392	201
<i>Fósforo total</i>	mg/L	0.1	5.81	7.035	5.8	3.6
<i>Nitrógeno total Kjeldahl</i>	mg/L	15	20.3	22.9	19.4	10.1
<i>Potencial hidrógeno</i>	-	6-9	7	7	7	7
<i>Sólidos sedimentables</i>	mL/L*h	1	4.5	5.75	5.25	4.25
<i>Sólidos suspendidos</i>	mg/L	130	113	116	123	98
<i>Sólidos totales</i>	mg/L	1600	524	503	444	398
<i>Sólidos totales disueltos</i>	mg/L	-	388	382	318	310
<i>Temperatura</i>	°C	<35	18.75	20.15	18.7	20
<i>Tensoactivos (detergentes aniónicos)</i>	mg/L	0.5	16.5	21.2	17.9	9
<i>Turbiedad</i>	NTU	-	248	335	188.5	125.5

\*Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce de acuerdo con el Libro VI, Anexo 1 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente, 2015.

La cantidad de coliformes fecales por mililitro presentes en las ARD están por el orden de  $10^4$  a  $10^6$ , valores que exceden el límite permisible de 2000 coliformes fecales/mL. De acuerdo con Metcalf y Eddy (2013), las concentraciones de coliformes de las cuatro descargas corresponden a ARD de concentración débil. Los organismos coliformes son típicos de ARD, debido a su presencia en la flora intestinal de las personas y animales. De acuerdo con la OMS (2006), una persona descarga entre 0,1 y 0,4 billones de coliformes por día. Parte de estos serán removidos en las diferentes unidades de tratamiento, sin embargo, se recomienda utilizar una unidad de desinfección para su eliminación (Ramalho, 2009). El método más empleado es la cloración debido a su bajo costo y alta eficiencia de remoción.

Los coliformes totales presentan un diagnóstico similar al de coliformes fecales, sin embargo, la norma de calidad ambiental para descargas a un cuerpo de agua dulce no presenta límites de permisibilidad para este parámetro.

La conductividad se encuentra en el orden de 470 a 610  $\mu\text{s}/\text{cm}$  y según Panachlor (2016), es típico en ARD, debido a las sales disueltas de la dieta alimenticia, por lo que la conductividad de las ARD y del agua potable serán diferentes, siendo mayor la de las ARD. Cabe destacar que no existe permisibilidad para este parámetro en la normativa ambiental.

Los valores de DQO y  $\text{DBO}_5$  para las descargas de Marcopamba, Puente Vinchoa y Vivero Municipal se encuentran en el orden de 400 mg/L y 200 mg/L, respectivamente, por lo que sobrepasan los límites de permisibles (200 mg/L) y (100 mg/L) respectivamente, por lo que este parámetro necesita ser tratado. De acuerdo con Metcalf y Eddy, estos valores son típicos en ARD de concentración media para las descargas de Marcopamba, Puente Vinchoa y Vivero Municipal, mientras que para la descarga de Negroyaco es de concentración débil.

Para los parámetros de nitrógeno total Kjeldahl y fósforo total los límites permisibles son de 50 y 10 mg/L, respectivamente, todas las descargas de ARD presentan valores inferiores del orden de 20 mg/L para nitrógeno total Kjeldahl y 6 mg/L para

fósforo total. Según Metcalf y Eddy (2013), estos valores son típicos de ARD de concentración débil. El exceso de estos nutrientes puede ocasionar problemas de eutrofización en un cuerpo de agua léntico.

Los valores de pH y temperatura cumplen con la norma para todas las descargas, por consiguiente, se puede indicar que no existe contaminación térmica o por vertidos ácidos o básicos, que pueden afectar al pH o temperatura, lo cual corrobora la ausencia de industrias en la zona de estudio.

La concentración de sólidos totales establecidos en el TULSMA es de 1600 mg/L, las ARD presentan valores entre 400 y 500 mg/L, por lo que están bajo norma. Según Metcalf y Eddy (2013), las ARD presentan valores de concentración entre débil y media. Los sólidos totales y sedimentables son fundamentales para la elección de procesos en una PTAR como decantación y filtrado (Ramalho, 2009).

Los resultados de sólidos suspendidos totales rondan los 110 mg/L, valor que está bajo la norma (130 mg/L) para descargas a cuerpos de agua dulce. Según Metcalf y Eddy (2013), estos resultados pertenecen a ARD de concentración entre media y débil. Además, los análisis muestran que existe presencia de sólidos sedimentables, los cuales no están sujetos a norma, sin embargo, se sugiere una unidad de sedimentación dentro del tren de tratamiento.

El uso de detergentes y jabones en las actividades domésticas evidencia la alta concentración de tensoactivos en las cuatro descargas (8,6–22,5 mg/L), excediendo con el límite permisible de 0,5 mg/L. Existen alternativas biodegradables que pueden ayudar a la reducción de este parámetro, además de la concientización en la población para incentivar el cambio en los hábitos cotidianos (Altmajer, 2004).

Los valores de turbiedad son indispensables para evaluar el correcto funcionamiento de una PTAR, puesto que puede indicar problemas en los procesos de coagulación, sedimentación y en la filtración (Ramalho, 2009). Además, está

relacionada con el contenido de sólidos en suspensión que pueden proteger a los microorganismos de la desinfección y estimular la proliferación de bacterias; perdiendo eficiencia en el proceso de desinfección (World Health Organization, 2006). Los valores de turbiedad y sólidos suspendidos de las cuatro descargas de ARD se encuentran entre 125 y 335 NTU y 76 y 128 mg/L respectivamente, sin embargo, no existe límite de descarga permisible para este parámetro.

De acuerdo con Brito (2003), en su estudio “Sistema de tratamiento para las AR de la ciudad de Alausí”, el AR presentó valores de 202 mg/L para DBO<sub>5</sub>, 483 mg/L para DQO, sólidos totales 788 mg/L y 2,45 x10<sup>6</sup> NMP/100mL para *coliformes totales*, para una población de 10 000 habitantes, mientras que el AR del cantón Durán, según Astudillo & Rikeros (2015), presenta valores de DBO<sub>5</sub> de 228 mg/L y de 1400 mg/L para ST. Otra investigación realizada por Vega (2016), reveló que las AR del cantón Archidona presentaban valores de DQO de 394 mg/L, DBO<sub>5</sub> de 304 mg/L y ST 435 mg/L, para una población de 11 600 habitantes, y por último según Guerrero (2014), las AR del cantón de Pilahuín presentan 221 mg/L de DBO<sub>5</sub> y 2280 mg/L de ST, para una población de 12 100 habitantes. Todos estos estudios son comparables con las ARD de la ciudad de Guaranda, ya que sus concentraciones son similares a las ARD de estas poblaciones pequeñas de alrededor 10 000 habitantes.

### 4.3 CARGA CONTAMINANTE DE LAS DESCARGAS

La carga contaminante de los efluentes de ARD fue calculada con el caudal máximo; este parámetro da una idea de la contaminación diaria en g/d que genera una población de descarga industrial o actividad productiva. Puede ser calculada en términos de aceites y grasas, sólidos totales, fósforo total, nitrógeno total Kjeldahl, tensoactivos, siendo la más significativa en base a DBO y DQO (Metcalf & Eddy, 2013). Se calculó con la siguiente ecuación:

$$Carga\ contaminante\ \frac{g}{d} = \left( concentraci3n\ \frac{g}{L} \right) \times \left( caudal\ \frac{L}{d} \right) \quad (8)$$

Ejemplo de cálculo: la concentración de DBO<sub>5</sub> para la descarga de Marcopamba es de 235 mg/L y su caudal máximo observado fue 9,36 L/s, entonces:

$$Carga\ contaminante\ \frac{g}{d} = \left(235\ \frac{mg}{L}\right) \times \left(\frac{1\ g}{1000\ mg}\right) \times \frac{9,36\ L}{s} \times \frac{86400\ s}{1\ d} = 190045,4\ \frac{g}{d}$$

$$Carga\ contaminante = 190,05\ kg/d$$

La Tabla 4.3 muestra las cargas contaminantes de las diferentes descargas de ARD en términos de DBO, DQO, ST y la total. Las cargas contaminantes mas elevadas pertenecen a las descargas de Marcopamba y Negroyaco. Determinados los constituyentes a ser removidos, y así cumplir con la Norma de Calidad Ambiental de la “Tabla 9 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce” del Anexo 1 del TULSMA.

**TABLA 4.3. CARGAS CONTAMINANTES DE LOS PUNTOS DE DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN DISTINTOS PARÁMETROS, 2018.**

CARGA CONTAMINANTE	UNIDAD	MARCOPAMBA	PUENTE VINCHOA	VIVERO MUNICIPAL	NEGROYACO	TOTAL
Demanda bioquímica de oxígeno DBO <sub>5</sub>	kg/d	190,05	184,06	181,11	266,50	821,72
Demanda química de oxígeno DQO	kg/d	336,42	324,75	318,37	452,05	1431,6
Sólidos totales	kg/d	423,76	423,73	360,6	895,01	2103,1

Cada carga contaminante corresponde a una población equivalente, y según González & Angulo (2017), la carga orgánica per cápita de origen exclusivamente doméstico es de 0,04 kg DBO<sub>5</sub>/día, por lo tanto la población equivalente para la descarga de Marcopamba es:

$$\frac{190,05\ \frac{kg\ DBO}{día}}{0,04\ \frac{kg\ DBO}{hab.\ día}} = 4751\ habitantes \quad (9)$$

La Tabla 4.4 muestra la población equivalente para cada descarga en función de la carga contaminante per cápita de DBO<sub>5</sub>.

**TABLA 4.4. POBLACIÓN EQUIVALENTE PARA CADA DESCARGA DE ARD DE LA CIUDAD DE GUARANDA, 2018.**

Descarga	Marcopamba	Puente Vinchoa	Vivero Municipal	Negroyaco	TOTAL
<b>Población equivalente (hab)</b>	4751	4602	4528	6663	20544

Por lo tanto, la población equivalente total es de 20544 habitantes, sin embargo, la población del área de estudio según el INEC (2010) es cercana a 25000 habitantes, la diferencia se puede atribuir a fugas en el sistema de alcantarillado, pérdidas por infiltración, descargas ilícitas en la periferia y el sistema de alcantarillado tiene una cobertura del 80% en la ciudad (CORPCONSUL, 2007).

#### 4.3.1 BIODEGRADABILIDAD Ó RELACIÓN DBO<sub>5</sub>/DQO

La relación DBO<sub>5</sub>/DQO permite evaluar el grado de biodegradabilidad de las ARD y de acuerdo con Metcalf y Eddy (2013), si la relación DBO<sub>5</sub>/DQO > 0,4 entonces la biodegradabilidad es alta, si 0,2 < DBO<sub>5</sub>/DQO < 0,4 es media y si DBO<sub>5</sub>/DQO < 0,2 es baja.

Por ejemplo, para la descarga de Marcopamba se tiene que:

$$\frac{DBO_5 \text{ mg/L}}{DQO \text{ mg/L}} = \frac{235 \text{ mg/L}}{416 \text{ mg/L}} = 0,56 \quad (10)$$

Lo cual muestra que las ARD de la descarga de Marcopamba tiene alta biodegradabilidad. La Tabla 4.5 muestra la biodegradabilidad para las cuatro descargas de ARD y en todos los casos los valores corresponden a biodegradabilidad alta, por lo tanto, los procesos biológicos son los indicados para la depuración de las ARD de la ciudad.

**TABLA 4.5. GRADO DE BIODEGRADABILIDAD DE LAS ARD DE LA CIUDAD DE GUARANDA, 2018.**

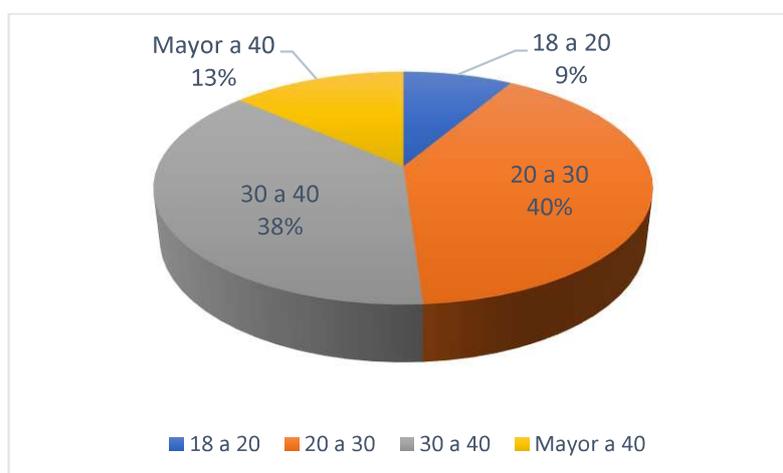
Descarga	Marcopamba	Puente Vinchoa	Vivero Municipal	Negroyaco
<b>Relación DBO<sub>5</sub>/DQO</b>	0,56	0,56	0,56	0,59

#### 4.4 ANÁLISIS SOCIAL

Cómo se muestra en el numeral 3.3, las encuestas realizadas a la población del área de estudio fueron 378. Para asegurar la fiabilidad del levantamiento de la información, el entrevistado debía ser mayor de 18 años. De los 382 encuestados, el 71% pertenecieron al género femenino, mientras que el porcentaje restante al masculino.

La Figura 4.5 muestra que la mayor parte de la población encuestada correspondió a 20 y 40 años; edad que, según el INEC (2010), pertenece a la población económicamente activa en el Ecuador. Como dato adicional, todos los encuestados señalaron que cuentan con servicios básicos como abaste de agua potable, recolección de residuos sólidos, electricidad y alcantarillado.

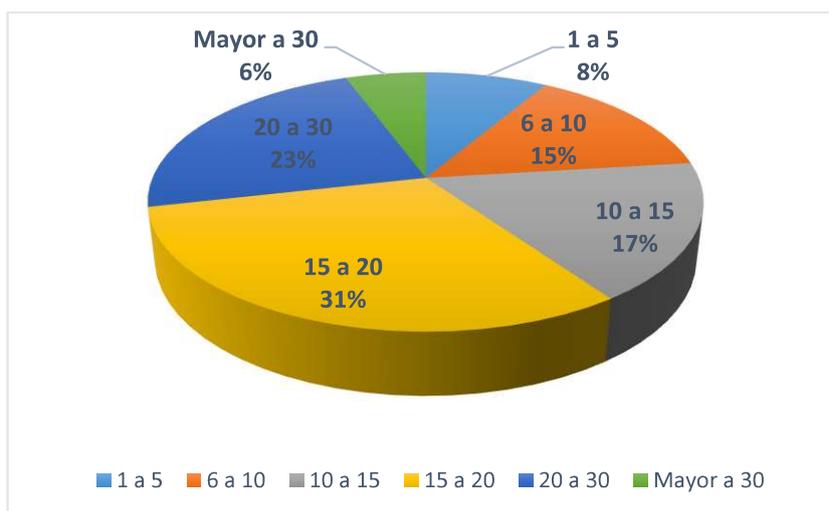
**FIGURA 4.5. EDAD DE LOS ENCUESTADOS.**



La Figura 4.6 muestra el consumo de agua potable mensual por núcleo familiar de la población encuestada, en dónde se observa que para el 31% de los encuestados,

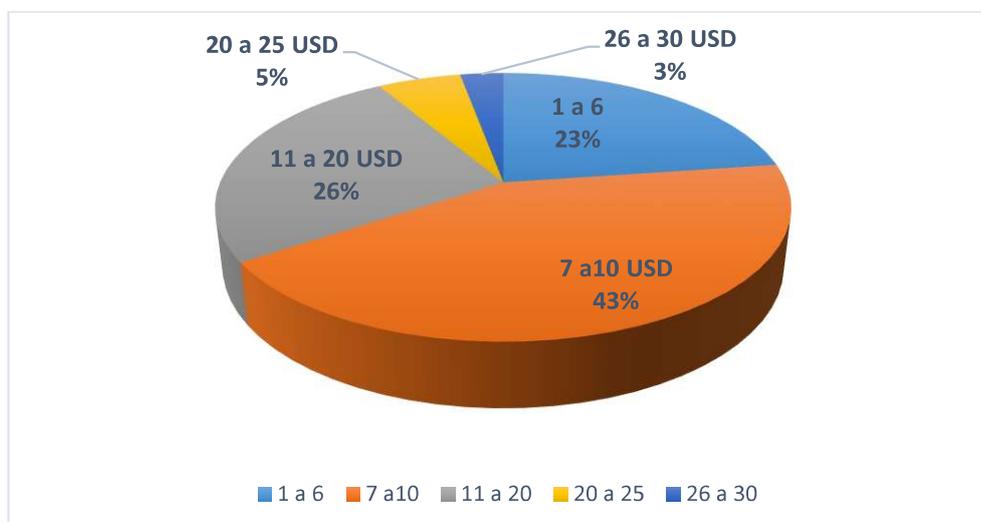
el consumo oscila entre los 15 y 20 m<sup>3</sup>/mes, lo cual en términos de aguas residuales cada hogar generaría alrededor de 12 y 16 m<sup>3</sup>/mes, si se tiene que el 80% de agua consumida se convierte en residual (MAE, 2015).

**FIGURA 4.6. CONSUMO DE AGUA MENSUAL EN m<sup>3</sup>, 2018.**



La Figura 4.7 muestra el pago mensual del consumo de agua por hogar, en dónde se observa que la mayor parte de encuestados (43%) paga entre 7 y 10 USD/mes, el 26% entre 11 y 20 USD/mes, mientras el 23% paga de 1 a 6 USD/mes.

**FIGURA 4.7. PAGO MENSUAL DEL CONSUMO DE AGUA POR FAMILIA, 2018.**



La encuesta contó con algunas preguntas dicotómicas, cuyos resultados se encuentran descritos en la Tabla 4.6. Se puede observar que el 60% de los encuestados expresó su satisfacción con el sistema de eliminación de aguas servidas, mientras que el 40% no. El 14,3% notó la presencia de aguas servidas dentro de sus barrios y el 31,5% de los encuestados desconoce los perjuicios al ambiente y la contaminación del río por las descargas de aguas servidas. Además, cerca del 80% afirmó que, en caso de instalar una depuradora de aguas servidas, ellos estarían dispuestos y el 71,5% pagarían entre 1 y 3 USD/mes por este servicio

**TABLA 4.6. RESULTADOS DE LAS PREGUNTAS DICOTÓMICAS DE LA ENCUESTA SOCIOECONÓMICA.**

<i>Preguntas</i>	<i>Respuestas</i>		<i>Total</i>	<i>Porcentaje %</i>		<i>Total</i>
	<i>Si</i>	<i>No</i>		<i>Si</i>	<i>No</i>	
<i>¿Está usted satisfecho con el actual sistema de eliminación de aguas servidas que posee actualmente?</i>	227	151	378	60.1	39.9	100
<i>¿Ha notado usted la presencia de aguas servidas en su barrio?</i>	54	324	378	14.3	85.7	100
<i>¿Conoce usted que las aguas servidas de la ciudad de Guaranda están contaminando el río Guaranda y los perjuicios que esto conlleva?</i>	259	119	378	68.5	31.5	100
<i>En el caso de instalación de un sistema de depuración de aguas servidas ¿Se conectaría?</i>	302	76	378	79,9	20,1	100

#### **4.5 ANÁLISIS ECONÓMICO**

Dado que en el numeral 2.1.3, las tecnologías de tratamiento de AR municipales para poblaciones medianas (entre 20 000 y 100 000 habitantes) con mayor opción de implementar fueron: reactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), laguna anaerobia y filtro anaerobio, se procede a evaluar los costos para cada una de éstas; y así, seleccionar la mejor alternativa de tratamiento en términos económicos.

Libhaber & Jaramillo (2012), en su publicación “Tratamiento sustentable y reutilización para aguas residuales municipales”, indican los costos de inversión,

operación y mantenimiento per cápita, que se necesitarían para la construcción de dichas tecnologías de depuración. De igual manera, señalan el área de terreno necesaria para la implementación de las tecnologías de tratamiento en función del número habitantes de la zona de estudio, lo cual también se traduce como gastos dependiendo del costo de terreno por m<sup>2</sup> en dicha zona.

Entonces, se tiene que para la población del cantón Guaranda, calculada en el numeral 2.3.7 y considerando el valor promedio de los datos proporcionados por Libhaber & Jaramillo (2012), el área necesaria para la implementación de un reactor UASB sería:

$$\frac{(0,01 + 0,5)m^2}{2 \text{ habitante}} \times 24213 \text{ habitantes} = 6174,315 \text{ m}^2 \quad (11)$$

El costo de inversión sería:

$$\frac{(20 + 40)USD}{2 \text{ habitante}} \times 24 \ 213 \text{ habitantes} = 726390 \text{ USD}$$

El costo de operación y mantenimiento sería:

$$\frac{(1 + 1.5)USD}{2 \text{ habitante}} \times 24 \ 213 \text{ habitantes} = 30266.25 \text{ USD}$$

La Tabla 4.7 muestra los costos de inversión, operación y mantenimiento y el área de terreno que se necesitaría para la implementación de cada una de las tecnologías de tratamiento de ARD para la ciudad de Guaranda. Se puede observar que, en términos económicos el filtro anaerobio presenta la mejor opción con un costo de inversión inicial de 423727.5 USD, que es 50% inferior a las otras dos tecnologías y un área de terreno para su implantación de 6174.315 m<sup>2</sup>, 90% inferior a la requerida para una laguna anaerobia, sin embargo, el costo de operación y mantenimiento anual es mayor al de una laguna anaerobia, pero se lo puede considerar aceptable.

El reactor UASB, también es una buena alternativa de tratamiento, su costo de inversión es de 726390 USD, 14% menor al de una laguna anaerobia y 40% mayor

al de un filtro anaerobio. La extensión de terreno necesaria para su implantación es igual a la de un filtro anaerobio, sin embargo, el costo de operación & mantenimiento por año es 23% mayor al de una laguna anaerobia y 28% mayor al de un filtro anaerobio, pero se lo puede considerar aceptable dado que no está muy alejado al valor del filtro anaerobio; esto ya dependería del presupuesto de GAD municipal.

La laguna anaerobia presenta el costo de inversión más elevado; 847455 USD, además, el área de terreno que necesita dicha tecnología es considerada extensa; 66585.75 m<sup>2</sup>, sin embargo, su costo de operación & mantenimiento por año es el más bajo; 7263.9 USD.

**TABLA 4.7. CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN ECONÓMICA.**

<b>TECNOLOGÍA DE TRATAMIENTO</b>	<b>REACTOR UASB</b>	<b>LAGUNA ANAEROBIA</b>	<b>FILTRO ANAEROBIO</b>
<b>COSTO DE INVERSIÓN, C.I (USD/hab)</b>	20-40	20-50	15-20
<b>COSTO DE OPERACIÓN &amp; MANTENIMIENTO, C.O.M (USD/hab/año)</b>	1-1.5	0.2-0.4	0.8-1
<b>ÁREA DE TERRENO, A.T (m<sup>2</sup>/hab)</b>	0.01-0.5 área considerada pequeña	0.5-5 área considerada grande	0.01-0.5 área considerada pequeña
<b>COSTOS PARA LA POBLACIÓN GUARANDÉÑA</b>	C.I: 726390 USD C.O.M:30266.25USD/año A.T: 6174.315 m <sup>2</sup>	C.I: 847455 USD C.O.M:7263.9USD/año A.T: 66585.75 m <sup>2</sup>	C.I: 423727.5 USD C.O.M:21791.7USD/año A.T: 6174.315 m <sup>2</sup>

C.I: costo de inversión, C.O.M: costo de operación y mantenimiento.

Fuente: (Libhaber & Jaramillo, 2012)

#### 4.6 PROCESO DE SELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

Considerando aspectos sociales, económicos y ambientales, se procede a evaluar las tres opciones de tratamiento en función de las matrices de selección basadas en la metodología de Rodríguez, García & Pardo (2015).

La metodología de selección de tecnologías de tratamiento de AR municipales se realizará a partir del cálculo del índice ITO con la siguiente fórmula:

$$ITO_{PTARM} = \prod_{i=1}^n P_i^{a_i} \quad (12)$$

Donde:

$ITO_{PTARM}$ : es el índice de tecnología óptima para las condiciones de evaluación de tratamiento de AR municipales por cada tecnología evaluada.

$P_i$ : es el parámetro de cada atributo técnico, económico o ambiental.

$a_i$ : es el peso de importancia de cada parámetro, según la agregación de producto por cada atributo seleccionado  $P_i$ .

Para establecer el puntaje de cada parámetro  $P_i$ , se consideraron los siguientes criterios de evaluación: 10 si la importancia relativa es baja, 20 si es media y 30 es alta (Rodríguez Miranda, García Ubaque & Pardo Pinzón, 2015).

Para el cálculo de  $a_i$ , primero se debe establecer el porcentaje de los atributos según los parámetros a evaluar que posean; entonces para el atributo técnico que tiene 7 parámetros de los 15 en total, este atributo representa el 47%, mientras que el atributo económico al poseer 5 parámetros representa el 33% y por último el ambiental con 3 parámetros representa el 20%. Luego de establecer los porcentajes, estos se deben dividir por cantidad de parámetros para obtener el peso de importancia de cada uno, es decir para los parámetros técnicos el peso de la importancia sería:

$$a_i = 0,47/7 = 0,067 \quad (13)$$

Los parámetros para evaluar en el atributo técnico según Rodríguez Miranda, García Ubaque & Pardo Pinzón (2015) son:

- Confiabilidad: si la PTARM opera en condiciones ambientales acorde a las características de la zona de estudio, si la carga orgánica es adecuada, si existe poca variación en la temperatura y de concentración de contaminantes presentes en el agua residual.
- Viabilidad: si el proceso de construcción de la tecnología es simple y puede efectuarse en corto plazo.
- Flexibilidad: si la tecnología produce agua residual tratada óptima en forma continua, con un mínimo de operación y de fácil mantenimiento.
- Complejidad: si las operaciones son sencillas y eficaces para tener un rendimiento óptimo en el tratamiento.
- Accesibilidad: el acceso a la PTARM debe ser fácil y adecuado con el tratamiento evaluado.
- Requerimientos de análisis y controles: si se necesita un monitoreo constante de variables que afecten o que sean susceptibles en el proceso de tratamiento.
- Tratamientos y manejos de subproductos: biogás y lodos.

Los parámetros para evaluar en el atributo económico según Rodríguez Miranda, García Ubaque & Pardo Pinzón (2015) son:

- Costos de inversión: costos para elaborar las tecnologías de tratamiento
- Requerimientos de área: extensión de terreno necesaria para construir la tecnología de tratamiento.
- Costos de operación y mantenimiento
- Vida útil: durabilidad de la PTARM.
- Requerimiento de personal: técnicos necesarios para operar la PTARM.

Los parámetros para evaluar en el atributo ambiental según Rodríguez Miranda, García Ubaque & Pardo Pinzón (2015) son:

- Generación de olores
- Generación de ruido
- Impacto visual

Las Tablas 4.8, 4.9 y 4.10 muestran la cualificación y cuantificación del índice ITO para la tecnología de tratamiento reactor UASB, laguna anaerobia y filtro anaerobio respectivamente.

**TABLA 4.8. MATRIZ DE EVALUACIÓN PARA EL REACTOR UASB.**

ATRIBUTO	PARÁMETRO	VALOR ASIGNADO P	PESO DE IMPORTANCIA a	P
TÉCNICO	<b>Confiabilidad</b> (un reactor UASB puede aceptar altas cargas orgánicas)	30	0.067	1.26
	<b>Viabilidad</b> (las fermentaciones ácida y metánica, así como la sedimentación ocurren en el mismo tanque por lo que resulta económico de espacio).	30	0.067	1.26
	<b>Flexibilidad</b> (produce agua residual óptima en forma continua).	20	0.067	1.22
	<b>Complejidad</b> (es un reactor sencillo que no presenta procesos complicados).	10	0.067	1.17
	<b>Accesibilidad</b> (al no ocupar mucho espacio, su accesibilidad es fácil).	30	0.067	1.26
	<b>Requerimientos de análisis y controles</b> (monitoreo constante de variables que afecten o que sean susceptibles en el proceso de tratamiento).	20	0.067	1.22
	<b>Tratamientos y manejos de subproductos</b> (la retención de biomasa es buena por lo que no es necesario reciclar el lodo).	10	0.067	1.22
ECONÓMICO	<b>Costos de inversión</b> (son bajos comparados con otras tecnologías de tratamiento).	10	0.066	1.16
	<b>Requerimientos de área</b> (requiere un espacio relativamente pequeño)	10	0.066	1.16
	<b>Costos de operación y mantenimiento</b> (son considerados moderados)	10	0.066	1.16
	<b>Vida útil</b>	30	0.066	1.25
	<b>Requerimiento de personal</b> (se requiere de un operador por día y un vigilante).	10	0.066	1.16
AMBIENTAL	<b>Generación de olores.</b>	10	0.067	1.17
	<b>Generación de ruido</b>	10	0.067	1.17
	<b>Impacto visual</b>	10	0.067	1.17
			<b>ITO</b>	<b>14.71</b>

Considerando los aspectos técnicos, económicos y ambientales mediante el índice ITO, la ponderación global indica que aquella con la menor calificación es la tecnología óptima de tratamiento de aguas residuales municipales; por lo tanto, de

acuerdo con los resultados obtenidos la tecnología con menor ITO es el reactor UASB.

**TABLA 4.9. MATRIZ DE EVALUACIÓN PARA LA LAGUNA ANAEROBIA.**

ATRIBUTO	PARÁMETRO	VALOR ASIGNADO P	PESO DE IMPORTANCIA a	P
TÉCNICO	<b>Confiabilidad</b> (AR con alto contenido orgánico y en sólidos).	30	0.067	1.26
	<b>Viabilidad</b> (el proceso de construcción es largo debido a que requiere excavación).	10	0.067	1.17
	<b>Flexibilidad</b> (trata las AR de forma óptima).	20	0.067	1.22
	<b>Complejidad</b> (las operaciones son complejas).	30	0.067	1.26
	<b>Accesibilidad</b> (debido a su gran tamaño es de difícil acceso).	10	0.067	1.17
	<b>Requerimientos de análisis y controles</b> (requiere de un monitoreo más o menos constante).	20	0.067	1.22
	<b>Tratamientos y manejos de subproductos</b> (produce una gran cantidad de lodos).	30	0.067	1.26
ECONÓMICO	<b>Costos de inversión</b> (son altos)	30	0.066	1.25
	<b>Requerimientos de área</b> (requiere de extensas áreas de terreno)	30	0.066	1.25
	<b>Costos de operación y mantenimiento</b> (son bajos)	10	0.066	1.16
	<b>Vida útil</b>	20	0.066	1.22
	<b>Requerimiento de personal</b>	20	0.066	1.22
AMBIENTAL	<b>Generación de olores.</b>	10	0.067	1.17
	<b>Generación de ruido</b>	10	0.067	1.17
	<b>Impacto visual</b>	30	0.067	1.26
			<b>ITO</b>	<b>18.66</b>

**TABLA 4.10. MATRIZ DE EVALUACIÓN PARA EL FILTRO ANAEROBIO.**

ATRIBUTO	PARÁMETRO	VALOR ASIGNADO P	PESO DE IMPORTANCIA a	P
TÉCNICO	<b>Confiabilidad</b> (resiste altas fluctuaciones de caudales, sin embargo, es sensible a AR con alto contenido en sólidos).	30	0.067	1.26

**TABLA 4.10. MATRIZ DE EVALUACIÓN PARA EL FILTRO ANAEROBIO (CONTINUACIÓN).**

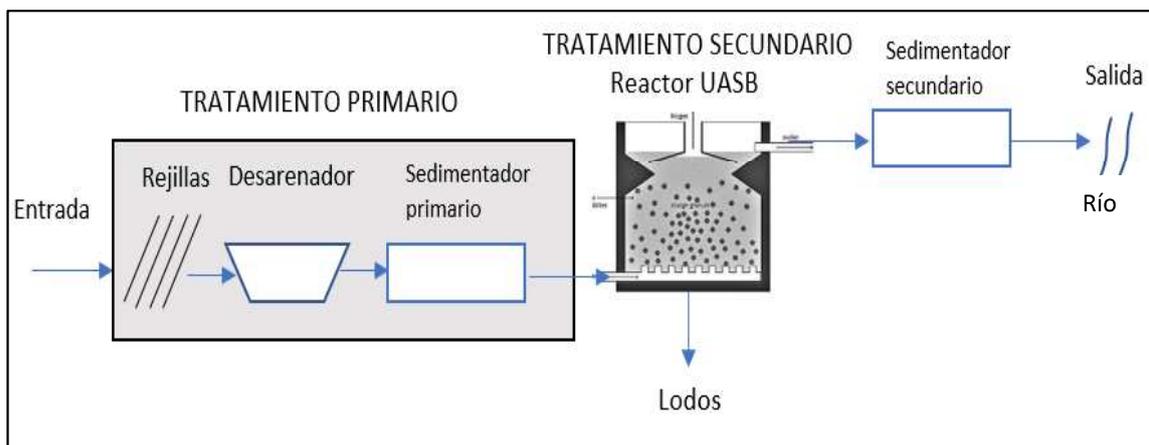
	PARÁMETRO	VALOR ASIGNADO P	PESO DE IMPORTANCIA a	P
TÉCNICO	<b>Viabilidad</b> (el proceso de construcción es corto).	30	0.067	1.26
	<b>Flexibilidad</b> (es recomendable construir una unidad de postratamiento para cumplir con los límites de descarga).	30	0.067	1.26
	<b>Complejidad</b> (contiene procesos sencillos y eficaces).	10	0.067	1.17
	<b>Accesibilidad</b> (al ser una tecnología que pequeño espacio su acceso es fácil).	30	0.067	1.26
	<b>Requerimientos de análisis y controles</b>	20	0.067	1.22
	<b>Tratamientos y manejos de subproductos</b>	10	0.067	1.16
ECONÓMICO	<b>Costos de inversión</b> (son bajos).	10	0.066	1.16
	<b>Requerimientos de área</b> (no requiere de un área extensa de terreno).	10	0.066	1.16
	<b>Costos de operación y mantenimiento</b> (relativamente bajos).	10	0.066	1.16
	<b>Vida útil</b>	30	0.066	1.25
	<b>Requerimiento de personal</b> (requiere de un técnico por día y un vigilante).	10	0.066	1.16
AMBIENTAL	<b>Generación de olores.</b>	10	0.067	1.17
	<b>Generación de ruido</b>	10	0.067	1.17
	<b>Impacto visual</b>	10	0.067	1.17
			<b>ITO</b>	<b>15.12</b>

#### 4.7 PROPUESTA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

De acuerdo con los datos anteriormente analizados la alternativa óptima de tratamiento es el reactor UASB, porque presenta mayor factibilidad técnico, económica y ambiental. Además, según Rodríguez, García & Pardo (2015), tiene igual eficiencia de remoción de contaminantes sólidos suspendidos, DBO, DQO, que un filtro anaerobio con la diferencia de que esta tecnología puede remover conjuntamente nitrógeno, fósforo y coliformes. Como puntos a su favor, esta tecnología es resistente a altas cargas contaminantes, como ocurre con las ARD de las ciudades, además, el consumo de potencia es bajo ya que no requiere de ninguna agitación mecánica, no necesita de material de empaque, eliminando la posibilidad de corto circuitos y obstrucciones, sus costos de inversión, operación y mantenimiento son relativamente bajos en comparación con otras tecnologías de

tratamiento (Ramalho, 2009). La Figura 4.8 muestra el diagrama de la propuesta de tratamiento para las ARD de la ciudad de Guaranda.

**FIGURA 4.8. DIAGRAMA DE LA PROPUESTA DE TRATAMIENTO, 2018.**



Según Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales - SERMANAT y la Comisión Nacional del Agua de México - CONAGUA (2016), en su manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, el volumen para reactores UASB se calculan a partir de la siguiente fórmula:

$$V = Qt_{RH} \quad (14)$$

Donde Q= caudal del afluente y  $t_{RH}$  es el tiempo de retención hidráulica.

SERMANAT y CONAGUA señalan que el  $t_{RH}$  para un reactor UASB se encuentra entre 4 y 9 horas, por lo que se asume un valor 8 horas, para el total de los caudales máximos aforados de las 4 descargas:

$$V = 55 \frac{L}{s} * 8h * \frac{3600s}{1h} = 1584000L = 1584 m^3$$

Por el contrario, si se estima que la población guarandea consume 200 L/d y que el 80% se convierte en residual es decir 160 L/d, entonces tenemos que el caudal de AR para la población guarandea:

$$Q = 160 \frac{L}{d} * 24213 \text{ habitantes} = 3874080 L/d \quad (15)$$

Entonces el volumen para el reactor UASB es de:

$$V = 3874080 \frac{L}{d} * 8h * \frac{1d}{24h} = 1291360 L = 1291 m^3$$

Por lo que se puede observar que ambos valores son relativamente cercanos.

## **CAPÍTULO V.**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

- Las descargas de ARD de la ciudad de Guaranda son vertidas a través de cuatro descargas al mismo cuerpo receptor, en diferentes ubicaciones a lo largo del cauce, denominándose así Marcopamba, Puente Vinchoa, Vivero Municipal y Negroyaco, que actualmente son un foco de contaminación, principalmente de tipo fecal y odoríferas.
  
- Los caudales de las cuatro descargas son variables durante el día, alcanzando su máximo a las 13:00 y 19:00, mientras que los mínimos se presentaron a las 10:00 y 16:00. La descarga de Negroyaco presenta un caudal mayor de 26,03 L/s, debido a la intervención de una vertiente natural, aunque en términos de concentración los valores son los más bajos de todas las descargas.
  
- Las descargas Marcopamba, Puente de Vinchoa y Vivero Municipal presentan valores de DBO<sub>5</sub> y DQO por encima de los límites máximos permisibles para descarga a cuerpos receptores, establecidos en el Anexo 1 del Libro VI del TULSMA, mientras que la descarga de Negroyaco presenta valores cercanos a la norma, debido a la intervención de una vertiente, que diluye la carga contaminante. Las ARD de la ciudad de Guaranda corresponden a AR de concentración media, tienen biodegradabilidad alta y son aptas para un tratamiento biológico.
  
- Las matrices de evaluación de sistemas de tratamiento en base al índice ITO dieron como resultado que la propuesta óptima de tratamiento para las ARD de la ciudad de Guaranda está integrada principalmente por un reactor UASB, el cual se acopla a las características de la zona de estudio y presenta costos de construcción, operación y mantenimiento relativamente bajos.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Para el diseño y construcción de la PTAR, se debería implementar interceptores con separadores de caudal, que dirijan el exceso de caudal al cuerpo receptor, evitando el colapso del caudal de diseño de la PTAR.
- Promover la educación ambiental en la ciudad, ya que muchos de sus pobladores desconocen la problemática de las ARD.
- Ampliar la cobertura del alcantarillado en toda la ciudad para evitar descargas clandestinas en la periferia de la ciudad y a lo largo del río.
- La infraestructura de las descargas debería ser mejorada para prevenir focos de contaminación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altmajer, D. (2004). *Formulaciones detergentes biodegradables: ensayos de lavado* (tesis doctoral). Universidad de Granada, Granada, España.
- APHA., & AWWA., & WCF., (2017), *Standard methods for examination of water and Wastewater*, Washington D.C, USA.
- Arce, A., & Calderón, C., & Tomasini, A., (2000), *Fundamentos técnicos para el muestreo y análisis de aguas residuales*, México, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales & Comisión Nacional del Agua.
- Astudillo, D., & Rikeros, D. (2015). *Diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales generadas en el cantón Durán* (tesis de grado). Escuela Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Brito, G. (2003). *Sistema de tratamiento de las aguas residuales domésticas de la ciudad de Alausí* (tesis de grado). Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Brown, D. (2004). *Guía para el manejo de excretas y aguas residuales municipales*. Centroamérica: PROARCA. Recuperado de [http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d24/085\\_guia\\_aguas\\_residuales/guia\\_aguas\\_residuales%20PROARCA%202004.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d24/085_guia_aguas_residuales/guia_aguas_residuales%20PROARCA%202004.pdf)
- Carrasco, F., & Menéndez, Á. (2010). *Nuevos materiales y tecnologías para el tratamiento del agua*. Andalucía, España. Universidad Internacional de Andalucía. Recuperado de [http://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/3632/2010\\_TratamientoAgua.pdf](http://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/3632/2010_TratamientoAgua.pdf)
- Carrillo, E., & Lozano, A. (2008). *Validación del método de detección de coliformes totales y fecales en agua potable utilizando agar chromocult* (tesis de grado). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua de Sevilla, (2016), *Manual de depuración de aguas residuales urbanas*, Sevilla, España, Ideasmares. Recuperado de <http://alianzaporelagua.org/documentos/MONOGRAFICO3.pdf>

- Comisión Económica para América Latina y el Caribe-CEPAL. (2015). *Panorama Social de América Latina*. Santiago: Cepal.
- Contraloría General del Estado. (2013) (pp. 1-10). Guaranda.
- COOTAD (Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización) (2010). Quito: Asamblea Nacional.
- Constitución de la República del Ecuador (2008). Ciudad Alfaro: Asamblea Constituyente.
- CORPCONSUL. (2007), *Estudio de Impacto Ambiental del Sistema de Alcantarillado de la ciudad de Guaranda*, Guaranda, Ecuador.
- Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda- EMAPAG. (2014). *Reseña histórica*. Recuperado de <http://www.emapag.gob.ec/1/EPEMAPAG/Rese%C3%B1aHist%C3%B3rica.aspx>
- Empresa Pública de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda- EMAPAG, & CORPCONSUL CIA. LTDA, (2007), *Estudios de Factibilidad y Diseño Definitivo de los Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de Guaranda, incluyendo Guanujo*, Guaranda, Ecuador.
- Environmental Protection Agency. (2018). *La escala pH*. Recuperado de: [https://www3.epa.gov/acidrain/education/site\\_students\\_spanish/phscale.html](https://www3.epa.gov/acidrain/education/site_students_spanish/phscale.html)
- Espinoza, M., & León, Y., & Rodríguez, X. (2013). *Problemática de la determinación de especies nitrogenadas (nitrógeno total y amoniacal) en aguas residuales*. Revista CENIC Ciencias Químicas, 44, 1-12.
- FONAG, (2006), *Manual básico para medir caudales*, Ecuador: FONAG. Recuperado de <http://www.bivica.org/upload/medir-caudales-manual.pdf>
- Gallegos, A. (2013). *Dimensionamiento de un sistema de tratamiento aerobio de aguas contaminadas domésticas* (tesis de grado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- García, J. (2017). *Propuesta metodológica de indicadores de evaluación de sustentabilidad de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas orientados al sector rural* (tesis de grado). Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Guaranda. (2015). *Plan De Ordenamiento Territorial del Cantón Guaranda*. Guaranda, Ecuador.

- González, J., & Angulo, P. (2017). *Estimación de los valores per cápita de carga orgánica y factores de generación de agua residual en la urbanización San Miguel municipio de ciudad Sandino y Condominio Palmetto municipio de Nindirí, en el periodo de junio a diciembre de 2016* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- González, M. (2016). *¿Qué es el tratamiento biológico o secundario?* Recuperado de: <http://www.tratamientodelagua.com.mx/que-es-el-tratamiento-biologico-o-secundario/>
- González, A., & Ramírez, J. (2014). *Manual conservación*. Medellín, Colombia: Corantioquia.
- Guerrero, H. (2014). *Rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales de la parroquia Pilahuín, cantón Ambato* (tesis de grado). Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- HACH Company. (2004). *Manual del instrumento: turbidímetro portátil*. USA: HACH Company.
- Henry, G., & Heinke, G. (2004). *Ingeniería ambiental*. México: PRENTICE HALL.
- INEC. (2016). *Estadística de información ambiental económica en gobiernos autónomos descentralizados municipales 2015 (agua y alcantarillado)*. Recuperado de [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas\\_Ambientales/Municipios\\_2015/Documento\\_Tecnico-Gestion\\_de\\_Agua\\_y\\_Alcantarillado\\_2015.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2015/Documento_Tecnico-Gestion_de_Agua_y_Alcantarillado_2015.pdf)
- INEC. (2010). *Población y Demografía*. Recuperado de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>
- INEC. (2016). *Registro de Gestión de Agua Potable y Alcantarillado*. Recuperado de [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas\\_Ambientales/Municipios\\_2016/Documento%20tecnico%20A PA%202016.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2016/Documento%20tecnico%20A PA%202016.pdf)
- Libhaber, M., & Jaramillo, A. O. (2012), *Sustainable Treatment and Reuse of Municipal Wastewater*, Londres, Reino Unido: IWA Publishing.
- MAE. (2015). TULSMA (Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente). Quito: Asamblea Nacional Constituyente.

- Menéndez, C., & Pérez, J, (2007), *Procesos para el Tratamiento Biológico de Aguas Residuales Industriales*, La Havana, Cuba:Universitaria.
- Metcalf & Eddy, (2013), *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse*, New York: McGraw-Hill.
- Morillas, A. (2007). *Muestreo en poblaciones finitas*. Recuperado de [https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2010/1/IN3401/1/material\\_docente/bajar?id\\_material=280296](https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2010/1/IN3401/1/material_docente/bajar?id_material=280296)
- Municipio de Guaranda. (2018). La ciudad. Recuperado 27 de noviembre de 2018, de: <http://www.guaranda.gob.ec/newsiteCMT/la-ciudad/>
- Noyola, A., Morgan, J.M., & Güereca, L. (2013). *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas*. México: UNAM.
- Panachlor. (2016). *Sólidos DisueltosTotales (TDS) y Electroconductividad (EC)*. Colombia: Panachlor.
- Pérez, J, (2003), *Depuración y reutilización de aguas residuales*, España: Cajamar Caja Rural.
- Pérez, J. (2010). *Cálculo del crecimiento de la población*. Recuperado de: <https://apuntesdedemografia.com/curso-de-demografia/temario/tema-3-crecimiento-y-estructura-de-la-poblacion/calculo-del-crecimiento-de-la-poblacion/>
- Ramalho, R, (2009), *Tratamiento de aguas residuales*, México: REVERTÉ S.A.
- Ramas, J. (2014). Métodos disponibles para la medida de la velocidad y el caudal en colectores de saneamiento, aguas residuales y vertidos. *TecnoAgua, Volumen (7)*, p 40-52.
- Rodríguez, J., García, C., & Pardo, J. (2015). *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. Revista Tecnura, Volumen 19 (46)*, p 149. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.4.a12>
- Rojas, R, (2002), *Gestión integral de tratamiento de aguas residuales doméstica*, España: CEPIS & OMS.
- Plan Nacional para el Buen Vivir, (2013), *Construyendo un Estado Plurinacional e Intercultural*, Quito, Ecuador: SENPLADES.

- SERMANAT & CONAGUA, (2016), Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, Mexico: SERMANAT.
- Servicio Nacional para la Sostenibilidad de Servicios en Saneamiento Básico, (2015), *Guía para la toma de muestras de agua residual*, La Paz, Bolivia: PERIAGUA.
- Trapote, A. (2017). Tecnologías de depuración y reutilización: nuevos enfoques. *Agua y Territorio, Volumen 8*, pp. 48. <https://doi.org/10.17561/at.v0i8.3295>
- Universidad Estatal de Bolívar. (2013). *Perfil territorial y análisis de vulnerabilidad del cantón Guaranda*. Guaranda: Universidad Estatal de Bolívar.
- Vega, T. (2016). *Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para el cantón Archidona de la provincia de Napo (tesis de grado)*. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba.
- World Health Organization, (2006), *Guías para la calidad del agua potable*, Geneva: WHO.

## **A. ANEXOS**

**ANEXO N°1.**

**CAUDALES DE ARD DE LAS 4 DESCARGAS DE LA CIUDAD DE GUARANDA**

TABLA A1.1. CAUDALES DE ARD DE LA DESCARGA DE MARCOPAMBA.

HORA	TIEMPO [s]	CAUDAL [L/s]	CAUDAL HORARIO PROMEDIO [L/s]
7h00	2.16	9.26	9.32
	2.26	8.85	
	2.34	8.55	
	1.92	10.42	
	2.10	9.52	
10h00	2.67	7.46	7.53
	2.70	7.14	
	2.63	7.69	
	2.73	7.52	
	2.54	7.81	
13H00	2.50	8.00	7.79
	2.60	7.69	
	2.68	7.46	
	2.44	8.20	
	2.64	7.58	
16H00	2.59	9.39	9.12
	2.68	8.91	
	2.61	9.29	
	2.67	8.86	
	2.62	9.16	
19H00	2.19	9.14	9.36
	2.11	9.47	
	2.19	9.14	
	2.08	9.64	
	2.13	9.41	
<b>CAUDAL PROMEDIO DIARIO [L/s]</b>			8.62

TABLA A1.2. CAUDALES DE ARD LA DESCARGA DE PUENTE DE VINCHOA.

HORA	TIEMPO [s]	CAUDAL [L/s]	CAUDAL HORARIO PROMEDIO [L/s]
7h00	2.88	6.94	7.02
	2.86	6.99	
	2.7	7.41	
	2.78	7.19	
	3.04	6.58	
10h00	4.12	4.92	4.85
	4.28	4.75	
	4.07	4.99	
	4.12	4.88	
	4.29	4.70	
13h00	3.38	9.47	9.75
	3.22	9.94	
	3.12	10.26	
	3.32	9.64	
	3.38	9.47	
16h00	3.48	9.22	9.40
	3.37	9.50	
	3.42	9.36	
	3.38	9.47	
	3.39	9.44	
19h00	3.92	8.16	8.02
	3.98	8.04	
	4	8.00	
	4.16	7.69	
	3.9	8.21	
<b>CAUDAL PROMEDIO DIARIO [L/s]</b>			7.81

**TABLA A1.3. CAUDALES DE ARD DE LA DESCARGA DE VIVERO MUNICIPAL.**

<b>HORA</b>	<b>TIEMPO [s]</b>	<b>CAUDAL [L/s]</b>	<b>CAUDAL HORARIO PROMEDIO [L/s]</b>
7h00	2.19	9.14	9.04
	2.20	9.09	
	2.23	8.96	
	2.25	8.89	
	2.19	9.12	
10h00	2.31	8.71	8.64
	2.36	8.53	
	2.35	8.63	
	2.31	8.70	
	2.33	8.62	
13h00	2.41	8.29	8.25
	2.38	8.40	
	2.41	8.31	
	2.44	8.21	
	2.49	8.04	
16h00	2.60	7.79	7.89
	2.57	7.85	
	2.53	7.98	
	2.59	7.81	
	2.50	8.04	
19h00	2.11	9.47	9.40
	2.17	9.22	
	2.11	9.50	
	2.12	9.44	
	2.14	9.36	
<b>CAUDAL PROMEDIO DIARIO [L/s]</b>			<b>8.64</b>

TABLA A1.4. CAUDALES DE ARD DE LA DESCARGA DE NEGROYACO.

HORA	TIEMPO [s]	CAUDAL [L/s]	CAUDAL HORARIO PROMEDIO [L/s]
7h00	1.14	17.58	16.48
	1.20	16.67	
	1.23	16.33	
	1.25	16.00	
	1.26	15.84	
10h00	0.93	21.68	21.39
	0.94	21.37	
	0.93	21.62	
	0.96	20.94	
	0.94	21.34	
13h00	1.04	19.28	19.34
	1.09	18.39	
	0.99	20.25	
	1.04	19.28	
	1.03	19.51	
16h00	0.90	22.24	21.98
	0.95	21.07	
	0.89	22.56	
	0.88	22.93	
	0.95	21.09	
19h00	0.76	26.23	26.03
	0.71	28.07	
	0.79	25.40	
	0.76	26.23	
	0.83	24.24	
<b>CAUDAL PROMEDIO DIARIO [L/s]</b>			21.05

**ANEXO N°2.**  
**RESULTADOS DE LAS ENCUESTAS SOCIOECONÓMICAS**

TABLA A2.1. GÉNERO DE LOS ENCUESTADOS.

<i>Género</i>	<i>Resultados</i>	<i>Porcentaje %</i>
<i>Hombres</i>	108	28.6
<i>Mujeres</i>	270	71.4
<b><i>Total</i></b>	<b>378</b>	<b>100</b>

TABLA A2.2. EDAD DE LOS ENCUESTADOS.

<i>Edad años</i>	<i>Resultados</i>	<i>Porcentaje %</i>
<i>18 a 20</i>	32	8.5
<i>20 a 30</i>	153	40.5
<i>30 a 40</i>	142	37.6
<i>Mayor a 40</i>	51	13.5
<b><i>Total</i></b>	<b>378</b>	<b>100</b>

TABLA A2.3. CONSUMO DE AGUA EN LOS HOGARES DE ACUERDO CON LOS ENTREVISTADOS.

<i>Consumo de agua por mes (m<sup>3</sup>)</i>	<i>Resultados</i>	<i>Porcentaje %</i>
<i>1 a 5</i>	32	8.5
<i>6 a 10</i>	55	14.6
<i>10 a 15</i>	65	17.2
<i>15 a 20</i>	118	31.2
<i>20 a 30</i>	87	23.0
<i>Mayor a 30</i>	21	5.6
<b><i>Total</i></b>	<b>378</b>	<b>100</b>

TABLA A2.4. PAGO MENSUAL DEL CONSUMO DE AGUA EN DÓLARES.

<i>Pago en \$ USD</i>	<i>Resultados</i>	<i>Porcentaje %</i>
<i>1 a 6</i>	86	22.8
<i>7 a 10</i>	162	42.9
<i>11 a 20</i>	98	25.9
<i>20 a 25</i>	21	5.6
<i>26 a 30</i>	11	2.9
<b><i>Total</i></b>	<b>378</b>	<b>100</b>

**TABLA A2.5. CALIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SEGÚN ENCUESTADOS.**

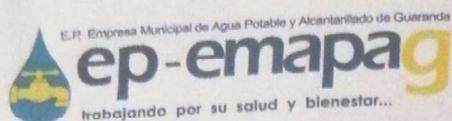
<i>Calidad del funcionamiento del sistema de alcantarillado</i>	<i>Resultados</i>	<i>Porcentaje %</i>
<i>Bueno</i>	280	74.1
<i>Regular</i>	86	22.8
<i>Malo</i>	12	3.2
<b><i>Total</i></b>	<b>378</b>	<b>100</b>

**TABLA A2.6. CAUSAS DEL MAL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SEGÚN LOS ENCUESTADOS.**

<i>Causas del mal funcionamiento del S.A</i>	<i>Resultados</i>	<i>Porcentaje %</i>
<i>Malos olores</i>	173	45.8
<i>Desbordamiento del agua</i>	86	22.8
<i>Presencia de vectores</i>	65	17.2
<i>Otros</i>	54	14.3
<b><i>Total</i></b>	<b>378</b>	<b>100</b>

**ANEXO N°3.**

**AVAL DE TESIS PARA ENSAYOS DE LABORATORIO EN LA EMAPAG**



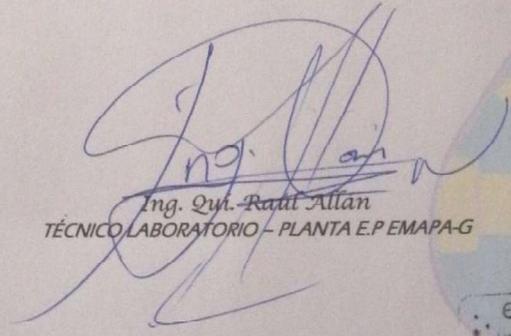
SISTEMA CHAQUISHCA  
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

Oficio No. 001 – LAB – E.P – EMAPA-G – 2018  
Guaranda 23 de agosto del 2018

Ing. Ximena Hidalgo  
Decana de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental  
En su despacho.-

Luego de expresarle un cordial saludo me permito poner en su conocimiento que la E.P – EMAPA-G proporcione los reactivos e implementos necesarios para realizar los ensayos físicos, químicos y microbiológicos para la caracterización de las aguas residuales domésticas de la ciudad de Guaranda, mismos que fueron realizados en el Sistema Chaquishca, específicamente en el laboratorio de control de calidad los cuales fueron ejecutados por la Señorita Michelle Katherine Naranjo Taco dentro de las instalaciones de la EMAPA-G.

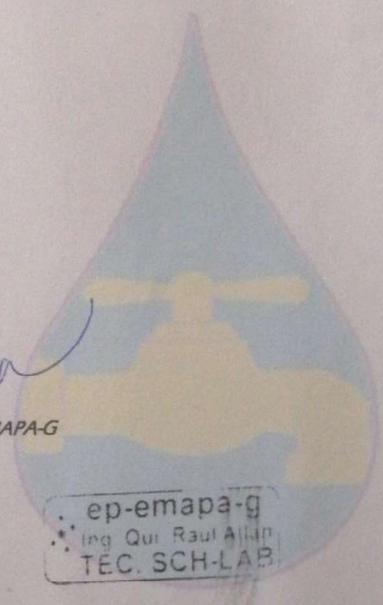
Cordialmente,



Ing. Qui. Raul Allan  
TÉCNICO LABORATORIO – PLANTA E.P EMAPA-G

Lab/Sec.  
cc: Arch.

Celular: 0990116088  
Convencional: 032206829



ep-emapa-g  
Ing Qui Raul Allan  
TEC. SCH-LAB

**ANEXO N°4. MODELO DE ENCUESTA  
SOCIOECONÓMICA.**



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**  
**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL**  
**MICHELL KATERINE NARANJO TACO**

**ENCUESTA SOCIAL**

**DATOS GENERALES DE IDENTIFICACIÓN**

SECTOR:.....

NOMBRE:.....

FECHA:.....

**Por favor, colocar una X en la casilla de respuesta. ¡¡¡Muchas gracias!!!**

1. Sexo: Masculino ( )  
 Femenino ( )

2. Edad del entrevistado:

- 18 a 20 ( )
- 20 a 30 ( )
- 30 a 40 ( )
- >40 ( )

3. ¿Cuántos m<sup>3</sup> consume de agua al mes?

- 1 a 5 ( )
- 5 a 10 ( )
- 10 a 15 ( )
- 15 a 20 ( )
- 20 a 30 ( )
- >30 ( )

4. ¿Cuántos dólares USD paga usted mensualmente por agua?

(Ver última planilla)

- 1 a 6
- 7 a 10
- 11 a 20
- 20 a 25
- 26 a 30

5. ¿Está usted satisfecho con el sistema de eliminación de aguas servidas que posee?

Sí ( )                      No ( )

6. ¿Ha notado usted la presencia de aguas servidas en su barrio

Sí ( )                      No ( )

7. ¿Conoce usted que las aguas servidas de la ciudad de Guaranda están contaminando el río Guaranda y los perjuicios que conlleva?

Sí ( )                      No ( )

8. En el caso de instalación de una red de recolección de aguas servidas para luego tratarlas, ¿se conectaría usted a dicha red?

Sí ( )                      No ( )

9. ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar cada mes por el servicio propuesto? \$.....

.....  
**Firma de la persona entrevistada**