

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES  
DE LA “ZONA B” DE SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS**

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

**HILDA ISABEL PAZMIÑO LEMA**  
isabel5noviembre@hotmail.com

**MARJORIE SAMANTA VILLAMARÍN AYALA**  
marjo16@hotmail.es

**DIRECTOR: ANA LUCÍA BALAREZO AGUILAR, PhD.**  
ana.balarezo@epn.edu.ec

**Quito, Septiembre 2018**

## **DECLARACIÓN**

Nosotras, Hilda Isabel Pazmiño Lema y Marjorie Samanta Villamarín Ayala, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado previamente para ningún grado o calificación profesional; y que hemos 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 vigente.

---

**HILDA ISABEL  
PAZMIÑO LEMA**

---

**MARJORIE SAMANTA  
VILLAMARÍN AYALA**

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Hilda Isabel Pazmiño Lema y Marjorie Villamarín Ayala, bajo mi supervisión.

---

**ANA LUCÍA BALAREZO AGUILAR, PhD.  
DIRECTORA DEL PROYECTO  
DE TITULACIÓN**

## AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios, por estar a mi lado en cada paso que he dado hasta hoy, por guiarme y darme fuerza en todo momento.

A mi madre, por su paciencia, fortaleza, valentía, y sobre todo amor, por tener siempre un consejo y palabras de aliento, por ser ante todo mi mejor amiga y confidente, sin ti esto no sería posible.

A mi padre, por su esfuerzo, sacrificio y entrega en sus largas horas de trabajo, para que yo pueda cumplir el sueño de ser una profesional, por siempre estar orgulloso de mi.

A mis tías Edith, Enma y Olgi, por su apoyo y amor incondicional desde que tengo memoria.

A mi compañera de tesis, Marjorie, porque iniciamos juntas el desarrollo de este proyecto, y gracias al esfuerzo y dedicación de las dos logramos culminarlo. Gracias también a tus papis por el apoyo que nos brindaron en la realización de este proyecto.

A todos mis amigos por todos los buenos y malos momentos que compartimos, porque la vida nos hizo encontrarnos en diferentes momentos de la vida universitaria y cada uno aportó algo bueno a mí vida a Dianita, Andre, Gaby Lu, Cinty, Silvi, Gaby, Jaque, Hamil, Dianita T. y Alexita, por sus locuras y por tantos momentos de risa.

A la Doctora Ana Lucía Balarezo, por su apoyo en la realización de este proyecto, y por el aporte de sus conocimientos a lo largo de toda la carrera.

Finalmente, a la Escuela Politécnica Nacional y al personal docente por todos los conocimientos impartidos en el transcurso de mi carrera.

## AGRADECIMIENTO

***Un corazón agradecido no sólo es la mayor virtud, es la madre de todas las demás virtudes (Marco Tulio Cicerón).***

A Dios, por todas las bendiciones que me da a diario, por la sabiduría y las fuerzas para seguir adelante en cada etapa de mi vida y de esta manera cumplir todos mis sueños.

A mis padres Cecilia y Robert, por su esfuerzo, dedicación, apoyo incondicional y por todo su amor. Gracias por ser los principales pilares de mi vida, gracias a ustedes soy quien soy, hoy en día. Dios los llene de bendiciones por su paciencia durante toda mi carrera y especialmente en la elaboración de este proyecto de titulación que tuvo sus altos y bajos. Gracias de todo corazón.

A mis hermanos, Inés, Robert y Liliana, y a Darío por sus consejos y por los ánimos que me dieron día a día para seguir adelante. Gracias por haberme apoyado en todo lo que pudieron, por ser mi ejemplo a seguir, porque ustedes me han demostrado que con esfuerzo y perseverancia todos los sueños son posibles.

A Cristian, mi amigo y novio que estuvo conmigo desde que inicie mis estudios universitarios, gracias por ser un gran apoyo en esos momentos de flaqueza y darme ánimos para no desistir. Por ser mi compañerito de vida y de aventuras.

A Isabel, amiga hermosa muchas gracias por ser más que una amiga mi hermana y confidente durante toda nuestra carrera, por esa lucha que juntas demostramos para poder lograr este sueño tan hermoso de convertirnos en ingenieras.

A todos los loquitos de mis amigos: Dianita R, Andrea, Gaby T, Gaby M, Cynthia, Jacque, Dianita T, Alexita, Pablito, Hamilton y Carito por su hermosa amistad y por esos momentos de risa que juntos compartimos.

A la Doctora Ana Lucía Balarezo, por ser nuestra principal guía y apoyo durante la realización de este proyecto, impartiéndonos sus conocimientos. A La Escuela Politécnica Nacional, institución que me formó profesionalmente y convirtió de esto, mi más grata y hermosa experiencia. Gracias totales.

## DEDICATORIA

A mis padres por todo su esfuerzo y apoyo incondicional no solo en este proyecto, sino a lo largo de mi vida, por ser mis pilares, este triunfo es nuestro.

A mi tío Carlos, quien no pudo verme convertida en ingeniera, pero me acompaña siempre desde el cielo.

**Isa**

## DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis padres Cecilia y Robert, que con su ejemplo de esfuerzo constante me demostraron que todos los sueños son posibles. Por su gran sacrificio que día a día hicieron para que me pueda convertir en profesional y en una persona correcta y educada. Por brindarme su amor y comprensión en cada momento y especialmente por regalarme su confianza. Gracias por darme la mejor herencia que es la educación. Todo lo logrado lo hicimos juntos y desde el fondo de mi corazón mami y papi mil gracias. Misión cumplida, no los defraudé y no lo haré nunca; los amo y gracias por todo.

A mis hermanos, par de loquitos míos Inés y Robert, este también es su logro porque estuvieron conmigo siempre a pesar de todo me apoyaron en todo. Porque a través de sus éxitos y sueños cumplidos fueron mi ejemplo a seguir y los admiro y lo haré siempre. Inés gracias por ser como mi segunda madre, por tus regaños y consejos y sobre todo por amarme como yo a ti. Robert, gracias por regalarme mil sonrisas cuando estaba estresada y por tus ocurrencias a cada momento, y aunque ya eres padre de mi hermoso sobrino Juliancito seguirás siendo mi pequeño hermanito, a los tres los amo.

No me puedo olvidar de ti, mi hermoso angelito que te encuentras en el cielo. Tío Ronald este proyecto te lo dedico, porque tú enseñaste a toda tu familia el significado de lo que es un verdadero guerrero, esa lucha constante hasta el último día de tu vida. Un abrazo y un beso, esto es para ti.

Mi compañerito amado Cristian, dedico esto también para ti, porque supiste estar alentándome siempre en las buenas y malas, secando en algunas ocasiones mis lágrimas y por formar parte de mis locuras.

Finalmente, a mi segundo hogar la Escuela Politécnica Nacional por su excelente formación humana y profesional. Un orgullo haber pertenecido a esta honorable institución.

**MARJORIE**

## CONTENIDO

DECLARACIÓN-----	I
CERTIFICACIÓN-----	III
AGRADECIMIENTO-----	IV
AGRADECIMIENTO-----	V
DEDICATORIA-----	VI
DEDICATORIA-----	VII
CONTENIDO-----	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS-----	XII
ÍNDICE DE TABLAS-----	XV
SIMBOLOGÍA Y SIGLAS-----	XVII
RESUMEN-----	XVIII
ABSTRACT-----	XX
PRESENTACIÓN-----	XXII
CAPÍTULO I-----	1
1. INTRODUCCIÓN-----	1
1.1 ANTECEDENTES-----	1
1.1.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO-----	2
1.1.2 UBICACIÓN-----	3
1.1.3 CLIMA-----	3
1.1.4 HIDROLOGÍA-----	5
1.1.5 EDAFOLOGÍA-----	5
1.1.6 FLORA Y FAUNA-----	6
1.1.7 POBLACIÓN-----	7
1.2 OBJETIVOS-----	10
1.2.1 OBJETIVO GENERAL-----	10
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS-----	10
1.3 ALCANCE-----	10
1.4 JUSTIFICACIÓN-----	11



CAPÍTULO II-----	12
2. MARCO TEÓRICO -----	12
2.1 AGUAS RESIDUALES -----	12
2.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES -----	12
2.1.2 COMPOSICIÓN TÍPICA DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA -----	14
2.2 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES -----	14
2.2.1 TRATAMIENTO PRIMARIO-----	16
2.2.2 TRATAMIENTO SECUNDARIO -----	17
2.2.3 TRATAMIENTO TERCIARIO -----	20
2.3 MARCO LEGAL APLICABLE -----	21
CAPÍTULO III-----	24
3. METODOLOGÍA-----	24
3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO-----	24
3.1.1 VISITAS TÉCNICAS Y ENCUESTAS -----	25
3.2 AFORO Y CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES -----	29
3.2.1 GEORREFERENCIACIÓN DE LAS DESCARGAS DE AGUA RESIDUAL-----	29
3.2.2 MEDICIÓN DE CAUDALES DE LAS DESCARGAS-----	29
3.2.3 MUESTREO COMPUESTO DE LAS DESCARGAS-----	33
3.2.4 CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES-----	35
3.3 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO-----	53
3.3.1 ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO APLICABLES A LA ZONA DE ESTUDIO-----	54
3.3.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN -----	55
CAPÍTULO IV-----	59
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN-----	59
4.1 DIAGNÓSTICO SOBRE LOS NIVELES DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA RESIDUAL EN LA “ZONA B”-----	59
4.1.1 RESULTADO DE LA ENCUESTA A LOS MORADORES DE LA ZONA -----	59
4.1.2 MANEJO ACTUAL DE LAS AGUAS RESIDUALES -----	64
4.2 RESULTADOS DE LA MEDICIÓN DE CAUDALES -----	66
4.2.1 CAUDALES HORARIOS DE LAS DESCARGAS-----	66
4.2.2 CAUDALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS -----	68

4.3 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL -----	72
4.3.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS -----	72
4.3.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS -----	75
4.3.3 CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS -----	79
4.4 CARGA CONTAMINANTE EN LA “ZONA B” DE SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS -----	81
4.4.1 DETERMINACIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE DE LAS DESCARGA--	81
4.4.2 PRINCIPALES APORTES DE CARGA CONTAMINANTE -----	83
4.5 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA ÓPTIMA DE TRATAMIENTO DE AR -----	85
4.5.1 MATRICES DE SELECCIÓN -----	85
4.6 PROPUESTA DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES -----	91
4.6.1 DESCRIPCIÓN DEL TRATAMIENTO -----	91
4.6.2 BASES DE DISEÑO -----	97
4.6.4 COSTOS -----	104
4.6.5 IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES -----	106
CAPÍTULO V -----	120
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----	120
5.1 CONCLUSIONES -----	120
5.2 RECOMENDACIONES -----	122
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	124
ANEXOS -----	134
ANEXO N°1: -----	135
CAUDALES DE LAS 6 DESCARGAS DE AGUA RESIDUAL DE LA ZONA B -----	135
ANEXO N°2 -----	142
FORMATO DE ENCUESTA -----	142
ANEXO N°3 -----	144
PESOS DE CRISOLES PARA LA DETERMINACIÓN DE ST, SD Y SS -----	144
ANEXO N°4 -----	146
VOLÚMENES DE MUESTRA EN FUNCIÓN DE LA DBO <sub>5</sub> ESPERADA Y VALORES OBTENIDOS DEL EQUIPO OXYTOP -----	146
ANEXO N°5 -----	148

VALORES DE ABSORBANCIA Y CURVA DE CALIBRACIÓN PARA DETERMINACIÓN DE TENSOACTIVOS-----	148
ANEXO N°6-----	150
RESULTADOS DE ANÁLISIS DE ACEITES GRASAS Y NITRÓGENO KJELDAHL	150
ANEXO N°7-----	153
RESULTADOS DE PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DE LAS 6 DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN LOS 2 MUESTREOS -----	153
ANEXO N°8-----	156
TABLAS DE MAGNITUD E IMPORTANCIA PARA LA DETERMINACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL-----	156

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA DE LA PROVINCIA DE SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS.....	3
FIGURA 1.2 CLIMOGRAMA DE LA CIUDAD DE SANTO DOMINGO, 2016 .....	5
FIGURA 1.3 ACTIVIDADES ECONÓMICAS DE LOS HABITANTES DE SANTO DOMINGO, 2010. ....	8
FIGURA 1.4 TENDENCIA DE VIVIENDA EN SANTO DOMINGO, 2010.....	9
FIGURA 1.5 ACCESO A SERVICIOS BÁSICOS EN SANTO DOMINGO, 2010. ...	9
FIGURA 2.1 NIVELES DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS. ....	15
FIGURA 2.2 PROCESO DE LODOS ACTIVADOS .....	18
FIGURA 2.3 SISTEMA DE LAGUNAJE .....	19
FIGURA 2.4 REACTOR UASB .....	20
FIGURA 3.1 DELIMITACIÓN ZONAL DE LA CIUDAD DE SANTO DOMINGO, 2018.....	24
FIGURA 3.2 PUNTOS DE DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS, DE LA “ZONA B”, MARZO 2018.....	25
FIGURA 3.3 REALIZACIÓN DE ENCUESTAS A LOS MORADORES ADYACENTES A LAS DESCARGAS, MARZO 2018. ....	28
FIGURA 3.4 MEDICIÓN DE CAUDALES DE LAS DESCARGAS DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA DE LA “ZONA B”. ....	31
FIGURA 3.5 MUESTREO COMPUESTO DE LAS DESCARGAS DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA DE LA “ZONA B”, ABRIL 2018. ....	34
FIGURA 3.6 CONOS IMHOFF CON MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL DE LA “ZONA B”, ABRIL 2018. ....	37
FIGURA 3.7 CRISOLES DE PORCELANA Y DESECADOR .....	39
FIGURA 3.8 CRISOLES DE PORCELANA Y FILTROS.....	42
FIGURA 3.9 DIGESTOR HACH DRB 200 CON LOS VIALES DE DQO Y ESPECTROFOTRÓMETRO HACH DR 2700 CON LOS VIALES DE DQO. ....	43
FIGURA 3.10 EQUIPO OXYTOP UTILIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE DBO <sub>5</sub> .....	45
FIGURA 3.11 DIGESTIÓN DE MUESTRAS PARA DETERMINACIÓN DE FÓSFORO TOTAL.....	46
FIGURA 3.12 EMBUDOS DE SEPARACIÓN CON MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA Y EXTRACCIÓN DE FASES. ....	48

FIGURA 3.13 MUESTRA DE CALDO LACTOSADO ANTES Y DESPUÉS DE LA INCUBACIÓN. ....	51
FIGURA 3.14 TUBOS CON MEDIO EC ANTES DE LA RESIEMBRA Y TUBOS POSITIVOS DE LA PRUEBA CONFIMATIVA PARA CF. ....	52
FIGURA 3.15 ESQUEMA DEL BALANCE DE MASA.....	53
FIGURA 4.1 ACCESO A VIVIENDA EN LA POBLACIÓN DE LA “ZONA B”, ABRIL 2018.....	60
FIGURA 4.2 COBERTURA DE SERVICIOS BÁSICOS EN LA POBLACIÓN DE LA “ZONA B”, ABRIL 2018. ....	60
FIGURA 4.3 ABASTECIMIENTO DE AGUA EN LA “ZONA B”, ABRIL 2018. ....	61
FIGURA 4.4 COBERTURA DE ALCANTARILLADO EN LA “ZONA B”, ABRIL 2018.....	61
FIGURA 4.5 DISPOSICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS EN LA “ZONA B”, ABRIL 2018.....	62
FIGURA 4.6 PERCEPCIÓN DE LA POBLACIÓN SOBRE LA AFECTACIÓN A LA SALUD POR LA DISPOSICIÓN ACTUAL DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	62
FIGURA 4.7 IMPACTO AL MEDIO AMBIENTE POR DISPOSICIÓN ACTUAL DE AGUAS RESIDUALES EN LA “ZONA B”, ABRIL 2018. ....	63
FIGURA 4.8 IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA “ZONA B”, ABRIL 2018. ....	63
FIGURA 4.9 PAGO MENSUAL PARA EL SERVICIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA “ZONA B”, ABRIL 2018. ....	64
FIGURA 4.10 DESCARGA DIRECTA DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS HACIA CUERPOS RECEPTORES EN LA "ZONA B", MARZO 2018.....	65
FIGURA 4.11 POZO SÉPTICO DE LA COOPERATIVA LOS ALMENDROS, MARZO 2018. ....	66
FIGURA 4.12 CAUDALES HORARIOS DE LAS DESCARGAS, “ZONA B”, ABRIL 2018.....	67
FIGURA 4.13 CAUDALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS EN LA DESCARGA UBICADA EN LA LOTIZACIÓN SAN JUAN SAN PABLO, ABRIL 2018.....	68
FIGURA 4.14 CAUDALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS EN LA DESCARGA URBANIZACIÓN NAPOLEÓN RUIZ, ABRIL 2018. ....	69
FIGURA 4.15 CAUDALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS EN LA DESCARGA COOPERATIVA LA PAQUISHA, ABRIL 2018.....	69
FIGURA 4.16 CAUDALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS EN LA DESCARGA BARRIO SANTA MARTHA SECTOR 4, ABRIL 2018. ....	70
FIGURA 4.17 CAUDALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS EN LA DESCARGA ASISTENCIA MUNICIPAL, ABRIL 2018. ....	71

FIGURA 4.18 CAUDALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS EN LA DESCARGA COOPERATIVA LOS ALMENDROS, ABRIL 2018.....	71
FIGURA 4.19 APORTE DE CARGA CONTAMINANTE DE LAS SEIS DESCARGAS DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA DE LA “ZONA B”.....	84
FIGURA 4.20 DIAGRAMA DE FLUJO DE LODOS ACTIVADOS PARA LA “ZONA B”.....	91

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1 CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA SANTO DOMINGO AEROPUERTO.....	4
TABLA 2.1 CONTAMINANTES DE IMPORTANCIA EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL MUNICIPAL.....	13
TABLA 2.2 COMPOSICIÓN TÍPICA DE CONTAMINANTES EN AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA.....	14
TABLA 2.3 LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE, (TULSMA, 2015). .....	23
TABLA 3.1 COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE LAS DESCARGAS DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA, EN LOS SECTORES DE LA “ZONA B” DE LA CIUDAD DE SANTO DOMINGO, 2018. ....	29
TABLA 3.2 FECHAS DE DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES DE LA “ZONA B”, 2018. ....	30
TABLA 3.3 CAUDALES DIARIOS DE LA DESCARGA DE LA LOTIZACIÓN SAN JUAN SAN PABLO, 2018.....	32
TABLA 3.4 PARÁMETROS MEDIDOS EN CAMPO .....	35
TABLA 3.5 VIABILIDAD DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO PARA LA "ZONA B". .....	54
TABLA 4.1 CAUDALES DE LAS SEIS DESCARGAS DE ARD, “ZONA B”, ABRIL 2018.....	66
TABLA 4.2 PARÁMETROS FÍSICOS DE LAS SEIS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA “ZONA B”, MARZO - ABRIL 2018. ....	72
TABLA 4.3 PARÁMETROS QUÍMICOS DE LAS SEIS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA “ZONA B”, MARZO - ABRIL 2018. ....	76
TABLA 4.4 PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS DE LAS SEIS DESCARGAS DE LA ZONA B, MARZO - ABRIL 2018. ....	80
TABLA 4.5 CARGAS CONTAMINANTES DE LAS SEIS DESCARGAS DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA DE LA “ZONA B”, ABRIL 2018. ....	82
TABLA 4.6 MATRIZ DE EVALUACIÓN PARA LODOS ACTIVADOS CONVENCIONAL. ....	85
TABLA 4.7 MATRIZ DE EVALUACIÓN PARA LODOS ACTIVADOS CON AIREACIÓN EXTENDIDA. ....	87
TABLA 4.8 MATRIZ DE EVALUACIÓN PARA REACTOR UASB. ....	89
TABLA 4.9 APORTES PER CÁPITA ACTUALES DE LA “ZONA B”. ....	103
TABLA 4.10 APORTES PER CÁPITA FUTUROS DE LA "ZONA B".....	103
TABLA 4.11 ANÁLISIS DE COSTOS PARA LA PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS.....	105

TABLA 4.12 MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE IMPACTOS  
AMBIENTALES .....108



## SIMBOLOGÍA Y SIGLAS

**%:** Porcentaje

**CICAM:** Centro de Investigación y Control Ambiental

**DBO:** Demanda Bioquímica de Oxígeno

**DQO:** Demanda Química de Oxígeno

**EPA:** Environmental Protection Agency

**GAD:** Gobierno Autónomo Descentralizado

**INAMHI:** Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

**INEC:** Instituto Nacional de Estadísticas y Censos

**LDIA:** Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental

**PDOT:** Plan de Ordenamiento Territorial

**PTAR:** Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

**SD:** Sólidos Disueltos

**SENAGUA:** Secretaria Nacional del Agua

**SS:** Sólidos Suspendidos

**TULSMA:** Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente

**UASB:** Upflow Anaerobic Sludge Blanket

## RESUMEN

El presente proyecto desarrolla una propuesta de tratamiento para las aguas residuales de la “Zona B”, de la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas. Actualmente, las descargas de esta zona no cuentan con un sistema de tratamiento y son vertidas directamente en los ríos aledaños, afectando a la salud de sus habitantes y al medio ambiente.

Se inició con la recopilación de información secundaria en el GAD Municipal de Santo Domingo, a fin de ubicar los puntos de descargas de agua residual; seguidamente se realizaron varias visitas técnicas al sitio para constatar la accesibilidad, morfología de las riveras y curso hídricos o vertientes receptores de las descargas. Seguidamente, se aplicaron encuestas socio-económicas y ambientales, a los habitantes localizados adyacentes a las descargas, para conocer su percepción y situación actual respecto al manejo de las aguas residuales.

Una vez georreferenciadas las descargas, se aforaron los caudales horarios en cada una, iniciando a las 7:30 hasta las 17:30, en intervalos de una hora, con un pico máximo de 0,6764 L/s, perteneciente a la descarga ubicada en la Lotización San Juan-San Pablo y un pico mínimo de 0,0649 L/s, correspondiente a la descarga ubicada en la Cooperativa Los Almendros. Posteriormente se realizaron dos muestreos compuestos en cada descarga, para su posterior caracterización física, química y microbiológica.

De la caracterización se determinó que cinco de las seis descargas de aguas residuales se encuentran fuera de los límites máximos permisibles para ser descargadas en cuerpos receptores, establecidos en el TULSMA (2015). Adicionalmente, se determinó la carga contaminante individual por descarga y la total, en términos de SS, DBO, DQO, NT, y PT, siendo la descarga ubicada en el barrio Santa Martha sector 4, la de mayor magnitud con 6,35; 10,85; 18,26; 0,51 y

0,44 kg/día, respectivamente; mientras que la descarga ubicada en la Urbanización Napoleón Ruiz, presentó las menores cargas contaminantes: 0,12; 0,03; 0,08; 0,02 y 0,02 kg/día, respectivamente.

En base a información obtenida bibliográficamente se determinó que las mejores opciones de depuración de las aguas residuales domésticas de la “Zona B”, eran los tratamientos biológicos. Sin embargo, se consideraron solamente: sistemas de lodos activados convencionales, lodos activados con aireación extendida, reactores de lecho de lodos UASB, sistemas lagunares y humedales artificiales; descartando posteriormente a las dos últimas, debido a las limitaciones de espacio en la ciudad de Santo Domingo. Posteriormente se analizó la viabilidad técnica, económica y ambiental, de las tres opciones restantes, mediante el uso de matrices de selección, dando como opción óptima el tratamiento de lodos activados convencionales.

Finalmente, se determinó que el tren de tratamiento para depurar las aguas residuales domésticas de la “Zona B”, conste de un pretratamiento conformado por cribado y desarenador, un tratamiento primario constituido por un sedimentador primario, un tratamiento secundario conformado por un reactor biológico de lodos activados convencional y un sedimentador, y un proceso de desinfección, además de un tratamiento paralelo para los lodos generados en las unidades.

## ABSTRACT

In the present project, a wastewater treatment proposal for the zone B of the Santo Domingo de los Tsáchilas city is developed. Nowadays, the discharges of this area do not have a treatment system, and they are discharged directly in the surrounding rivers, impacting the health of the habitants and the environment.

The first step was the collection of second hand data in the Municipal government of the Santo Domingo de los Tsáchilas to locate the places where the wastewater is discharged. Subsequently, numerous field visits were conducted in order to determine the accessibility to the discharge points. Socio-economic surveys were completed by the local habitants that lived nearby the discharges to understand their perception and the actual situation with respect to the wastewater management in the area.

Once the discharges were georeferenced, the hourly flows in each one were gauged, beginning at 7:30 am until 5:30 pm, at intervals of one hour, with a maximum peak of 0.6764 L/s, pertaining to the discharge located in the San Juan-San Pablo and a minimum peak of 0.0649 L/s, corresponding to the discharge located in the Cooperativa Los Almendros. Subsequently, two composite samples were taken in each discharge, for their subsequent physical, chemical and microbiological characterization.

From the characterization, it was determined that five of the six discharges of wastewater are outside the maximum permissible limits to be discharged into receiving bodies, established in the TULSMA (2015). Additionally, the individual pollutant load was determined by discharge and the total, in terms of SS, BOD, COD, NT, and PT, with the discharge located in the Santa Martha neighborhood, sector 4, the largest with 6.35; 10.85; 18.26; 0.51 and 0.44 kg / day, respectively; while the discharge located in the Napoleon Ruiz Urbanization, presented the lowest pollutant loads: 0.12; 0.03; 0.08; 0.02 and 0.02 kg / day, respectively.

Based on information obtained bibliographically, it was determined that the best options for purification of domestic wastewater from "Zone B" were biological treatments. However, only considered: conventional activated sludge systems,

activated sludge with extended aeration, UASB sludge bed reactors, lagoon systems and artificial wetlands; discarding later to the last two, due to space limitations in the city of Santo Domingo. Subsequently, the technical, economic and environmental viability of the three remaining options was analyzed through the use of selection matrices, giving as an option the treatment of conventional activated sludge.

Finally, it was determined that the treatment train to purify domestic wastewater of "Zone B" consists of a pre-treatment consisting of screening and sand trap, a primary treatment consisting of a primary settler, a secondary treatment consisting of a biological reactor of conventional activated sludge and a settler, and a disinfection process, in addition to a parallel treatment for the sludge generated in the units.

## PRESENTACIÓN

El presente trabajo de titulación se ha estructurado en cinco capítulos conformados de la siguiente manera:

El capítulo 1, hace referencia a los aspectos generales del proyecto de titulación como son los objetivos general y específicos, el alcance, justificación del proyecto e información relevante de la zona de estudio.

El capítulo 2, presenta una revisión bibliográfica de las aguas residuales, tipo y características, además de los procesos de tratamientos existentes y el marco legal nacional y local, aplicables al tema.

En el capítulo 3, se detalla la metodología utilizada para realizar la parte experimental del presente trabajo, como son la georreferenciación de los puntos de descarga de las ARD de la “Zona B”, el aforo, muestreo compuesto y los procedimientos de caracterización físico-químico y microbiológico. Además, se explica los criterios para la selección de alternativas de tratamiento de las ARDs para la “Zona B”.

El capítulo 4, expone la discusión de resultados de la encuesta, los caudales y caracterización físico-química y microbiológica de las seis de las descargas, ubicadas en la “Zona B”, así como la carga contaminante y población equivalentes, respectivamente. Las características y parámetros in situ, caudales. Además se exponen los resultados de la caracterización física, química y microbiológica de las seis descargas, también la determinación de las cargas contaminantes de las mismas, posterior a ello, se muestra la selección de la alternativa óptima, y la descripción de la propuesta de tratamiento para la “Zona B” de Santo Domingo.

Finalmente, el capítulo 5 muestra las conclusiones y recomendaciones de este proyecto.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 ANTECEDENTES

Según la UNESCO (2017), en países en vías de desarrollo, alrededor del 80% de las aguas residuales son descargadas directamente a los cuerpos hídricos sin recibir ningún tipo de tratamiento. En el Ecuador, el 61,9% de los municipios ejecutan algún tipo de depuración de aguas residuales (INEC, 2016). Además, existen frecuentes iniciativas para la realización de plantas de tratamiento en zonas rurales y periurbanas del país (EPMAPS, 2014).

En zonas con importante densidad poblacional, que tienen a su disposición sistemas de alcantarillado, como son las ciudades de Cuenca, Portoviejo, Guayaquil y Quito, en la actualidad cuentan parcialmente con sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales, cuyas tecnologías se basan en lodos activados, lagunas de oxidación y filtros anaerobios. Mientras que en zonas dispersas, que carecen de sistemas de alcantarillado, se ha adoptado sistemas no convencionales, tales como, humedales artificiales, biofiltros, vermifiltros, entre otros (García, 2018).

Debido al grave impacto ambiental que generan las descargas de aguas residuales, en los cuerpos receptores de bajo caudal, los gobiernos locales del país (GADs), han visto la necesidad de implementar sistemas de depuración acorde con la realidad socio-económica y ambiental local, y elaborar instrumentos de planificación de incidencia relacionados con la competencia de gestión de la ARDs.

En la actualidad, se encuentran terminados los estudios finales para la construcción del sistema de alcantarillado, interceptores, colectores y planta de tratamiento de aguas residuales de la “Zona B”, de la ciudad de Santo Domingo,

para el mejoramiento de la calidad de los ríos Pove y Code (GAD de Santo Domingo, s.f.).

En el informe de Velasco (2010), sobre “Caracterización de los ríos de Santo Domingo”, se menciona, que la contaminación de los ríos es causada por los asentamientos humanos informales a sus orillas, puesto que carecen de instalaciones adecuadas de saneamiento. Además, influyen otros factores externos como: lubricadoras y lavadoras de vehículos, urbanizaciones, cooperativas de viviendas, haciendas ganaderas, empresas de faenamiento de ganado vacuno y porcino que vierten las aguas residuales de forma directa a los cuerpos hídricos ocasionando problemas en el ambiente y en la salud de los habitantes.

En la actualidad, la “Zona B” de la ciudad de Santo Domingo, no cuenta con estudios sobre depuración de aguas residuales, razón por la cual, este trabajo teórico-experimental plantea realizar una propuesta de tratamiento y se espera que los resultados de este proyecto puedan contribuir en el GAD de Santo Domingo, generando datos, como una guía para la toma de decisiones sobre la gestión de las aguas servidas en la ciudad, con la finalidad de mejorar las condiciones de vida de los pobladores de la “Zona B”.

### **1.1.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO**

La provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas posee una superficie de 3.857 km<sup>2</sup> y una altitud promedio de 625 msnm, es sensiblemente plana (90%). La provincia limita al norte y al este con Pichincha, al noroeste con Esmeraldas, al oeste con Manabí, al sur con Los Ríos y al sureste con Cotopaxi como se observa en la Figura 1.1. La provincia consta de dos cantones: Santo Domingo y la Concordia (Cabezas, Gonzales, 2017).



**FIGURA 1.1 DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA DE LA PROVINCIA DE SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS.**



FUENTE: (GAD Provincial Santo Domingo de los Tsáchilas, s.f)

### 1.1.2 UBICACIÓN

La ciudad de Santo Domingo es la cabecera cantonal y capital de la provincia Santo Domingo de los Tsáchilas. La migración interna que se produjo en el país, dió lugar a la formación de un poblado urbano, que posteriormente sería reconocido oficialmente como urbe el 6 de noviembre de 1999 por la gobernación de la provincia de Pichincha (GAD Provincial Santo Domingo de los Tsáchilas, s.f.).

Santo Domingo está formada por 7 parroquias urbanas: Santo Domingo, Chiguilpe, Río Verde, Bombolí, Zaracay, Abraham Calazacón y Río Toachi (GAD Provincial Santo Domingo de los Tsáchilas, s.f.).

### 1.1.3 CLIMA

La ciudad de Santo Domingo se encuentra en la región Costa, una zona climática lluviosa y tropical; de acuerdo a Koppen-Geiger el clima se clasifica como Tropical Monzónico (CLIMATE-DATA.ORG, 2016).

### 1.1.3.1 Meteorología

Para obtener datos de condiciones meteorológicas, de la ciudad de Santo Domingo, se toma datos de la estación pluviométrica y meteorológica del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), Santo Domingo Aeropuerto (M027), las características de esta estación se describen en la Tabla 1.1.

**TABLA 1.1 CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA SANTO DOMINGO AEROPUERTO.**

Código	Estación	Parroquia	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Institución
M027	Santo Domingo Aeropuerto	Santo Domingo	00°14'44" S	79°12'00" W	554	INAMHI

FUENTE: (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA, 2016).

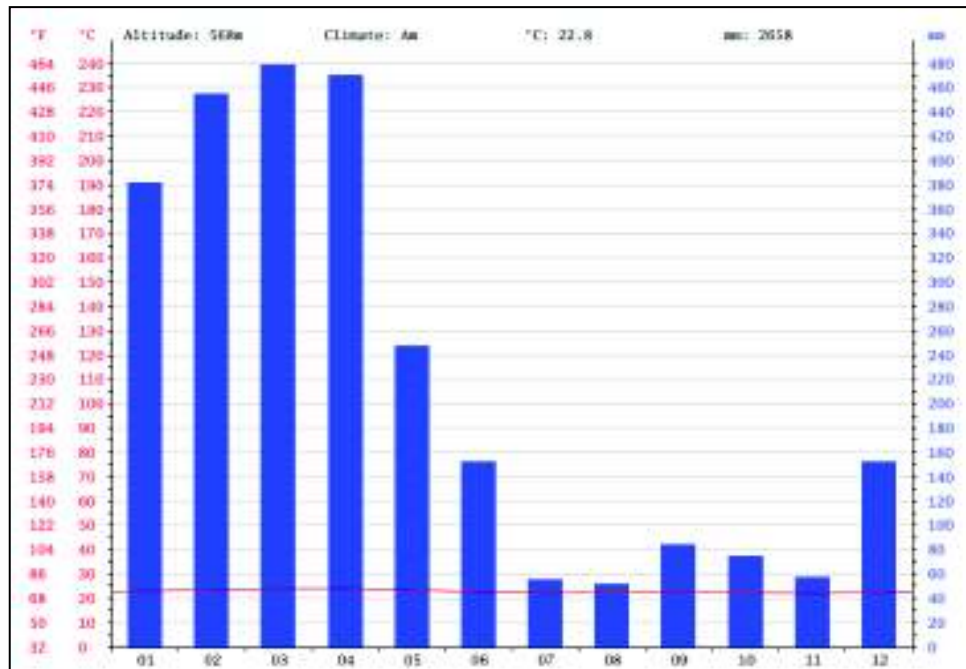
### 1.1.3.2 Temperatura

De acuerdo a estudios realizados por el INAMHI (2018), la temperatura promedio de Santo Domingo es de 20,2° C.

### 1.1.3.3 Precipitación

Según la estación meteorológica ubicada en el aeropuerto de Santo Domingo, el valor registrado de precipitación en el pluviómetro, para el año 2016, fue de 2.892,1 mm., superando al valor promedio (2.214,0 mm) en un 31%. (INAMHI, 2016).

De acuerdo a la Figura 1.2, en la ciudad de Santo Domingo, el mes de agosto fue el más seco del año 2016, con una precipitación aproximada de 50 mm, mientras marzo fue el mes más lluvioso con un pico en sus precipitaciones de 480 mm.

**FIGURA 1.2 CLIMOGRAMA DE LA CIUDAD DE SANTO DOMINGO, 2016**

FUENTE: (CLIMATE-DATA.ORG, 2016)

### 1.1.4 HIDROLOGÍA

Santo Domingo al verse limitado por una rama de la Cordillera de los Andes, se encuentra influenciado por los bosques en los que se presentan precipitaciones pluviales de gran intensidad, dando lugar a la formación de dos sistemas hidrográficos: la cuenca del río Esmeraldas y la cuenca del río Guayas (Gobierno de la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, s.f.) y tres Sub cuencas, dentro de las cuales existen 87 micro cuencas, por donde fluyen 257 ríos, entre los cuales se encuentran: el río Pove, Code, Verde, Chiguilpe, Poste y Peripa (PDOT Santo Domingo de los Tsáchilas, 2015).

### 1.1.5 EDAFOLOGÍA

Los suelos son de origen volcánico y se diferencian de acuerdo a sus características físico-químicas. La zona de piedemonte, se caracteriza por conos de deyección y esparcimiento, los suelos son francos con intercalaciones de lapilli

y cenizas poco meteorizadas, de tipo pedregoso y heliofanía deficiente por neblina frecuente y ambiente muy húmedo. En la zona de mesetas y colinas bajas, se caracteriza por llanura de depósitos y conos de esparcimiento antiguos; los suelos son de textura franca a limosa, de color pardo con una profundidad de 80 a 150 cm (Gobierno de la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, s.f.).

### 1.1.6 FLORA Y FAUNA

En el área de estudio se pueden encontrar árboles frutales nativos e introducidos como: el Mango (*Mangifera indica*), el Aguacate (*Persea americana*), el Café (*Coffea*), el Caimito (*Chrysophyllum cainito*), y la Chirimoya (*Annona cherimola*). Entre otras plantas se encuentran: el Llantén (*Plantago major*), el Sauco (*Sambucus*), y la Cabuya (*Agave*). Además, existe el Copal (*Protium copal*), la Boya (*Ocrhoma pyramidale*) y el Caucho (*Hevea brasiliensis*), entre otras (Gobierno de la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, 2015).

Dentro de la fauna se encuentran cerca de 462 especies entre ellas: 70 mamíferos, 60 anfibios, 63 herpetofauna, 269 aves. En las áreas cultivadas amplias se pueden encontrar “Plataneros” (*Ramphocelus icteronotus*), “Comemoscas” (*Tyrannus melancholicus*), garrapateros (*Crotophaga ani*) y no falta la presencia y el canto del “Hornero” (*Furnarius cirrnamomeus*). Además, aves como el Gavilán (*Buteo magnirostris*), el Elianio Tijereta (*Elanoides forficatus*), los “Colibríes” principalmente la *Amazilia spp*, el “Cacique” (*Cacicus cela*), el Vaquero Brilloso (*Molothrus bonariensis*), la “Valdivia” o “Halcón reidor” (*Herpetotheres cacchinans*), la “Lechuza” (*Glaucidium peruanum*), las “Palomas” (*Columbina buckleyi*), los “Loritos” (*Forpus coelestis*), el Carpintero (*Melanerpes pucherani*), y la “Chacalaca” (*Ortalis enythroptera*) (PDOT Santo Domingo de los Tsáchilas, 2015).

La mayor cantidad de bosques se encuentran en la parroquia de Alluriquín y en una pequeña región al norte de la parroquia de Santo Domingo de los Colorados. El bosque ha sido reducido a lo largo de los años por el crecimiento de la frontera agrícola. Las especies nativas de las áreas boscosas según registros de la Universidad Católica de Santo Domingo de los Colorados son: *Triplaris*

*cumingiana* conocida comúnmente como “Fernán Sánchez” de la familia Polygonaceae; *Brownea multijuga* denominada “Clavellín”; de la familia Caesalpinaceae; *Jocaranda copaia*, “Jacaranda”, de la familia *Bigboniaceae*; *Condaminea sp.*, de la familia Rubiaceae; *Ocotea cernua*, “El Janongo”, de la familia Lauraceae; *Chrysophyllum argenteum*, conocida como “Caimito” de la familia Sapotaceae. Entre las especies introducidas encontramos *Teutonia grandis*, “Teca” y *Gmelina arborea*, “Melina”, de la familia Verbenaceae.

### **1.1.7 POBLACIÓN**

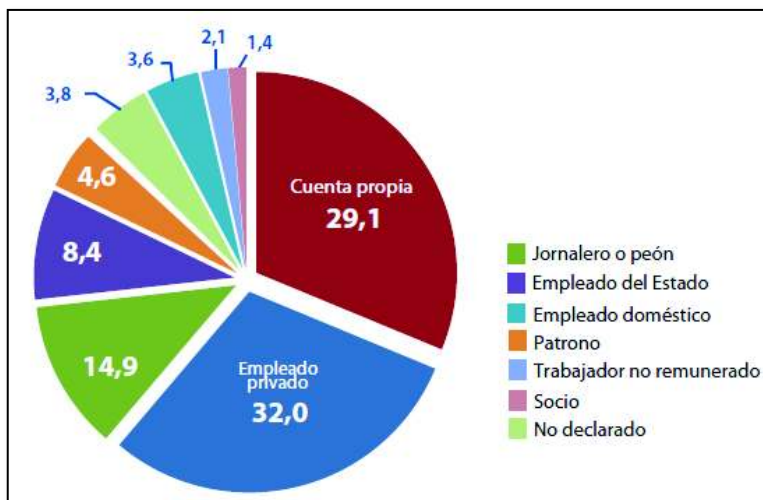
Según el INEC (2010) la ciudad de Santo Domingo, tenía una población de 322.080 habitantes, ubicándose como la cuarta ciudad más poblada del país; el 70% de la población se asienta en el sector urbano y el 30% en el sector rural (Garzón, 2010).

#### **1.1.7.1 Actividades económicas**

Para el 2010, la población económicamente activa fue de 50.907 mujeres y 99.244 hombres (INEC, 2010).

En la Figura 1.3 se observa las principales actividades económicas a las cuales se dedican los habitantes de Santo Domingo, siendo la más representativa el sector privado con el 32%, la segunda actividad con un 29,1% de importancia corresponde a las ocupaciones propias de los habitantes, el 14,9% está asociada con el oficio de jornalero, mientras que el 8,4% tiene relación con las ocupaciones en el sector público.

**FIGURA 1.3 ACTIVIDADES ECONÓMICAS DE LOS HABITANTES DE SANTO DOMINGO, 2010.**



FUENTE: (INEC, 2010)

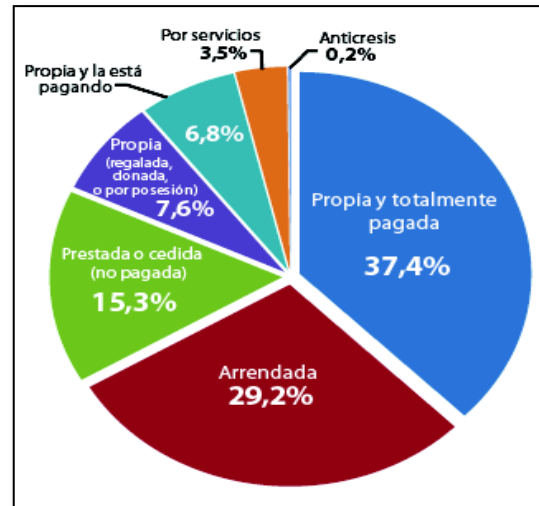
### 1.1.7.2 Educación

De acuerdo al censo realizado por el INEC (2010), el analfabetismo en la ciudad de Santo Domingo representaba el 6,3% en personas mayores de 15 años. Mientras tanto, la tasa de asistencia a la educación fue del 70,5% para personas entre 15 y 17 años, y un 92,3% para personas entre 5 y 14 años.

### 1.1.7.3 Vivienda

En la Figura 1.4 se observa que para el 2010, el 37,4% de la población poseía vivienda propia, y el 29,2% vivía en casa rentada, mientras que el 15,3% vivía en casa prestada o cedida.

**FIGURA 1.4 TENDENCIA DE VIVIENDA EN SANTO DOMINGO, 2010.**

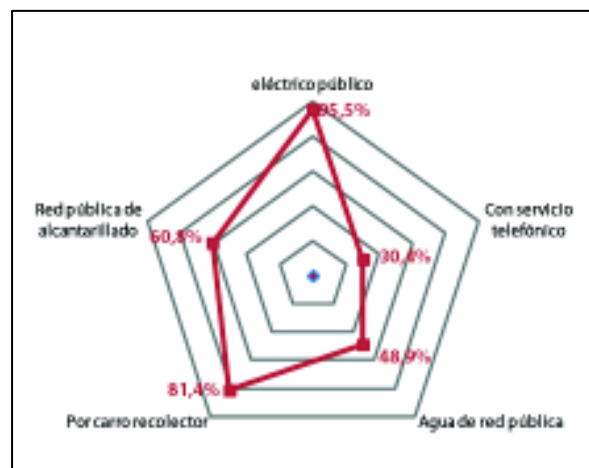


FUENTE: (INEC, 2010)

#### 1.1.7.4 Servicios básicos

En la Figura 1.5 se observa que para el año 2010, el 95,5 % de la población tuvo acceso al servicio básico de energía eléctrica; el 30,4 % de los habitantes disponía de servicio telefónico fijo, el 48,9% tenía acceso a agua de red pública, el 81,4% poseía el servicio de recolección de basura y el 60,8% tenía acceso al sistema de alcantarillado.

**FIGURA 1.5 ACCESO A SERVICIOS BÁSICOS EN SANTO DOMINGO, 2010.**



FUENTE: (INEC, 2010)

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL**

Elaborar una propuesta de tratamiento para las aguas residuales provenientes de la “Zona B” de la ciudad Santo Domingo mediante la caracterización de las mismas para mejorar las condiciones ambientales de los cuerpos receptores.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar un breve diagnóstico de la “Zona B” de Santo Domingo mediante visitas técnicas y entrevistas para identificar la gestión actual de las aguas residuales.
- Determinar la variabilidad horaria de los caudales mediante aforos de las descargas para obtener caudales máximos y mínimos.
- Determinar la carga contaminante del agua residual mediante su caracterización para la selección de las posibles alternativas de tratamiento.
- Analizar técnica, económica y ambientalmente las posibles alternativas de tratamiento mediante comparación de sus requerimientos para determinar la alternativa óptima.

## **1.3 ALCANCE**

El presente proyecto busca diagnosticar y caracterizar física, química y microbiológicamente, las aguas residuales de la “Zona B”, de la ciudad de Santo Domingo, para establecer una propuesta de tratamiento previo a la descarga hacia cuerpos de agua receptores, con el fin de cumplir con la normativa ambiental vigente y preservar el ecosistema acuático y la salud de las personas en la zona.



## 1.4 JUSTIFICACIÓN

De acuerdo al GAD Municipal de Santo Domingo, las descargas de aguas residuales domésticas hacia los cuerpos receptores de agua dulce han generado problemas de contaminación, por esta razón, es importante implementar sistemas de depuración con el propósito de mejorar la calidad de estos efluentes.

Actualmente, las fuentes hídricas, cercanas a la “Zona B”, de la ciudad de Santo Domingo, presentan altos niveles de contaminación por el vertido de aguas residuales crudas (sin tratamiento). Es importante disponer de información técnica confiable sobre las características físicas, químicas y microbiológicas, de las diferentes descargas generadas en la “Zona B”, para determinar el grado de impacto sobre los cursos de agua.

En el presente proyecto de tipo teórico-experimental, se utiliza los protocolos dispuestos por la American Water Works Association (2012) en el “Standard Methods”, en el que se establecen los ensayos que deben realizarse para la determinación de los parámetros de calidad de las aguas residuales.

De acuerdo a Metcalf & Eddy (1995), la carga contaminante de las aguas residuales es un aspecto de importancia para la elaboración de proyectos de tratamiento y depuración. Almeida de Souza (1997), asegura que es necesario determinar las características de la calidad del agua residual en función de las exigencias de los patrones de uso, así como también de las contribuciones municipales e industriales en la cuenca de recolección de aguas residuales, con el fin de definir las alternativas que se podrían tomar en cuenta basándose en criterios de confiabilidad y eficacia de cada una de ellas.

La presente investigación teórica experimental, pretende levantar información técnica básica, sobre las características físicas, químicas y microbiológicas de cada una de las descargas de aguas residuales; así como los caudales máximos, medios y mínimos generados por el sector de la población asentada en la “Zona B” y una propuesta de tratamiento.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 AGUAS RESIDUALES

Según el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente, Libro VI, Anexo I, (2015), las aguas residuales se definen como aquellas provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, servicios agrícolas, pecuarios, domésticos y en general de cualquier otro uso, que hayan sufrido degradación en sus características físicas, químicas y microbiológicas, originales.

La generación *per cápita* de aguas residuales urbanas se encuentra entre 150 – 400 L/hab día; mientras, que en poblaciones rurales es menor a 150 L/hab día (Villamar et al., 2017). Las aguas residuales de acuerdo a su origen se clasifican en aguas residuales municipales e industriales.

**Aguas residuales municipales:** son aquellas aguas de abastecimiento procedentes de zonas residenciales, instalaciones públicas e instalaciones similares que después de ser utilizadas en las actividades domésticas y productivas son descargadas a los sistemas de alcantarillado o directamente al ambiente (Riveros, 2013).

**Aguas residuales industriales:** son aquellas generadas por actividades industriales, que generan contaminantes peligrosos o metales pesados que no pueden ser depurados mediante tratamientos convencionales. En la mayoría de las ocasiones deberían ser tratadas por las mismas fuentes que las generan, antes de ser descargadas al alcantarillado municipal o al ambiente (Riveros, 2013).

##### 2.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

Las características de las aguas residuales dependen de su origen, por lo tanto, las aguas residuales que provienen de la industria tienen composición diferente a las aguas residuales municipales. Las aguas residuales municipales tienen una

composición uniforme, lo que facilita los procesos de depuración. En cambio, la composición de las aguas residuales industriales va a depender del tipo de actividad que en esta se realizan (Albarracín & Choto, 2017).

En la Tabla 2.1 se observa los principales contaminantes encontrados en aguas residuales municipales y que deben tener un tratamiento previo antes de ser descargadas a los cuerpos receptores, debido a su importante aporte de carga contaminante (Espigares y Pérez, 1985).

**TABLA 2.1 CONTAMINANTES DE IMPORTANCIA EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL MUNICIPAL.**

Contaminantes	Importancia
Materia orgánica biodegradable	Compuesta por proteínas, carbohidratos y grasas animales, puede ser medida en términos de DBO y DQO. Este tipo de materia al no ser tratada, puede ocasionar el agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas por medio de su estabilización biológica.
Materia orgánica refractaria	Esta materia orgánica puede interferir en los métodos convencionales de tratamiento, las aguas residuales que contengan altas concentraciones de esta materia pueden contaminar aguas naturales de varios tóxicos e incluso cancerígenos como lo son: pesticidas, fungicidas, herbicidas y fenoles.
Nutrientes	Los principales nutrientes acuáticos son el nitrógeno, el fósforo y el carbono. El agua residual que los contenga y sea vertida sin tratar puede producir el crecimiento de una vida acuática no deseada, así también la contaminación de aguas subterráneas.
Patógenos	Pueden transmitir enfermedades contagiosas.
Sólidos en suspensión	Estos sólidos conducen al desarrollo de depósitos de fango y aumentan las condiciones anaerobias de las zonas de vertido.
Sólidos inorgánicos disueltos	Los constituyentes inorgánicos como el calcio, sodio y los sulfatos son añadidos al agua de suministro como resultado del uso del agua y deben ser eliminados si se va a reutilizar el agua residual.

FUENTE: (Sans, Ribas, 1989)  
ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018.

## 2.1.2 COMPOSICIÓN TÍPICA DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA

La Tabla 2.2 muestra la composición típica de las aguas residuales domésticas no tratadas, clasificándose, en función de los más importantes parámetros de contaminación, como de concentración fuerte, media o baja, en mg/L.

**TABLA 2.2 COMPOSICIÓN TÍPICA DE CONTAMINANTES EN AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA.**

Contaminantes	Concentración			Unidad
	Fuerte	Media	Baja	
Sólidos Totales	1200	720	350	mg/L
Sólidos Disueltos	500	200	100	mg/L
Sólidos Suspendidos	500	300	100	mg/L
Sólidos Sedimentables	20	10	5	ml/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno	500	350	200	mg/L
Demanda Química de Oxígeno	1000	700	400	mg/L
Nitrógeno Total	85	40	20	mg/L
Fósforo Total	15	8	4	mg/L
Grasas	150	100	50	mg/L
Coliformes Totales	$10^7$ - $10^9$	$10^7$ - $10^8$	$10^6$ - $10^7$	NMP/100 ml

FUENTE: (Metcalf & Eddy, 2003).

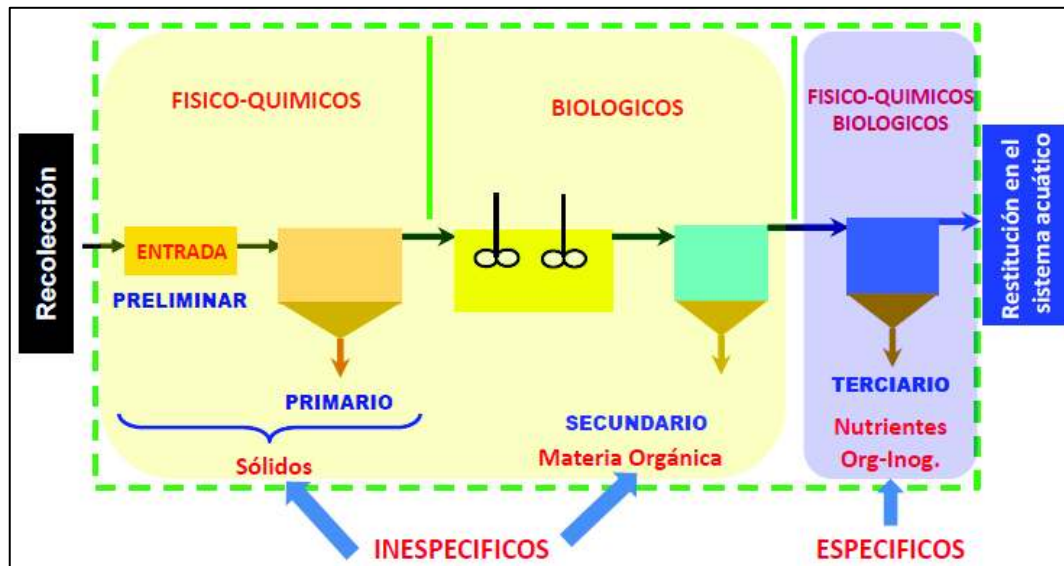
## 2.2 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El objetivo del tratamiento de aguas residuales es evitar la contaminación física, química y microbiológica de los cuerpos receptores de este tipo de descargas crudas, convirtiéndolas en un efluente final con características aceptables para el ambiente (Rojas, 2002), además de cumplir con los límites máximos permisibles que exige la normativa ambiental vigente.

Un sistema de depuración completo de aguas residuales se caracteriza principalmente por su eficiencia en la remoción de DQO, DBO, sólidos

suspendidos totales, nutrientes y agentes patógenos. Para remover estos contaminantes es necesario que el tratamiento disponga de varias operaciones unitarias que pueden sintetizarse en pretratamientos, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario (Romero, 2004). La Figura 2.1 muestra un esquema general del proceso combinado en la depuración de las aguas residuales.

**FIGURA 2.1 NIVELES DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS.**



FUENTE: (Metcalf & Eddy, 2003)

Antes de iniciar la depuración es necesario realizar un pre-tratamiento que tiene como objetivo retirar los componentes del agua residual que puedan causar problemas en la operación y mantenimiento, de los procesos unitarios siguientes (Romero, 2004). En el pretratamiento se tiene una remoción del 5 al 15% de sólidos suspendidos, del 5 al 10% de remoción de DBO<sub>5</sub> y un 10 a 25% en remoción de patógenos (Martín et al., 2006).

Entre los principales pre-tratamientos tenemos:

- Cribado: este método permite remover las partículas en suspensión en función de su tamaño, para evitar obstrucciones o taponamientos en las bombas y otros equipos mecánicos que forman parte de los distintos procesos en una planta de tratamiento. Los sólidos se reducen entre un 5%

y 20% del total presentes en el flujo de agua que ingresa a la planta de tratamiento.

En este pre tratamiento se utilizan rejillas metálicas de acero con separaciones entre sí que dependerán del objeto de las mismas y pueden ser limpiadas de manera automática o manual.

- Desarenadores: este método permite separar las partículas pesadas que no fueron retenidas en el proceso de desbaste y su tamaño es superior a 200  $\mu\text{m}$ , además de la separación de materia inorgánica que en muchas ocasiones puede ser arena en suspensión (Ramalho, 2003).
- Desengrasado: su objetivo es la separación física de aceites y grasas de las aguas residuales, incluso este proceso sirve para retirar posibles detergentes que pueden estar presentes en el agua residual. Este proceso se realiza a través de la diferencia de densidades de las grasas y aceites de origen vegetal y animal. Es indispensable realizar este pre tratamiento, debido a que si las grasas ingresan al tratamiento secundario pueden dificultar la degradación de la materia orgánica y la concentración de la  $\text{DBO}_5$  aumentaría a la salida del sistema de depuración (Ramalho, 2003).

### **2.2.1 TRATAMIENTO PRIMARIO**

En el tratamiento primario se elimina de manera parcial los sólidos en suspensión y la materia orgánica del agua residual. La eliminación se produce por medio de operaciones físicas como la sedimentación o precipitación química. El efluente del tratamiento primario usualmente contiene una gran cantidad de materia orgánica y una alta DBO (Metcalf & Eddy, 1995). Las cifras de remoción alcanzadas en aguas residuales municipales son del 60% en sólidos suspendidos y de 30% en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (Noyola, Morgan & Güereca, 2013).

- Sedimentación: este método separa los sólidos en suspensión de las aguas residuales, debido a la diferencia de densidad y peso entre las partículas suspendidas y el agua (Becerra & Gutiérrez, 2013).

## 2.2.2 TRATAMIENTO SECUNDARIO

Una vez que se realiza el tratamiento primario, el agua residual pasa a un proceso biológico, en donde las bacterias crecen con ayuda de la inyección de oxígeno y consumen una parte de la carga contaminante presente en las aguas residuales (Rojas, 2002). El tratamiento secundario puede ser de naturaleza aeróbica o anaeróbica.

En el tratamiento secundario los procesos que se pueden seguir son los siguientes:

- Lodos activados: es un proceso biológico de aguas residuales, se lo realiza en un tanque que estabiliza el desecho orgánico en condiciones aerobias que se logra mediante aireación difusa o mecánica. La estabilización de la materia orgánica se produce a través de una “masa de microorganismos activos” conocida como lodos activados, que con la ayuda de oxígeno consumen la materia orgánica transformándola en sustancias más simples. La mezcla de lodos activados y agua residual se denomina licor mezclado que posteriormente se lleva a un tanque de sedimentación para su purga (Becerra & Gutiérrez. 2013).

En la Figura 2.2 se muestra un tanque donde se produce el proceso de lodos activados en una planta de tratamiento.

## FIGURA 2.2 PROCESO DE LODOS ACTIVADOS



FUENTE: (Junco, 2015)

- Lagunaje: esta técnica utiliza los procesos naturales de autodepuración del agua, mediante la retención del agua en lugares impermeabilizados. Dentro de estos sitios se realizan procesos físicos como la decantación de sólidos, procesos químicos como las reacciones de oxidación y procesos biológicos como la degradación de materia orgánica por actividad microbiana. De acuerdo a la presencia de oxígeno, las lagunas pueden ser aerobias, anaerobias y facultativas, pero si se desea una depuración adecuada de las aguas residuales sería mejor una combinación de lagunas (Bracho, Marcos, Moreno, Olivares, 2016).

Un sistema de lagunaje completo puede constar de los tres tipos de lagunas:

Lagunas anaerobias: en un sistema de lagunaje, estas lagunas deben encontrarse al inicio del proceso, donde el agua ingresa y se produce la decantación de los sólidos presentes. La ausencia de oxígeno produce la formación de bacterias anaerobias que degradarán parcialmente la materia orgánica presente en el agua (Bracho, Marcos, Moreno, Olivares, 2016).

Lagunas facultativas: se encuentran después de las lagunas anaerobias y existe una zona aerobia en la superficie y una zona anaerobia en el fondo. Bajo estas condiciones se producirá la estabilización de la materia orgánica (Bracho, Marcos, Moreno, Olivares, 2016).



Lagunas aerobias: son lagunas de poca profundidad, lo que favorece la oxigenación por transferencia superficial, se produce la proliferación de organismos fotosintéticos tales como algas o bacterias y con la ayuda de la radiación ultravioleta se produce la eliminación de microorganismos patógenos y mineralización de materia orgánica en el agua residual (Bracho, Marcos, Moreno, Olivares, 2016).

En la Figura 2.3 se muestra el esquema de un sistema de lagunaje.

### FIGURA 2.3 SISTEMA DE LAGUNAJE

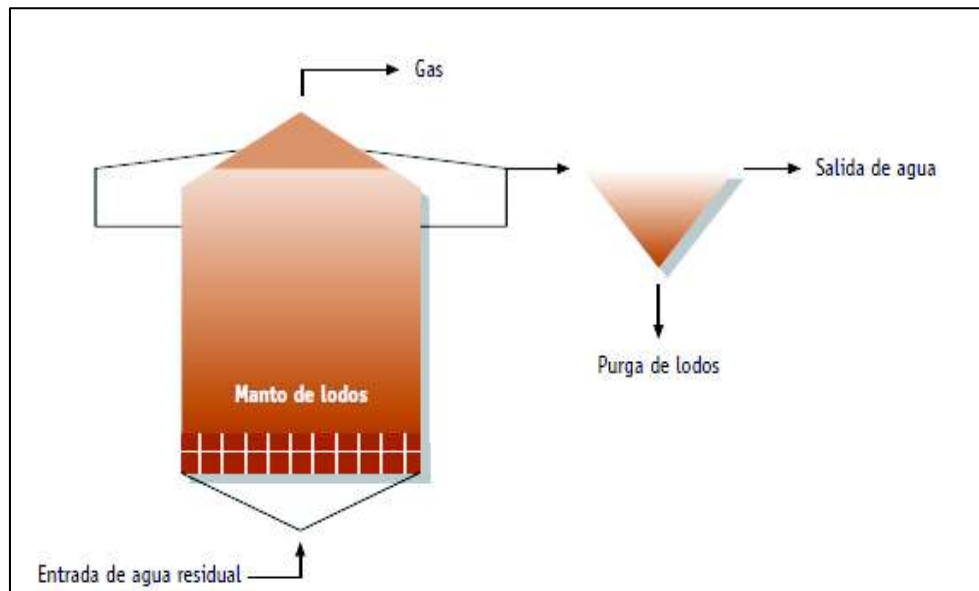


FUENTE: (Salas, 2018)

- Filtros biológicos: en este tratamiento el agua residual pasa por medio de un filtro constituido muchas veces por materiales sintéticos, los cuales cumplen la función de soporte para el crecimiento biológico, el cual oxida el material orgánico presente en el agua residual (Montiel, 2001).
- Reactor de flujo ascendente anaerobio de lecho de lodos (UASB): es un tanque que presenta una cámara de decantación y una cámara de digestión anaerobia, que se encuentran superpuestas. El agua residual que se requiere tratar ingresa por la parte inferior del reactor, y fluye en sentido ascendente a través de un manto de lodos, el cual está constituido por gránulos de biomasa, como se observa en la Figura 2.4; la depuración

se produce cuando el agua residual y el lodo microbiológico entran en contacto. Este tratamiento produce metano y dióxido de carbono los cuales son recirculados en el interior para conservar la formación de los gránulos (Lorenzo & Obaya, 2006).

**FIGURA 2.4 REACTOR UASB**



FUENTE: (Rodríguez, et al., 2006)

### 2.2.3 TRATAMIENTO TERCIARIO

El objetivo del tratamiento terciario o también conocido como tratamiento avanzado, es remover otros elementos no deseados. Esta etapa del tratamiento está enfocada a la remoción de nutrientes, compuestos tóxicos, materia orgánica en exceso o cualquier elemento presente en el agua residual que merezca atención (Baraňao & Tapia, 2004).

La desinfección es un proceso que se encuentra en este tipo de tratamiento y está basado en la eliminación de microorganismos patógenos como virus, bacterias, hongos y protozoos que pueden causar enfermedades. La eliminación se produce por medio de luz ultravioleta o por la dosificación de algún tipo de desinfectante (Santamarta, Beahín, Rodríguez, Alonso, s.f).

Dentro del tratamiento terciario se pueden encontrar otros procesos tales como:

- Precipitación (coagulación y floculación)
- Cloración y Ozonización
- Adsorción
- Intercambio iónico
- Ósmosis inversa
- Electrodiálisis

(Ramalho, 2003)

Además, existen tratamientos no convencionales que han demostrado en la actualidad, ser eficientes en la depuración de las aguas residuales.

## **2.3 MARCO LEGAL APLICABLE**

La propuesta de tratamiento de aguas residuales para la “Zona B” de Santo Domingo, se halla bajo los lineamientos establecidos por las siguientes leyes vigentes:

- Constitución de la República del Ecuador.

En los artículos 3 y 14 contempla la protección del patrimonio natural para cumplir con el derecho de los y las ecuatorianos de vivir en un ambiente sano y equilibrado.

Los artículos 264 y 415 mencionan las competencias de los gobiernos autónomos descentralizados en cuanto a la disposición y tratamiento adecuado de los residuos líquidos con el fin de evitar la contaminación del ambiente.

- Ley Orgánica de Salud

En los artículos 103 y 104 se centran en la obligación que tienen las personas naturales y jurídicas de realizar un tratamiento adecuado a las aguas residuales antes de que sean vertidas al sistema de alcantarillado o a un cuerpo receptor.

- Ley Orgánica de Recursos Hídricos, usos y aprovechamiento del agua.

En el artículo 80 se establece la prohibición de verter aguas residuales sin tratamiento a un cuerpo hídrico.

- Ley de Competencias de Gestión Ambiental de los Gobiernos Descentralizados.

Dentro de las competencias de los GAD municipales que se establecen en el Art. 18, inciso 3, se encuentran el control de la aplicación de normas técnicas de descarga hacia la atmósfera o a cualquier cuerpo receptor (Consejo Nacional de Competencias, 2015)

- Acuerdo Ministerial 061

En el Art. 211, se explica que el tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales, está a cargo de La Autoridad Ambiental Competente en coordinación con la Agencia de Regulación y Control del Agua, las cuales verificarán el cumplimiento de las normas técnicas en las descargas provenientes de los sistemas de tratamiento implementados por los GADS. Además, tanto la gestión y el mantenimiento de sistemas de tratamiento de agua deberán ser monitoreados y evaluados por medio de los mecanismos de control y seguimiento establecidos en este acuerdo (Acuerdo Ministerial 061, 2015)

- Código Orgánico del Ambiente

En el Art. 196 se establece que para el tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales, los GADs Municipales deberán contar con la infraestructura técnica para la instalación de sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales, de conformidad con la ley y la normativa técnica expedida para el efecto. Además, se deberá fomentar el tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización, siempre y cuando estas recuperen los niveles cualitativos y cuantitativos que exija la autoridad competente y no se afecte la salubridad pública (Código Orgánico Ambiental, 2017).

- Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes.

Estas normas han sido ratificadas y actualizadas por la SENAGUA en el año 2014, y presentan los parámetros para conseguir que los diseños de sistemas de abastecimiento de agua potable y de eliminación de aguas residuales se realicen dentro de un marco técnico adecuado para la realidad ecuatoriana.

Además en el año 2016 la SENAGUA presentó la Estrategia Nacional de Agua Potable y Saneamiento (ENAS), cuyo objetivo es marcar una hoja de ruta para alcanzar, el acceso universal a servicios de agua potable y saneamiento de calidad, digno y sostenible, esto en un plazo de diez años.

- Texto Unificado de Legislación Secundaria Ambiental, Libro VI, Anexo1: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, En la Tabla 2.3, se expresan los límites máximos permisibles de descarga a un cuerpo de agua dulce.

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

Parámetros	Expresados como	Unidad	Límite máximo permisible
<b>Aceites y grasas</b>	Sustancias solubles en hexano	mg/L	0,3
<b>Coliformes fecales</b>	*NMP/100 mL	-	**Remoción > al 99,9 %
<b>Color real</b>	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno</b>	DBO <sub>5</sub>	mg/L	100
<b>Demanda Química de Oxígeno</b>	DQO	mg/L	250
<b>Fósforo Total</b>	P	mg/L	10
<b>Materia flotante</b>	Visibles		Ausencia
<b>Nitrógeno Total Kjedahl</b>	N	mg/L	15
<b>Potencial de hidrógeno</b>	pH	—	5-9
<b>Sólidos Sedimentables</b>	—	ml/L	1,0
<b>Sólidos Suspendidos</b>	—	mg/L	100
<b>Sólidos totales</b>	—	mg/L	1 600
<b>Temperatura</b>	—	°C	< 35
<b>Tensoactivos</b>	Sustancias activas al azul de metileno	mg/L	0,5

\*\*Aquellos regulados con descargas de coliformes fecales menores o iguales a 3000, quedan exentos de tratamiento

\*NMP/100 mL: Número más probable por cada 100 mL

FUENTE: (Libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria).

ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018

## CAPÍTULO III

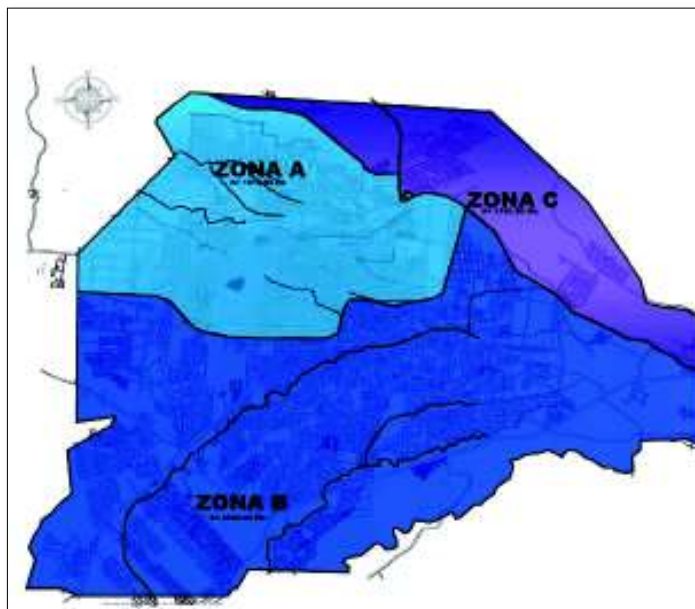
### METODOLOGÍA

#### 3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO

Con el fin de dar solución a los problemas de alcantarillado y considerando su topografía y sistemas fluviales de la ciudad, la actual Administración Municipal de Santo Domingo, ha dividido a la ciudad en tres zonas: “Zona A”, “Zona B” y “Zona C” (GAD Municipal Santo Domingo, 2015).

La “Zona B” se encuentra ubicada en la parte centro sur de la ciudad de Santo Domingo, como se muestra en la Figura 3.1, a una Latitud: 0°15'10" S, Longitud: 79°10'31" O y Altitud: 655 msnm, ocupando un 59.5% de la superficie total de la ciudad. De acuerdo con datos del Municipio cuenta con alrededor de 190.000 habitantes, esto es un aproximado del 59% del total de la ciudad de Santo Domingo.

**FIGURA 3.1 DELIMITACIÓN ZONAL DE LA CIUDAD DE SANTO DOMINGO, 2018.**



FUENTE: (GAD Municipal de Santo Domingo, 2016)

### 3.1.1 VISITAS TÉCNICAS Y ENCUESTAS

La ubicación preliminar de los puntos de descarga de aguas residuales en la “Zona B”, se determinaron con la información proporcionada tanto por el GAD Municipal de Santo Domingo, como por la SENAGUA, de los estudios ejecutados en el año 2017, para la construcción del sistema de alcantarillado de esta zona.

Las descargas se encuentran distribuidas a lo largo de la “Zona B”, en los sectores conocidos como: Cooperativa Los Almendros, Lotización San Juan San Pablo, Urbanización Napoleón Ruiz, Cooperativa La Paquisha, barrio Santa Marta sector 4 y el barrio Asistencia Municipal, dando un total de 6 descargas.

Para obtener mayor detalle sobre la accesibilidad a los puntos de vertido de las descargas de aguas residuales domésticas de la “Zona B”, se realizaron dos visitas de observación al sitio, en el mes de febrero del 2018. La Figura 3.2 muestra las fotografías de las tuberías que descargan a pequeñas vertientes superficiales que alimentan a las microcuencas del río Pove, río Code, río Poste, río Verde y río Peripa.

#### **FIGURA 3.2 PUNTOS DE DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS, DE LA “ZONA B”, MARZO 2018.**

##### **D1: Cooperativa Los Almendros**





**D2: Lotización San Juan San Pablo**



**D3: Urbanización Napoleón Ruiz**



**D4: Cooperativa La Paquisha**





**D5: Santa Martha sector 4****D6: Asistencia Municipal**

ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018.

El acceso al punto de descarga ubicado en la Cooperativa La Paquisha, fue complejo puesto que la descarga se encontraba debajo de un puente vehicular, por lo que fue necesario el uso de cuerdas para acceder a la toma de muestras y aforo, respectivos. Para el punto de descarga localizado en la Lotización San Juan San Pablo, también fue necesario el uso de cuerdas debido a que la descarga se encontraba al otro lado del río y a una altura de 6 m. Para la descarga ubicada en el Barrio Asistencia Municipal se tuvo dificultad a causa de que la tierra estaba removida por trabajos de la Empresa Municipal de Alcantarillado y Agua Potable de Santo Domingo. El acceso al resto de descargas

no tuvo mayores complicaciones. Se observó que las descargas eran vertidas a través de tuberías de PVC con diámetros entre 20 y 30 cm.

En todas las descargas se observó que el agua tenía características típicas de aguas residuales domésticas, esto es alta turbidez y olor séptico, a excepción de la descarga D3, perteneciente a la Urbanización Napoleón Ruiz. Las riveras de los ríos se encontraban erosionadas y con presencia de manchas de aceites.

En el caso de la descarga D5, correspondiente al Barrio Santa Martha, sector 4, se evidenció la presencia de roedores, así mismo se observó que las aguas residuales se vertían directamente hacia cultivos de yuca que se encontraban cercanos al cuerpo hídrico.

Durante las visitas a la zona, también se realizaron encuestas a los moradores, cuyas viviendas están localizadas adyacentes a las descargas, con el fin de conocer su percepción en cuanto al manejo actual de las aguas residuales, y como esto afecta su calidad de vida y al medio ambiente. La Figura 3.3 muestra la realización de las encuestas a los moradores de la “Zona B”.

La encuesta realizada constó de 10 preguntas relacionadas a la gestión de las aguas residuales y a los residuos sólidos, así como también a la percepción que tienen los moradores con respecto al efecto de las aguas residuales en su salud y en el ambiente. El formato de la encuesta se encuentra en el Anexo 2.

**FIGURA 3.3 REALIZACIÓN DE ENCUESTAS A LOS MORADORES ADYACENTES A LAS DESCARGAS, MARZO 2018.**



ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018.

## 3.2 AFORO Y CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

Posterior a las dos visitas a la “Zona B”, se planificó tanto la medición de los caudales de cada una de las descargas, como el muestreo compuesto de las mismas.

### 3.2.1 GEORREFERENCIACIÓN DE LAS DESCARGAS DE AGUA RESIDUAL

Con ayuda de un GPS GARMIN map 62s, se tomó las coordenadas exactas de los seis puntos de descarga de aguas residuales domésticas de la “Zona B”. La Tabla 3.1 muestra el sector de la ubicación de las descargas y sus coordenadas.

**TABLA 3.1 COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE LAS DESCARGAS DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA, EN LOS SECTORES DE LA “ZONA B” DE LA CIUDAD DE SANTO DOMINGO, 2018.**

Sector	Coordenadas X	Coordenadas Y
Cooperativa Los Almendros	699034	9970072
Lotización San Juan San Pablo	699324	9972071
Urbanización Napoleón Ruiz	701439	9971062
Barrio Santa Martha sector 4	702459	9969707
Cooperativa La Paquisha	701563	9970554
Barrio Asistencia Municipal	704933	9970709

ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018.

### 3.2.2 MEDICIÓN DE CAUDALES DE LAS DESCARGAS

La medición de caudales en los sitios de las descargas, fue realizada en el mes de marzo del 2018, en las fechas mostradas en la Tabla 3.2.

**TABLA 3.2 FECHAS DE DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES DE LA “ZONA B”, 2018.**

Fecha de aforo	Ubicación de las descargas
15/03/2018	Lotización San Juan San Pablo
16/03/2018	Urbanización Napoleón Ruiz
17/03/2018	Cooperativa La Paquisha
22/03/2018	Barrio Santa Marta sector 4
23/03/2018	Barrio Asistencia Municipal
24/03/2018	Cooperativa Los Almendros

ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018.

Para conocer la variabilidad de los caudales de las descargas de aguas residuales domésticas que pertenecen a la “Zona B” de la ciudad de Santo Domingo, se realizaron mediciones de los caudales partir, de las 7:30 hasta las 17:30 en intervalos de una hora; durante este período de tiempo se pudo determinar los mayores flujos de aguas residuales en cada una de las descargas.

Para obtener los caudales horarios de las descargas, se utilizó el método del aforo volumétrico, el cual se puede emplear para tuberías o canales abiertos que posean una caída de agua donde se pueda interponer un recipiente, además este método permite calcular caudales pequeños, por medición directa del tiempo que tarda en llenarse un recipiente con volumen conocido (IDEAM, 2007).

Para determinar el caudal, se utilizó la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{V}{T} \quad (3.1)$$

Donde:

V= volumen (L)

T= tiempo (s)

Los materiales, equipos y procedimientos seguidos para la determinación de los caudales se describen a continuación:

**Equipos**

- Cronómetro

**Materiales:**

- Probetas de 1L
- Recipiente de 3,5 L
- Jarra de 2 L
- Registro de datos

**Procedimiento:**

1. Simultáneamente, colocar el recipiente de 3,5 L de capacidad bajo la descarga y activar el cronómetro para contabilizar el tiempo de llenado.
2. Registrar el tiempo de llenado del recipiente.
3. Repetir el procedimiento por tres ocasiones.
4. Registrar los resultados en la hoja de datos.

En la Figura 3.4 se muestra la medición del caudal de las descargas de agua residual de la “Zona B”.

**FIGURA 3.4 MEDICIÓN DE CAUDALES DE LAS DESCARGAS DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA DE LA “ZONA B”.**



ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018

Una vez realizado, por triplicado, el aforo volumétrico de cada una de las descargas, se procedió en gabinete y con ayuda del programa Excel, a determinar los caudales horarios-diaros promedio de las tres determinaciones. La Tabla 3.3, muestra los datos correspondientes a la descarga ubicada en el lote San Juan San Pablo, las determinaciones correspondientes al resto de descargas se encuentran en el Anexo 1.



**TABLA 3.3 CAUDALES DIARIOS DE LA DESCARGA DE LA LOTIZACIÓN SAN JUAN SAN PABLO, 2018.**

Lugar	Hora de aforo	Tiempo de aforo (s)	Volumen de aforo (L)	Caudal de aforo (L/s)	Q promedio horario (L/s)
Lotización San Juan San Pablo	7:30	3,2	1	0,3125	0,2742
		4,25	1	0,2353	
		3,64	1	0,2747	
	8:30	10,45	1	0,0957	0,0948
		10,35	1	0,0966	
		10,85	1	0,0922	
	9:30	3,73	1	0,2681	0,2914
		3,54	1	0,2825	
		3,09	1	0,3236	
	10:30	4,13	1	0,2421	0,2106
		5,9	1	0,1695	
		4,54	1	0,2203	
	11:30	2,01	1	0,4975	0,5034
		1,99	1	0,5025	
		1,96	1	0,5102	
	12:30	2,56	1	0,3906	0,3762
		2,71	1	0,3690	
		2,71	1	0,3690	
	13:30	3,07	1	0,3257	0,3052
		3,51	1	0,2849	
		3,28	1	0,3049	
	14:30	1,25	1	0,8000	0,6764
		1,7	1	0,5882	
		1,56	1	0,6410	
	15:30	3,61	1	0,2770	0,2765
		3,5	1	0,2857	
		3,75	1	0,2667	
16:30	4,1	1	0,2439	0,2373	
	4,2	1	0,2381		
	4,35	1	0,2299		
17:30	2,02	1	0,4950	0,5000	
	1,98	1	0,5051		
	2	1	0,5000		

ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018

### 3.2.3 MUESTREO COMPUESTO DE LAS DESCARGAS

Se realizaron 2 muestreos compuestos de las descargas de agua residual doméstica de la “Zona B”, los días 10 y 24 de abril de 2018; debido a que el caudal de las descargas es variable en el tiempo, el tipo de muestro compuesto aplicado fue el de volumen variable, que consiste en tomar una alícuota (en %) constante respecto al caudal, para ello se utilizó la Ecuación 3.2.

$$V_i = \frac{V_m}{Q_p \times n} \times Q_i \quad (3.2)$$

Dónde:

$V_i$  = volumen de la alícuota (mL)

$V_m$  = volumen de la muestra compuesta o volumen a conformar (mL)

$Q_p$  = caudal promedio de aforo (mL/s)

$Q_i$  = caudal inicial de aforo (mL/s)

$n$  = número de muestras tomadas

Las muestras compuestas se recolectaron a partir de las 07:30 hasta la 16:30, en intervalos de 3 horas. Los materiales, equipos y procedimientos seguidos, se describen a continuación:

#### Equipos:

- Cronómetro

#### Materiales:

- Probetas de 1 L
- Recipiente de 3,5 L
- Jarras de 2 L
- Recipientes de 4L
- Frascos estériles

#### Reactivos:

- $H_2SO_4$  grado reactivo

#### Procedimiento:

1. Determinar el caudal inmediato, mediante aforo volumétrico.
2. Repetir la medición de caudal por tres ocasiones.

3. Conservar el último volumen medido y colocarlo dentro de la botella de plástico de 1,5 L.
4. Rotular la botella con el nombre de la descarga y hora de la toma de muestra y conservar en hielo a una temperatura de 4°C.
5. Realizar el mismo procedimiento hasta obtener las cuatro alícuotas por descarga.
6. Con la Ecuación 3.2 calcular los volúmenes de alícuota.
7. Medir cada volumen de alícuota con una probeta y colocar en la botella de 4L, con esto se conforma la muestra compuesta.
8. Colocar las botellas de 4L, en coolers con hielo.

La Figura 3.5 (a), (b), (c) muestra la secuencia de actividades durante el muestreo compuesto.

**FIGURA 3.5 MUESTREO COMPUESTO DE LAS DESCARGAS DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA DE LA “ZONA B”, ABRIL 2018.**



ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018.



### 3.2.4 CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

Para la caracterización de las aguas residuales se determinaron algunos parámetros *in-situ* y otros en laboratorio.

Los análisis físicos, químicos y microbiológicos, de las aguas residuales fueron realizados tanto en el Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental (LDIA) como en el Centro de Investigación y Control Ambiental (CICAM), de acuerdo a los lineamientos establecidos en el “Standard Methods” of American Water Works Association (2012).

#### 3.2.4.1 Parámetros medidos en campo

La Tabla 3.4 presenta los parámetros registrados *in-situ*, así como las características de los instrumentos utilizados.

**TABLA 3.4 PARÁMETROS MEDIDOS EN CAMPO**






Parámetro	Equipo	Fotografía
Conductividad	Conductivímetro marca YSI Model 30M Handheld.	
Oxígeno Disuelto	Medidor de OD, marca HACH, HQ series, 2006.	

TABLA 3.4 CONTINUACIÓN

<b>pH</b>	pH-metro, marca Hanna H198127 y tiras de pH marca M.	
<b>Temperatura</b>	Termómetro marca Promolab, escala 0-100 ( $\pm 0,5$ °C)	
<b>Turbiedad</b>	Turbidímetro portátil, 2100p, marca HACH.	

ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018.

### 3.2.4.2 Parámetros medidos en laboratorio

#### Sólidos sedimentables

El método utilizado para la determinación fue APHA 2540 F, los materiales y procedimientos seguidos se describen a continuación:

#### Materiales

- Agitador de vidrio
- Soporte de madera
- Cono Imhoff

#### Procedimiento:

1. Homogenizar las muestras compuestas agitando vigorosamente.
2. Colocar la muestra en un cono Imhoff hasta la marca de 1000 mL.
3. Dejar sedimentar por 45 minutos; utilizando una varilla de vidrio, ayudar al movimiento de los sólidos adheridos a las paredes del cono.
4. Dejar sedimentar otros 15 minutos adicionales.
5. Registrar la lectura del material sedimentado en el fondo del cono en mL/L.

La Figura 3.6 muestra los conos Imhoff llenos con las muestras de agua residual; también se puede observar que el fondo de los conos contienen los sólidos sedimentables, mientras que el sobrenadante presenta un color más claro.

**FIGURA 3.6 CONOS IMHOFF CON MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL DE LA “ZONA B”, ABRIL 2018.**



ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018.

## Sólidos totales

El método utilizado para la determinación fue APHA 2540 B, los materiales, equipos y procedimiento seguidos se describen a continuación:

### Equipos:

- Estufa a 105°C
- Desecador
- Balanza analítica

### Materiales

- Crisoles de porcelana de 50 mL
- Balones aforados de 50 ml
- Pinza para crisoles
- Piseta con agua destilada

### Procedimiento:

1. Registrar el peso de cada crisol vacío, en una balanza analítica.
2. Tomar 50 mL de muestra en un balón aforado.
3. Trasvasar la muestra en cada crisol y de ser necesario utilizar agua destilada para el enjuague del balón.
4. Colocar los crisoles con las muestra en la estufa a 105°C por 24 horas.
5. Colocar los crisoles en el desecador por 2 horas.
6. Registrar el nuevo peso de cada crisol.

Para determinar el valor de los sólidos totales se utilizó la Ecuación 3.3:

$$[ST] \text{ mg/L} = \frac{(W_2 - W_1) * f}{V} \quad (3.3)$$

Donde:

[ST]= concentración de sólidos totales (mg/L)

W1= peso inicial crisol vacío (g)

W2 = peso final crisol con muestra (g)

V= volumen de muestra utilizada (mL)

f= 1000000

El cálculo de sólidos totales, para la descarga ubicada en la Lotización San Juan San Pablo se muestra a continuación, se siguió el mismo proceso para el resto de

descargas. El valor de los peso de los crisoles se encuentran en la Tabla A3. 1 del Anexo 3.

$$[\text{ST}] \text{ mg/L} = \frac{(37,4952\text{g} - 37,4627\text{g})}{50} * 1000000$$

$$[\text{ST}] = 650 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

La Figura 3.7 muestra los crisoles de porcelana y el desecador utilizados, en la determinación de sólidos totales de las muestras compuestas de aguas residuales, tomadas en las “Zona B”, en el mes de abril de 2018.

**FIGURA 3.7 CRISOLES DE PORCELANA Y DESECADOR**



ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018

### **Sólidos totales suspendidos y disueltos**

Los métodos utilizados para la determinación fueron APHA 2540 D y APHA 2540 E, respectivamente. Los equipos, materiales y procedimiento seguidos se describen seguidamente:

**Equipos:**

- Bomba de vacío
- Balanza analítica
- Equipo de filtración

**Materiales:**

- Filtros de policarbonato con tamaño de poro 45  $\mu\text{m}$ .
- Balones aforados de 50 ml
- Pipeta volumétrica de 25 ml
- Porta filtros metálicos
- Cisoles de porcelana de 25 mL

**Procedimiento:**

1. Registrar los pesos de los crisoles y filtros vacíos en una balanza analítica.
2. Tomar 50 mL de muestra en un balón aforado.
3. Armar el equipo de filtración y colocar un filtro limpio previamente pesado.
4. Filtrar la muestra.
5. Con ayuda de una pinza retirar el filtro y colocar en un porta filtro
6. Secar el filtro en una estufa a 105°C por 24 horas.
7. Con una pipeta volumétrica tomar 25 mL del filtrado y colocar en un crisol previamente pesado y dejar en la estufa a 180°C por 24 horas.
8. Colocar los filtros y crisoles en un desecador por 2 horas.
9. Registrar los nuevos pesos de los crisoles y filtros, utilizando una balanza analítica.

Para la determinación de los sólidos disueltos y suspendidos se utilizaron las ecuaciones 3.4 y 3.5, respectivamente.

$$[\text{SD}] = \frac{(W_2 - W_1) \cdot f}{V} \quad (3.4)$$

Dónde:

[SD]= concentración de sólidos disueltos (mg/L)

W1= peso inicial del crisol vacío (g)

W2 = peso final del crisol más la muestra (g)

V= volumen de muestra utilizada (mL)

$$f= 1000000$$

$$[SS] = \frac{(W_2 - W_1)}{V} * f \quad (3.5)$$

Donde:

[SS]= concentración de sólidos suspendidos (mg/L)

W1= peso inicial del filtro vacío (g)

W2 = peso final del filtro más la muestra (g)

V= volumen de muestra utilizada (mL)

$$f= 1000000$$

El cálculo de sólidos disueltos y suspendidos, para la descarga ubicada en la Lotización San Juan San Pablo se muestra a continuación, se siguió el mismo proceso para el resto de descargas. Los pesos de los crisoles se encuentran en las Tabla A3. 2 y Tabla A3.3 del Anexo 3.

$$[SD] \text{ mg/L} = \frac{(36,1679\text{g} - 36,1559\text{g})}{25} * 1000000$$

$$[SD] = 480 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$[SS] \text{ mg/L} = \frac{(4,2586\text{g} - 4,2560\text{g})}{50} * 1000000$$

$$[SS] = 52 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

La Figura 3.8 muestra los crisoles, filtros y desecador, utilizados para la determinación de los sólidos suspendidos y disueltos.

### FIGURA 3.8 CRISOLES DE PORCELANA Y FILTROS



ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018

### Demanda Química de Oxígeno, DQO

El método aplicado en la determinación de DQO fue APHA 5220, los equipos, materiales, reactivos y procedimiento, seguidos fueron los siguientes:

#### Equipos:

- Digestor de DQO  
marca HACH DRB  
200
- Espectrofotómetro  
marca HACH DR  
2700

#### Materiales:

- Pipetas serológicas  
de 5 mL

#### Reactivos:

- Viales HACH  
estandarizados, para  
rango 20 hasta  
1500 mg/L

#### Procedimiento:

1. Homogenizar las muestras para que los sólidos se distribuyan uniformemente.
2. Colocar 2 mL de agua destilada en un vial de DQO, para utilizarlo como blanco durante las lecturas.
3. Tomar 2 mL de muestra y colocar en un vial de DQO.



4. Agitar cada uno de los viales, teniendo cuidado debido a la reacción exotérmica del vial.
5. Colocar los viales en el digestor precalentado a 150°C por 2 horas.
6. Dejar enfriar los viales para su posterior lectura.
7. Registrar los valores de DQO leídos en el espectrofotómetro.

La Figura 3.9 muestra el Digestor con los viales de DQO y el Espectrofotómetro DR 2700 con los viales previos a su lectura.

**FIGURA 3.9 DIGESTOR HACH DRB 200 CON LOS VIALES DE DQO Y ESPECTROFOTRÓMETRO HACH DR 2700 CON LOS VIALES DE DQO.**



ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018

### **Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO<sub>5</sub>**

El método utilizado fue APHA 5210, los equipos, materiales, reactivos y procedimientos se describen a continuación.

#### **Equipos:**

- Equipo OXYTOP
- Incubadora WTW

#### **Reactivos:**

- Inhibidor de nitrógeno.
- Pellets de hidróxido de sodio.

#### **Materiales:**

- Botellas ámbar para DBO.
- Barras magnéticas
- Probetas

**Procedimiento:**

1. Basados en la lecturas DQO se determinó un volumen de muestra para el ensayo de DBO<sub>5</sub>. Ver Anexo 3.
2. Colocar los volúmenes establecidos en las botellas ámbar del equipo OXYTOP.
3. Agregar 3 gotas de inhibidor de nitrógeno.
4. Colocar los receptáculos de caucho en el cuello de cada botella, y luego añadir 2 pellets de NaOH en cada uno.
5. Colocar la cabeza del OXYTOP en cada botella.
6. Encerar el equipo, presionando simultáneamente los botones S y M.
7. Colocar las botellas en la bandeja de agitación dentro de la incubadora a 20°C por 5 días.
8. Realizar la lectura de los valores oprimiendo el botón M para el valor actual y el botón S para desplegar los valores de los días anteriores.

Para determinar el valor de DBO<sub>5</sub> se utilizó la Ecuación 3.6, mostrada a continuación:

$$\text{DBO}_5 = \text{valor registrado (mg/L)} \times \text{Factor (3.6)}$$

El valor registrado se obtuvo de la lectura del valor desplegado en la pantalla del cabezal de OXYTOP, después de cinco días de incubación de cada una de las muestras.

La determinación del valor de DBO<sub>5</sub>, para la muestra de la descarga ubicada en la Lotización San Juan San Pablo se muestra a continuación, además en las Tablas A4.1 y A4. 2 del Anexo 4 se muestran los factores y valores registrados para la determinación de la DBO<sub>5</sub> de las demás descargas.

$$\text{DBO}_5 = 20 \text{ mg/L} \times 16$$

$$\text{DBO}_5 = 320 \text{ mg/L}$$

La Figura 3.10 muestra el equipo OXYTOP utilizado para la determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

**FIGURA 3.10 EQUIPO OXYTOP UTILIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE DBO<sub>5</sub>.**



ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018.

### **Fósforo total**

El método utilizado fue HACH 8190, los materiales, equipos, reactivos y procedimientos utilizados se describen a continuación:

#### **Equipos:**

- Espectrofotómetro  
HACH DR 2700
- Plancha de calentamiento

#### **Materiales:**

- Matraces
- Erlenmeyer de 125 mL
- Probetas de 25 mL.

#### **Reactivos:**

- K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>
- Reactivo HACH Phos ver 3
- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5,25N
- NaOH 5N
- Agua destilada.

#### **Procedimiento:**

1. Agregar 25 mL de muestra en un erlenmeyer de 125 mL.
2. Agregar el contenido del reactivo potassium persulfate y agitar.
3. Añadir 2 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5,25 N.
4. En una plancha de calentamiento, calentar las muestras hasta alcanzar la ebullición y mantener por 30 minutos.
5. Dejar enfriar las muestras a temperatura ambiente.

6. Adicionar 2 mL de NaOH 5N.
7. Colocar las muestras en probetas de 25 mL, y completar el volumen con agua destilada.
8. Agregar el contenido del reactivo Phos Ver 3 a cada muestra y dejar 10 minutos para que reaccione.
9. Registrar la concentración de fósforo total en mg/L, con el programa 536 en el espectrofotómetro.

La Figura 3.11 muestra la digestión de las muestras para el ensayo de fósforo total.

**FIGURA 3.11 DIGESTIÓN DE MUESTRAS PARA DETERMINACIÓN DE FÓSFORO TOTAL.**



ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018

### Tensoactivos aniónicos en agua

El método utilizado en la determinación fue sustancias activas al azul de metileno (SAAM), los equipos, materiales, reactivos y procedimientos seguidos se describen a continuación:

#### Equipos:

Espectrofotómetro  
HACH DR 2700

#### Materiales:

- Probetas de 50 mL, 25 mL, 10 mL
- Vasos de precipitación de 25 mL

#### Reactivos:

- Fenolftaleína
- NaOH 1N
- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1N
- Reactivo de azul de

- Balones aforados de metileno  
50 mL
- Embudos de separación de 500 mL
- Cloroformo
- Solución de lavado
- Alcohol isopropílico

**Procedimiento:**

1. Tomar 100 mL de muestra y colocar en el embudo de separación de 500 mL.
2. Agregar 3 gotas de fenolftaleína y agitar.
3. Agregar NaOH (1N), gota a gota hasta el viraje de color de incoloro a rosado.
4. Colocar H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1N), gota a gota hasta que se torne incoloro.
5. Añadir 25 mL de reactivo de azul de metileno.
6. Añadir 10 mL de cloroformo.
7. Agitar por 30 segundos y sacar la presión abriendo la llave del embudo de separación, repetir este proceso por 3 ocasiones.
8. Drenar la fase de la parte de abajo a un envase y reservar.
9. Repetir los pasos 6, 7,8 por dos ocasiones más.
10. Colocar 50 mL de solución de lavado y 10 mL de alcohol isopropílico junto a las fases reservadas con anterioridad.
11. Agitar por 30 segundos y sacar la presión, repetir 3 veces.
12. Colocar algodón en el embudo y extraer la base de abajo y reservar en un balón aforado de 50 mL.
13. Añadir en el sobrante 10 mL de cloroformo, agitar y sacar la presión.
14. Traspasar la fase de abajo al balón de 50 mL.
15. Repetir los pasos 13 y 14 dos veces.
16. Aforar el balón de 50 mL con cloroformo y agitar.
17. Leer en el espectrofotómetro a 652 nm, usando cloroformo como blanco.

Para determinar la concentración de tensoactivos en las seis descargas de agua residual se utilizó la Ecuación 3.7:

$$\text{mg} \frac{\text{SAAM}}{\text{L}} = m \times \text{Absorbancia} \quad (3.7)$$

Donde:

m= inversa de la pendiente de la curva de calibración.

Absorbancia= absorbancia medida a 652 nm.

La determinación de tensoactivos en la muestra de la descarga ubicada en la Lotización San Juan San Pablo, se muestra a continuación, además los datos de absorbancia de las muestras y la curva de calibración se muestran en el Anexo 5.

$$\text{mg} \frac{\text{SAAM}}{\text{L}} = \frac{1}{0,525} \times 1,697$$

$$\text{mg} \frac{\text{SAAM}}{\text{L}} = 3,23$$

La Figura 3.12 muestra los embudos de separación con muestras de agua residual y la separación de las fases para la determinación de tensoactivos presentes en el agua residual.

**FIGURA 3.12 EMBUDOS DE SEPARACIÓN CON MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA Y EXTRACCIÓN DE FASES.**



ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018

### **Nitrógeno Total Kjeldahl**

El parámetro de Nitrógeno Total Kjeldahl fue determinado por el Centro de Investigación y Control Ambiental (CICAM), los resultados de estos análisis se encuentran en el Anexo 6.

### **Aceites y grasas**

El parámetro de aceites y grasas, fue determinada en el Centro de Investigación y Control Ambiental (CICAM), los resultados de estos análisis se encuentran en el Anexo 6.

### ***Coliformes totales***

El método utilizado fue el APHA 9222 C, basados en la fermentación múltiple, los equipos, materiales, reactivos y procedimiento se describen a continuación:

#### **Equipos:**

- Plancha de calentamiento y agitación.
- Incubadora
- Balanza analítica
- Autoclave
- Refrigerador

#### **Materiales:**

- Erlenmeyer de 1 litro.
- Agitador magnético.
- Dosificador
- Tubos de ensayo de 10 ml y 25 ml
- Tapas metálicas o rosca

#### **Reactivos:**

- Caldo lactosado
- Purpura de bromocresol
- Medio EC
- Agua destilada

#### **Procedimiento:**

##### **Preparación del medio de cultivo para la prueba presuntiva.**

1. Disolver 13 gramos de caldo lactosado y 0,01 g de púrpura de bromocresol en un litro de agua destilada con la ayuda de un agitador magnético y ligero calentamiento.
2. Llenar los tubos de ensayo de 25 ml con 5ml de medio de cultivo.

3. Colocar los tubos en autoclave a 121° C por 15 minutos, para su desinfección.
4. Conservar los tubos en vasos de precipitación tapados con papel aluminio esterilizado.

#### **Preparación solución tampón de fosfatos o agua de dilución.**

1. Colocar 1,25 ml de la solución madre de tampón A en un erlenmeyer de 1 litro.
2. Adicionar 5 ml de la solución madre de tampón B al mismo erlenmeyer de 1 litro.
3. Aforar a 1 litro con agua destilada.
4. Llenar 9 ml de solución tampón en tubos de ensayo de 10 ml de capacidad.
5. Esterilizar los tubos de ensayo en autoclave a 121°C, durante 15 minutos.

#### **Preparación de la muestra.**

1. Homogenizar la muestra.
2. Homogenizar la punta de la micropipeta con la muestra.
3. Colocar 1ml de muestra homogenizada en un tubo de ensayo que contiene agua de dilución, preparado con anterioridad. ( $10^{-1}$ )
4. Homogenizar el tubo del paso anterior con la micropipeta.

#### **Cultivo de coliformes**

1. Tomar 1 ml de la dilución del tubo de la primera inoculación y se colocar en el siguiente tubo de ensayo con agua de dilución.
2. Desechar la punta de la micropipeta.
3. Repetir los 2 pasos anteriores hasta completar las diluciones establecidas para cada muestra.
4. Cultivar las series de diluciones de muestra a 35°C durante dos días, en la incubadora.
5. Pasado los dos días, contar el número de tubos positivos, es decir los que presentan evidentes cambio en la coloración del medio de purpura a amarillo.



Las Figura 3.13 muestra los tubos de ensayo antes y después de la siembra de muestras.

**FIGURA 3.13 MUESTRA DE CALDO LACTOSADO ANTES Y DESPUÉS DE LA INCUBACIÓN.**



ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018

***Coliformes fecales* – prueba confirmativa**

El método empleado fue APHA 9222 C, los materiales, equipos, reactivos y procedimientos se describen a continuación:

**Equipos:**

- Plancha de calentamiento y agitación.
- Agitador magnético.
- Incubadora
- Balanza analítica
- Autoclave

**Materiales:**

- Erlenmeyer de 1 litro.
- Dosificador
- Tubos de ensayo de 25 ml
- Tubos Durham
- Tapas metálicas o rosca

**Reactivos:**

- Medio EC
- Agua destilada

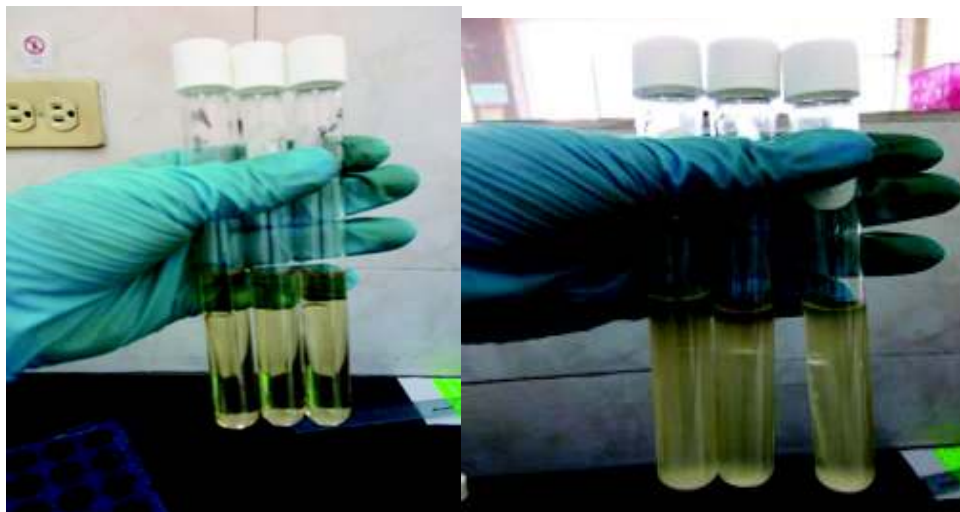
**Procedimiento:****Preparación del medio de cultivo**

1. Disolver 37 g del medio EC, en 1 L de agua destilada con la ayuda de una parrilla de agitación y ligero calentamiento.
2. Colocar 10 ml del medio en tubos de ensayo, que contenga en su interior tubos de Durham invertidos.
3. Tapar los tubos y se esterilizar en autoclave a 121°C, durante 15 minutos.

**Prueba confirmativa para coliformes fecales**

1. Resembrar los tubos positivos de la prueba presuntiva por triple asada, es decir esterilizada al mechero y enfriada, en tubos de fermentación presuntiva negativa que contenga caldo EC.
2. Incubar los tubos a 44,5°C, por 24 horas
3. Realizar la lectura de los tubos a las 24 horas.
4. Tomar como resultado positivo, a los tubos con formación de gas, en el tubo Durham y que tengan turbidez.

La Figura 3.14 muestra los tubos con medio MC antes de la siembra y los tubos que presentan turbidez después de la incubación.

**FIGURA 3.14 TUBOS CON MEDIO EC ANTES DE LA RESIEMBRA Y TUBOS POSITIVOS DE LA PRUEBA CONFIMATIVA PARA CF.**

ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018

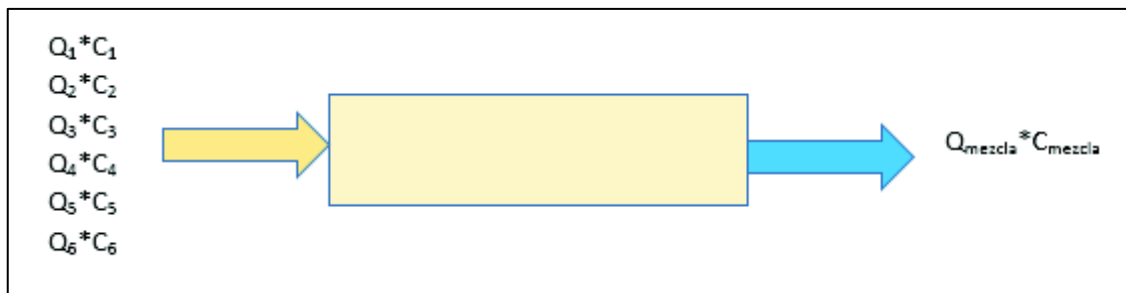
### 3.3 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO

#### 3.3.1 ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO APLICABLES A LA ZONA DE ESTUDIO

Con el fin de reducir las opciones de tratamiento se decidió tomar en cuenta lo establecido por Cisterna & Peña (2010), quienes mencionan que para seleccionar un tratamiento de aguas residuales domésticas es necesario conocer la cantidad de materia orgánica biodegradable que está presente en el efluente de aguas residuales. Por esta razón, es necesario conocer la relación DBO<sub>5</sub>/DQO, que es una aproximación cuantitativa de la biodegradabilidad de un efluente.

Para la determinar esta relación se realizó un balance de masa con el valor de las concentraciones de la DBO<sub>5</sub> y DQO, de las 6 descargas, utilizando la Ecuación 3.8. La Figura 3.15 muestra el esquema del balance de masa, para determinar las concentraciones de DBO<sub>5</sub> y DQO, del agua residual combinada de las 6 descargas.

**FIGURA 3.15 ESQUEMA DEL BALANCE DE MASA**



ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018.

$$C_1 \times Q_1 + C_2 \times Q_2 + C_3 \times Q_3 + C_4 \times Q_4 + C_5 \times Q_5 + C_6 \times Q_6 = C_{mezcla} \times Q_{mezcla} \quad (3.8)$$

$$C_{DBO_5} = 351,7034 \text{ mg/L}$$

$$C_{DQO} = 609,6385 \text{ mg/L}$$

$$\frac{DBO_5}{DQO} = \frac{351,7034 \text{ mg/L}}{609,6385 \text{ mg/L}} = 0,58$$

Metcalf & Eddy (2003), establecen la biodegradabilidad del agua residual urbana, según la relación DBO5/DQO, mencionando que para factores de 0,4 la biodegradabilidad es alta, para factores con valores entre 0,2 y 0,4 la biodegradabilidad es normal y para factores con valores menores a 0,2 la biodegradabilidad es baja. Además, Morató & Pañuela (2009), afirman que para aguas residuales con factores de biodegradabilidad inferiores a 0,4 les corresponden tratamientos físico-químicos, y para aguas residuales con factores de biodegradabilidad mayor a 0,4 le corresponden tratamientos biológicos.

Para las aguas residuales de la “Zona B”, el factor de biodegradabilidad tiene un valor de 0,58; por lo tanto, se debe emplear tratamientos biológicos para depurar estos efluentes.

Los tratamientos biológicos en la actualidad constituyen los sistemas de depuración más habituales, no solo para aguas residuales urbanas, sino para aguas residuales industriales del sector alimenticio, aprovechando la actividad metabólica de los microorganismos (Noyola, Morgan & Güereca, 2013).

La Tabla 3.5 muestra las alternativas de tratamientos biológicos y su viabilidad para la “Zona B”.

**TABLA 3.5 VIABILIDAD DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO PARA LA "ZONA B".**

<b>Tratamientos biológicos aplicables a la “Zona B”</b>		
<b>Alternativa de depuración</b>	<b>Aplicable</b>	<b>No aplicable</b>
Lodos activados convencionales	X	
Lodos activados con aireación extendida	X	
Reactor de lecho de lodos UASB	X	
Sistemas de lagunaje		X
Humedales		X

ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018.

Los sistemas de lagunaje y humedales fueron descartados como opciones de tratamiento, debido a se necesitan grandes extensiones de tierra para su implementación, además estos sistemas depuradores son eficientes para poblaciones menores a 2000 habitantes (Rodríguez & Durán, 2006).

En base a las experiencias de la región y considerando tanto el caudal de las aguas residuales domésticas de la “Zona B”, menor a 200 L/s, con una población futura al 2040 de aproximadamente 300.000 habitantes, se decidió tomar en cuenta los procesos de lodos activados en sus versiones convencional y aireación prolongada los cuales son los más utilizados en lugares con territorios limitados y con una población mayor a 2000 habitantes (Noyola, Morgan & Güereca, 2013).

La depuración de aguas residuales domésticas con reactores UASB, ha sido ampliamente utilizada en los países de zonas tropicales, debido a sus temperaturas altas y estables todo el año; este tratamiento es efectivo tanto con aguas residuales de alta carga orgánica alrededor de 50 kg/día y baja carga orgánica aproximadamente de 1 a 2 kg/día (Lorenzo & Obaya, 2006).

### **3.3.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN**

La técnica de evaluación propuesta en el trabajo de Noyola, Morgan y Güereca, (2013), busca elegir el mejor tratamiento desde el punto de vista técnico, basándose en una matriz de decisión, la cual correlaciona distintos aspectos para la selección de la técnica de depuración de agua residual, en función de calificaciones que se le asigna a cada rubro, según los criterios del evaluador.

Esta técnica permite que la evaluación de tipo cualitativa tienda a ser más objetiva y es así que mientras más experta sea la ponderación y calificación de los procesos, más confiable será la decisión tomada a través de la matriz (Noyola, Morgan & Güereca, 2003).

Para justificar la opción más adecuada se realizó un análisis de las alternativas mediante la marcación de criterios de selección, en tres aspectos: técnico, ambiental y económico (Cuenca & Villa, 2010).

La valoración de cada criterio evaluado en las matrices de selección, están sustentados en los valores y características sugeridos en la literatura.

La matriz de decisión propuesta considera y pondera los siguientes criterios:

### 3.3.2.1 Criterios técnicos

**Eficacia de remoción:** este criterio valora la capacidad de retirar adecuadamente los contaminantes de las aguas residuales domésticas.

**Vida útil:** este criterio proporciona el tiempo que durará en operación la planta de tratamiento de aguas domésticas.

**Requerimiento de área:** espacio requerido para la construcción de la planta de tratamiento.

**Insumos:** dentro de este criterio se evalúa la necesidad de reactivos y equipamientos energéticos en la operación de la planta de tratamiento.

- **Requerimientos de reactivos:** este criterio evalúa la necesidad de usar reactivos químicos para el buen funcionamiento del sistema, o bien para incrementar su eficiencia.
- **Requerimientos energéticos:** los requerimientos de equipo eléctrico son fundamentales en la evaluación de un proceso de tratamiento de aguas residuales, pues impactan de manera directa los costos de operación de la planta.

**Diseño y construcción:** dentro de este criterio se agrupan los criterios de diseño, la aplicabilidad de la técnica y la complejidad en la construcción y equipamiento de la planta de tratamiento.

- **Criterios de diseño:** se refiere a si se tiene información teórica o empírica, tomados de la práctica, la literatura o de los resultados de plantas piloto, para el diseño de la planta de tratamiento
- **Tecnología ampliamente probada:** se evalúa la aplicabilidad de la tecnología en el país, la región o en el ámbito mundial, es decir, evalúa la

existencia de plantas de tratamiento que manejen el sistema que se está proponiendo.

- **Complejidad en la construcción y equipamiento:** se califica en función, de la necesidad de gran cantidad de instrumentación, que aumentaría el tiempo de construcción y de la puesta en operación.

**Operación:** en este criterio se agrupan los conceptos vinculados al funcionamiento de la planta de tratamiento, para garantizar la producción del agua tratada deseada.

- **Flexibilidad de la operación:** se debe conocer si el sistema acepta cambios en su caudal, carga y tipo de contaminantes.
- **Confiabilidad del proceso:** considera la garantía de una operación continúa, en la cual el proceso puede suministrar constantemente un efluente con la calidad requerida.
- **Complejidad de operación del proceso:** se necesita conocer la complejidad de los procesos tanto en condiciones normales y adversas.
- **Requerimientos de personal:** este factor está relacionado tanto con el tamaño de la planta de tratamiento, como con la complejidad de la operación.
- **Disponibilidad de repuestos y centros de servicio:** tiene relación con el mantenimiento preventivo y correctivo del equipo utilizado en la planta de tratamiento de aguas residuales y con la existencia de repuestos.

### 3.3.2.2 Criterios ambientales

**Influencia de la temperatura:** se toma en cuenta debido a que este parámetro afecta la velocidad de los procesos biológicos.

**Producción de ruido:** evalúa la utilización de equipos ruidosos en plantas de tratamiento.

**Contaminación visual:** evalúa si el diseño arquitectónico de la planta se integra con el paisaje de la zona.

**Producción de malos olores:** se evalúa si la planta de tratamiento genera malos olores que podrían afectar a las poblaciones cercanas.

**Producción de vectores:** se evalúa si la tecnología podría generar vectores como: ratas, cucarachas, mosquitos, moscas etc.

**Generación de residuos:** se evalúa la generación de elementos sólidos, líquidos o gaseosos producidos en la operación de la planta de tratamiento.

**Generación de subproductos con valor económico o reutilización:** evalúa en la posible generación de subproductos con valor económico.

### 3.3.2.3 Criterios económicos

**Costos:** se toma en cuenta tanto los costos de inversión como los costos de operación y mantenimiento por habitante servido.



## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1 DIAGNÓSTICO SOBRE LOS NIVELES DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA RESIDUAL EN LA “ZONA B”**

Una vez realizada la caracterización de las aguas residuales de cada una de las descargas ubicadas en: la Lotización San Juan San Pablo, Urbanización Napoleón Ruiz, Cooperativa Los Almendros, Cooperativa La Paquisha, Barrio Asistencia Municipal y Barrio Santa Martha 4, se pudo determinar que efectivamente las aguas residuales de la “Zona B”, de la ciudad de Santo Domingo, se encuentran contaminadas y tienen un alto nivel de carga contaminante; las concentraciones obtenidas en cada uno de los parámetros medidos, sobrepasan los límites máximos permisibles para descargas a cuerpos de agua dulce, establecidos en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente.

Con respecto a la descarga ubicada en la Urbanización Napoleón Ruíz, tuvo concentraciones bajas en todos sus parámetros en comparación con el resto de descargas.

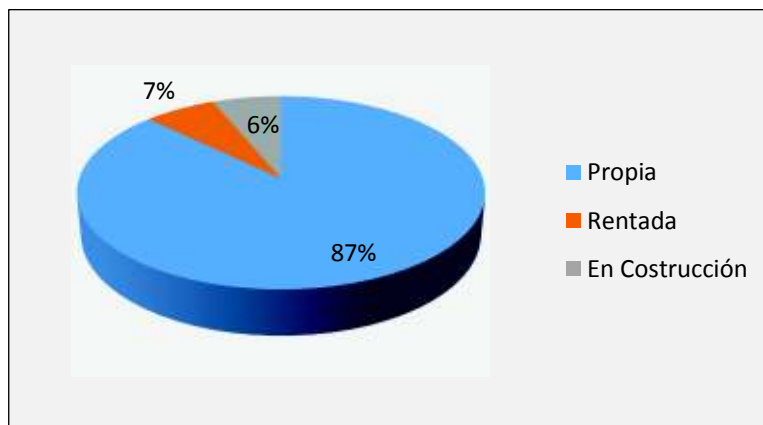
##### **4.1.1 RESULTADO DE LA ENCUESTA A LOS MORADORES DE LA ZONA**

Dando relevancia a lo establecido en el artículo 66 de la Constitución de la República (2008), donde se establece el derecho a una vida digna, que asegure la salud, alimentación y nutrición, agua potable, vivienda, saneamiento ambiental, educación, ...etc.

De las encuestas socioeconómicas- ambientales, aplicadas a los habitantes que viven adyacentes a las descargas de agua residual doméstica de la “Zona B”, se puede observar en la Figura 4.1 que el 87% de las personas encuestadas cuentan con vivienda propia, el 7% vive en una vivienda rentada y el 6% posee viviendas

en construcción o legalización, por lo que se puede inferir que la “Zona B” es un área consolidada en cuanto a vivienda.

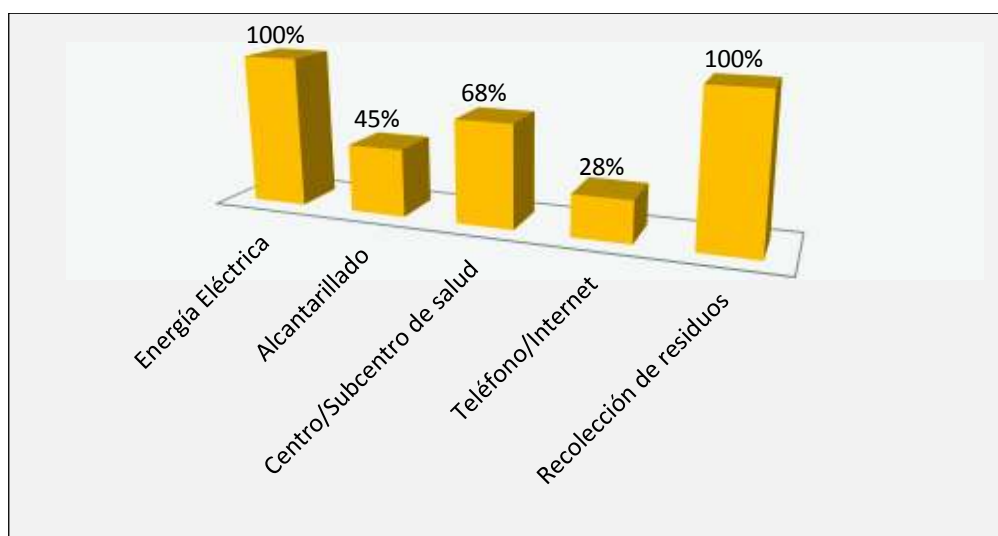
**FIGURA 4.1 ACCESO A VIVIENDA EN LA POBLACIÓN DE LA “ZONA B”, ABRIL 2018.**



ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018

La Figura 4.2 muestra que el 100% de la población encuestada tiene acceso a energía eléctrica, el 68% tiene acceso a servicios de salud, el 45% tienen cobertura de alcantarillado y el 28% tiene acceso a teléfono e internet.

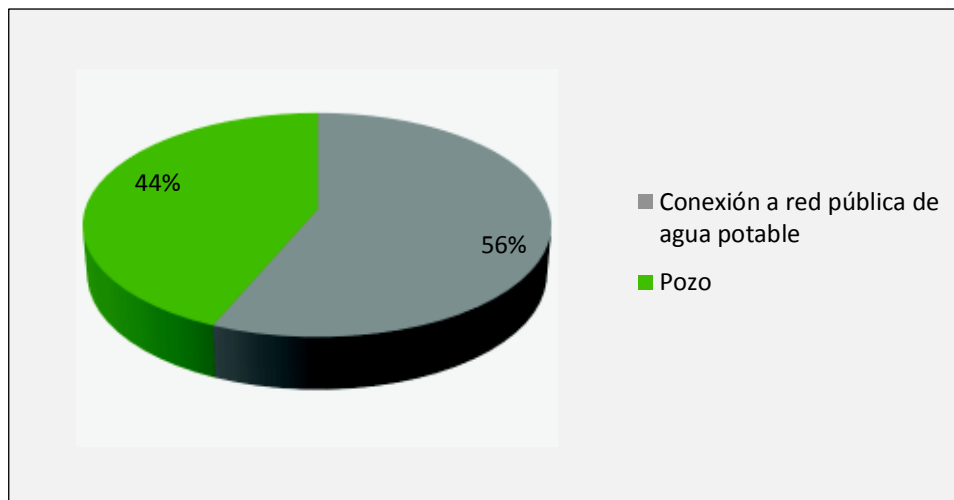
**FIGURA 4.2 COBERTURA DE SERVICIOS BÁSICOS EN LA POBLACIÓN DE LA “ZONA B”, ABRIL 2018.**



ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018

La Figura 4.3 muestra que el 44% de la población tiene acceso a la red pública de agua potable, mientras que el 56% se sirve de agua de pozo, a cual le dan un tratamiento antes de consumirla.

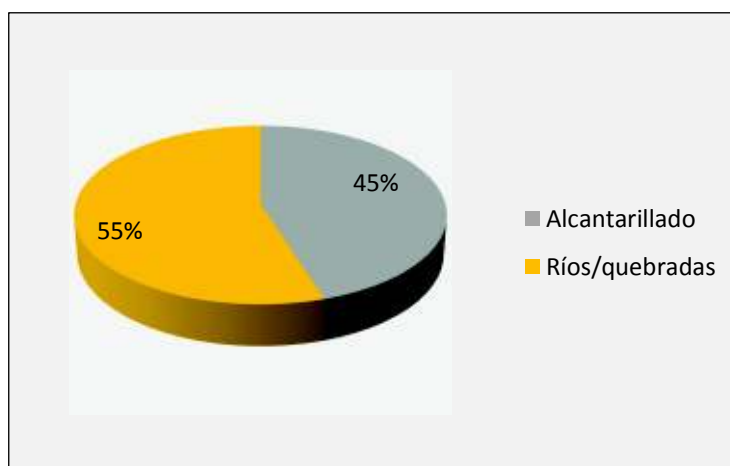
**FIGURA 4.3 ABASTECIMIENTO DE AGUA EN LA “ZONA B”, ABRIL 2018.**



ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018

La Figura 4.4 evidencia que solamente el 45% de la población dispone las aguas residuales al alcantarillado, mientras que el 55% de las personas no tienen conexión al sistema de alcantarillado y sus aguas residuales son vertidas en los ríos y quebradas cercanos a sus domicilios.

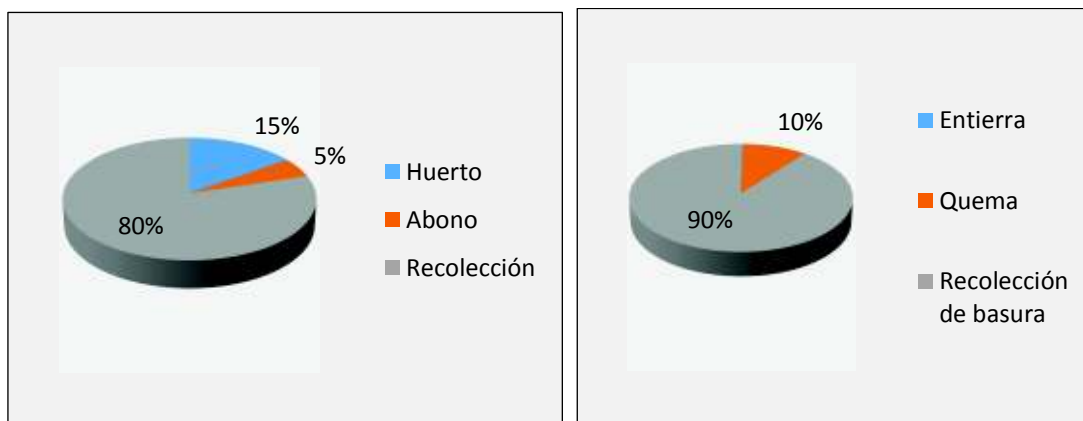
**FIGURA 4.4 COBERTURA DE ALCANTARILLADO EN LA “ZONA B”, ABRIL 2018.**



ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018

En cuanto a la recolección de basura la cobertura es del 100% en la “Zona B”, pero en cuanto a los residuos orgánicos un 15% de pobladores los distribuyen en su huerto o terreno, mientras que un 5% lo usa como material de abono. En cuanto a los residuos inorgánicos un 10% de pobladores quema estos desechos debido, a que los lugares donde el camión de la basura los recoge están lejos de su vivienda, tal como se observa en la Figura 4.5.

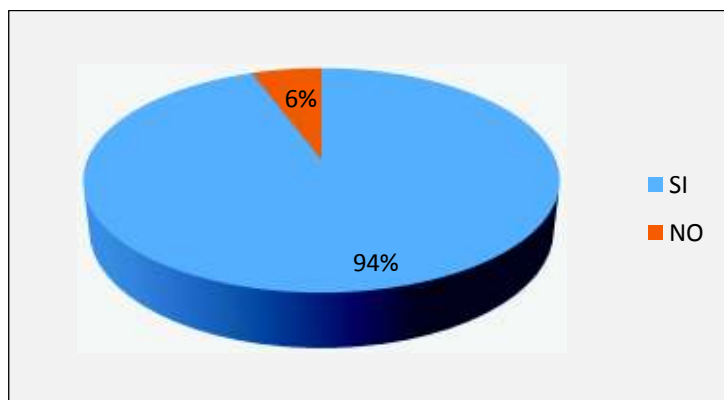
**FIGURA 4.5 DISPOSICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS EN LA “ZONA B”, ABRIL 2018.**



ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018

La Figura 4.6 muestra que el 94% de la población encuestada piensa que la disposición actual de aguas residuales causan afecciones a la salud y el 6% cree que no.

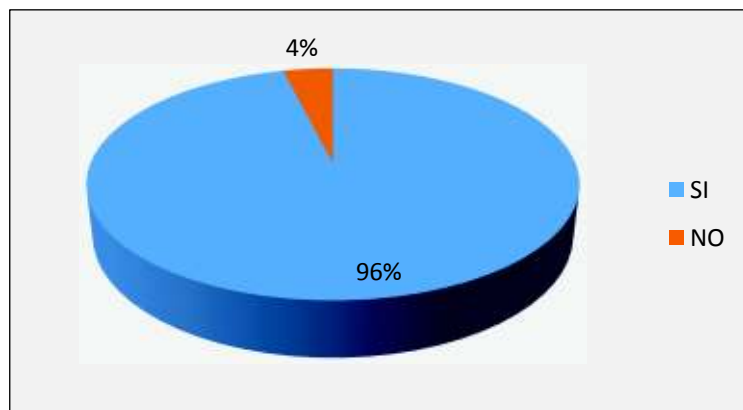
**FIGURA 4.6 PERCEPCIÓN DE LA POBLACIÓN SOBRE LA AFECTACIÓN A LA SALUD POR LA DISPOSICIÓN ACTUAL DE LAS AGUAS RESIDUALES.**



ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018.

La Figura 4.7 evidencia que el 96% de la población encuestada está de acuerdo en que la disposición actual de las aguas residuales afecta al medio ambiente y tan solo el 4% piensa que no.

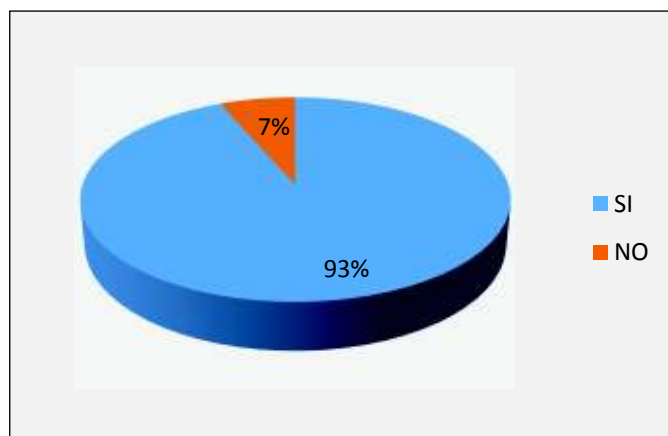
**FIGURA 4.7 IMPACTO AL MEDIO AMBIENTE POR DISPOSICIÓN ACTUAL DE AGUAS RESIDUALES EN LA “ZONA B”, ABRIL 2018.**



ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018

La Figura 4.8 muestra que el 93% de personas percibe que es necesario la implementación de un tratamiento para las aguas residuales antes de que estas sean vertidas a los ríos, y un 7% no está de acuerdo.

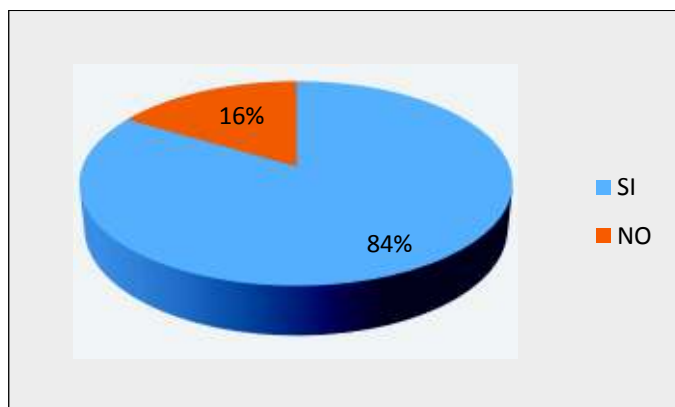
**FIGURA 4.8 IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA “ZONA B”, ABRIL 2018.**



ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018

La Figura 4.9 evidencia que el 84% de la población encuestada estaría dispuesta a pagar un rubro mensual, para que se trate las aguas residuales, mientras que un 16% no estaría de acuerdo en pagar ninguna cuota.

**FIGURA 4.9 PAGO MENSUAL PARA EL SERVICIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA “ZONA B”, ABRIL 2018.**



ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018

#### **4.1.2 MANEJO ACTUAL DE LAS AGUAS RESIDUALES**

De acuerdo al Gobierno Autónomo Descentralizado de Santo Domingo (2014), la ciudad cuenta con 150 plantas de tratamiento primario de aguas residuales, ubicadas en diversas cooperativas de vivienda y barrios, pero la mayoría de las plantas de tratamiento se encuentran deficientes de mantenimiento e inoperables.

El principal problema en la “Zona B” de Santo Domingo radica en que, la mayor parte del área no cuenta con un sistema de alcantarillado, por lo que descargan las aguas residuales a las quebradas y ríos cercanos, como se observa en la Figura 4.10.

**FIGURA 4.10 DESCARGA DIRECTA DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS HACIA CUERPOS RECEPTORES EN LA "ZONA B", MARZO 2018.**



ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018

Sin embargo, el sistema de alcantarillado implementado en algunas áreas de la ciudad es incompleto debido a que no posee interceptores ni colectores; por lo tanto, las aguas residuales son conducidas sin tratamiento hacia los ríos más cercanos (PDOT Santo Domingo, 2015).

Al realizar las encuestas y visitas a la “Zona B”, se pudo conocer que las aguas residuales en algunos sectores son conducidas hacia pozos sépticos, como se muestra en la Figura 4.11, los cuales tienen como función separar los sólidos sedimentables y aceites y grasas, para posteriormente conducir las aguas residuales hacia el cuerpo hídrico. Los pozos no son limpiados con regularidad disminuyendo su eficacia, la purga de los pozos está a cargo de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Santo Domingo.

**FIGURA 4.11 POZO SÉPTICO DE LA COOPERATIVA LOS ALMENDROS, MARZO 2018.**



ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018.

## 4.2 RESULTADOS DE LA MEDICIÓN DE CAUDALES

### 4.2.1 CAUDALES HORARIOS DE LAS DESCARGAS

Después del aforo volumétrico realizado en cada una de las descargas de las aguas residuales domésticas de la “Zona B”, se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 4.1:

**TABLA 4.1 CAUDALES DE LAS SEIS DESCARGAS DE ARD, “ZONA B”, ABRIL 2018.**

Hora de aforo	SECTORES					
	Lotización San Juan San Pablo	Urbanización Napoleón Ruiz	Cooperativa La Paquisha	Barrio Santa Martha sector 4	Barrio Asistencia Municipal	Cooperativa Los Almendros
	Caudales (L/s)					
07h30	0,2742	0,1060	0,2249	0,5816	0,5260	0,2344
08h30	0,0948	0,1152	0,2704	0,1871	0,2179	0,1198
09h30	0,2914	0,1190	0,2393	0,2370	0,3749	0,0744
10h30	0,2106	0,1204	0,2649	0,2033	0,3004	0,1126
11h30	0,5034	0,1167	0,2358	0,2986	0,2265	0,0667

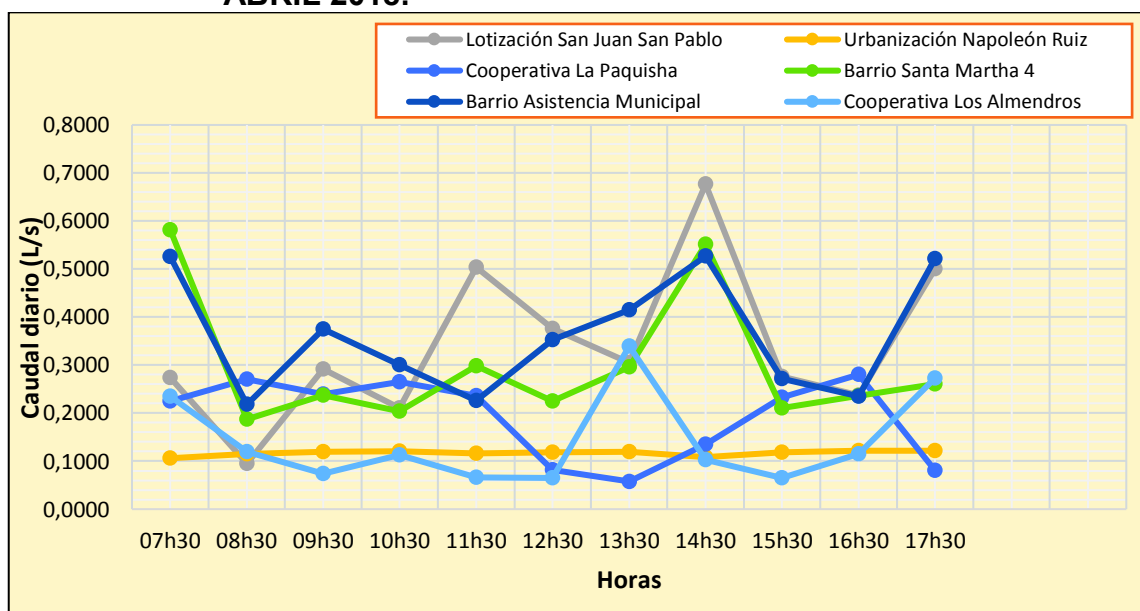


**TABLA 4.1 CONTINUACIÓN**

12h30	0,3762	0,1181	0,0816	0,2254	0,3531	0,0649
13h30	0,3052	0,1193	0,0577	0,2965	0,4150	0,3394
14h30	0,6764	0,1082	0,1345	0,5515	0,5267	0,1030
15h30	0,2765	0,1178	0,2331	0,2107	0,2721	0,0653
16h30	0,2373	0,1211	0,2801	0,2359	0,2349	0,1152
17h30	0,5000	0,1216	0,0802	0,2604	0,5218	0,2724

ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018.

La Figura 4.12 muestra los caudales horarios de las descargas de la “Zona B” de Santo Domingo, donde se visualiza que los picos más altos se producen a las 14:30, caudal aproximado de 0,5 a 0,6 L/s, en las descargas ubicadas en: Lotización San Juan y San Pablo, Barrio Santa Martha sector 4 y Barrio Asistencia Municipal. Mientras que para la descarga ubicada en la Cooperativa los Almendros su pico más alto se produce a la 13:30, con un caudal aproximado de 0,3 L/s; para la descarga ubicada en la Cooperativa La Paquisha su pico más alto se produce a las 16:30, con un valor aproximado de 0,2 L/s. Además, se observa que en la Urbanización Napoleón Ruíz se mantiene un caudal constante de 0,12 L/s, durante todo el período de tiempo en que se realizó el aforo de caudales.

**FIGURA 4.12 CAUDALES HORARIOS DE LAS DESCARGAS, “ZONA B”, ABRIL 2018.**

ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018

## 4.2.2 CAUDALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS

### Lotización San Juan San Pablo

La Figura 4.13 muestra la descarga ubicada en la lotización San Juan San Pablo, los caudales máximos se producen a las 11:30, 14:30 y 17:30, con un pico máximo de 0,6764 L/s a las 14:30, mientras que el pico mínimo se produce a las 8:30, con un caudal de 0,0948 L/s.

**FIGURA 4.13 CAUDALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS EN LA DESCARGA UBICADA EN LA LOTIZACIÓN SAN JUAN SAN PABLO, ABRIL 2018.**



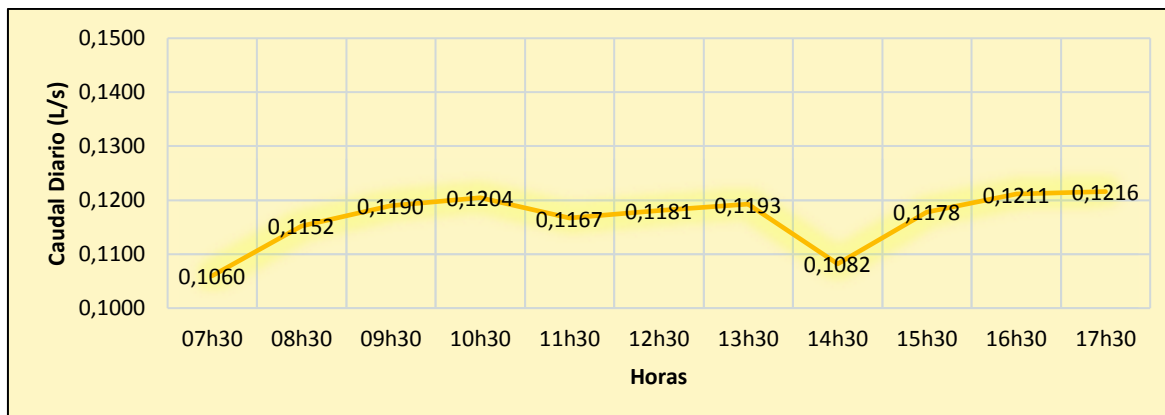
ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018

### Urbanización Napoleón Ruiz

La Figura 4.14 muestra que en la descarga ubicada en la Urbanización Napoleón Ruiz, los caudales máximos se producen a las 10:30, 16:30 y 17:30, con un pico máximo de 0,1216 L/s a las 17:30, mientras que su pico mínimo es de 0,1060 L/s a las 7:30.

A pesar de mostrar picos mínimos y máximos es importante acotar que el caudal en forma general se mantiene constante, variando muy poco en el transcurso del día.

**FIGURA 4.14 CAUDALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS EN LA DESCARGA URBANIZACIÓN NAPOLEÓN RUIZ, ABRIL 2018.**

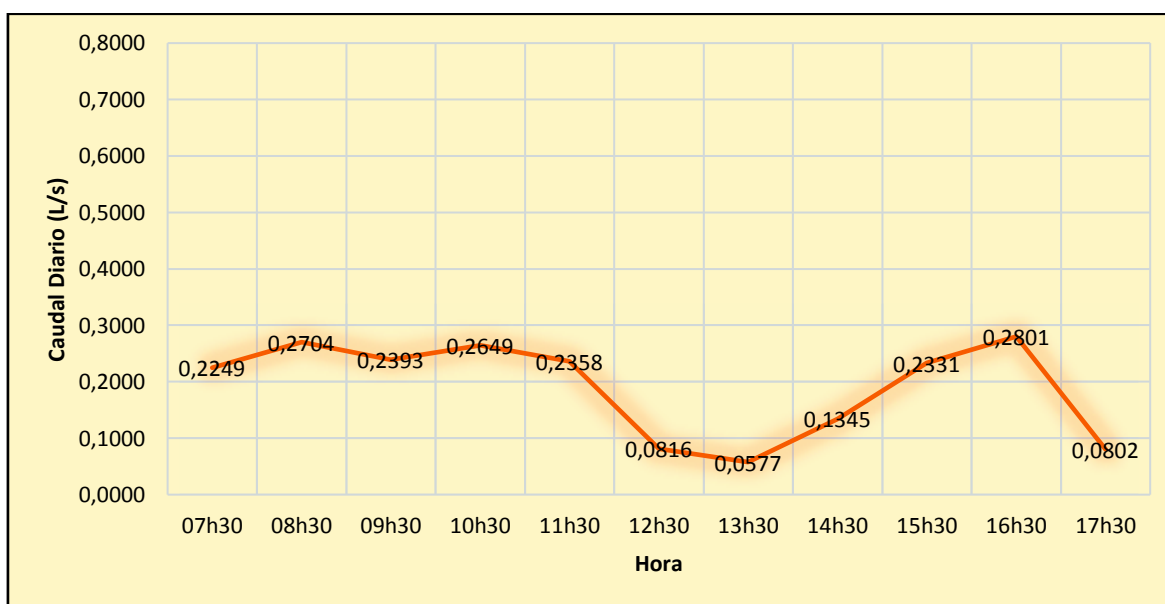


ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018

### Cooperativa La Paquisha

Se puede observar en la Figura 4.15 que en la descarga ubicada en la Cooperativa La Paquisha, los caudales máximos se producen a las 8:30, 10:30 y 16:30, con un pico máximo de 0,2801 L/s a las 16:30, mientras su pico mínimo es de 0,0577 L/s a las 13:30.

**FIGURA 4.15 CAUDALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS EN LA DESCARGA COOPERATIVA LA PAQUISHA, ABRIL 2018.**

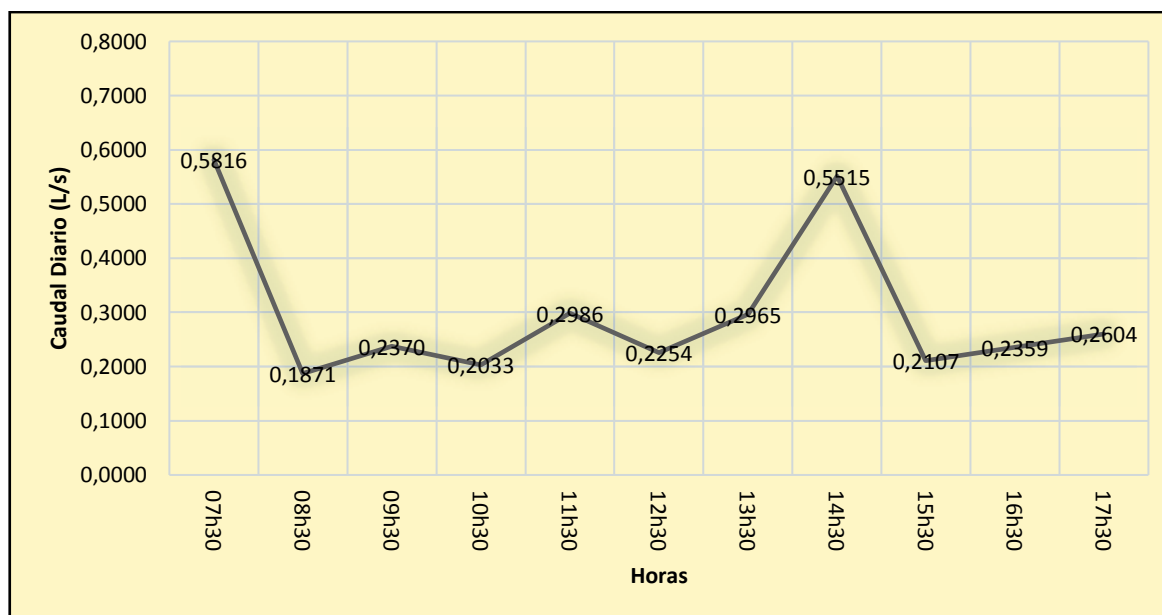


ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018

### Barrio Santa Martha sector 4

La Figura 4.16 muestra que en la descarga ubicada en el Barrio Santa Martha sector 4, los caudales máximos se producen a las 7:30 y 14:30, con un pico máximo de 0,5515 L/s a las 14:30, en tanto que su pico mínimo es de 0,1871 L/s a las 8:30.

**FIGURA 4.16 CAUDALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS EN LA DESCARGA BARRIO SANTA MARTHA SECTOR 4, ABRIL 2018.**

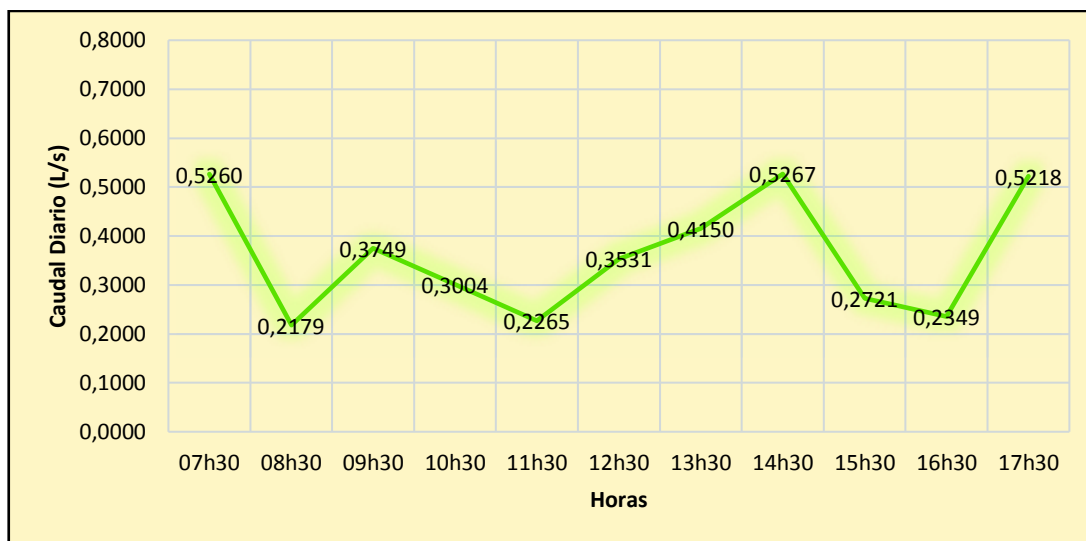


ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018

### Barrio Asistencia Municipal

La Figura 4.17 muestra que en la descarga ubicada en el Barrio Asistencia Municipal, cuyos caudales máximos se producen a las 7:30, 14:30 y 17:30, con un pico máximo de 0,5267 L/s a las 14:30, en tanto que su pico mínimo es de 0,2179 L/s a las 8:30.

**FIGURA 4.17 CAUDALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS EN LA DESCARGA ASISTENCIA MUNICIPAL, ABRIL 2018.**

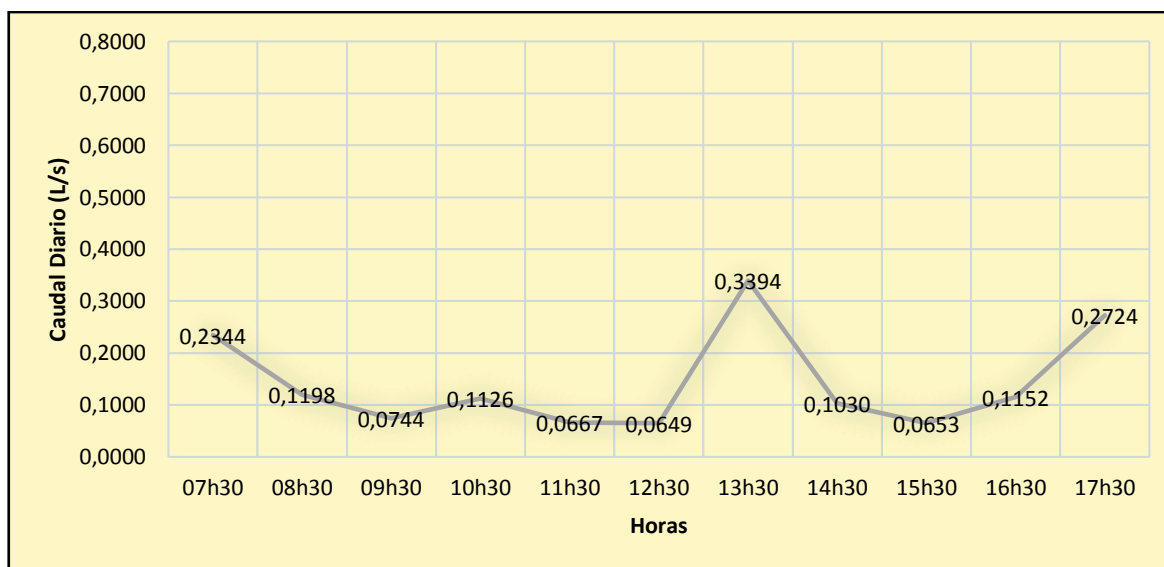


ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018.

### Cooperativa Los Almendros

La Figura 4.18 muestra que en la descarga ubicada en la Cooperativa Los Almendros, los caudales máximos se producen a las 7:30, 13:30 y 17:30, con un pico máximo de 0,3394 L/s a las 13:30, mientras que su pico mínimo es de 0,0649 L/s a las 12:30.

**FIGURA 4.18 CAUDALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS EN LA DESCARGA COOPERATIVA LOS ALMENDROS, ABRIL 2018.**



ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018

### 4.3 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL

Al realizar dos muestreos compuestos de las descargas de las aguas residuales domésticas de la “Zona B” de Santo Domingo, se obtuvieron dos valores de cada parámetro, y para su discusión y análisis se realizó un promedio de los mismos.

#### 4.3.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Los resultados de los análisis de los parámetros físicos de las aguas residuales domésticas de la “Zona B”, recolectados durante los dos muestreos realizados en los meses de marzo y abril del 2018, se encuentran en el Anexo 7.

La Tabla 4.2 presenta un resumen de los valores promedio de los parámetros físicos, de las seis descargas de aguas residuales domésticas, ubicadas en la “Zona B” de Santo Domingo, en el período marzo - abril de 2018.

**TABLA 4.2 PARÁMETROS FÍSICOS DE LAS SEIS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA “ZONA B”, MARZO - ABRIL 2018.**

Parámetro	Unidad	Descargas					
		Lotización San Juan San Pablo	Urbanización Napoleón Ruiz	Coop. La Paquisha	Barrio Santa Martha sector 4	Barrio Asistencia Municipal	Coop. Los Almendros
Conductividad	μS/cm	639	225	656	702	644	1529
Temperatura	°C	25	25	25	25	25	25
Turbiedad	NTU	380	12	117	142	203	310
Sólidos sedimentables	mL/L	0,8	0,1	2,5	2	0,2	1,2
Sólidos totales	mg/L	629	155	650	898	512	1044
Sólidos disueltos	mg/L	476	182	350	716	456	676
Sólidos suspendidos	mg/L	170	12	116	246	130	190

ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018.

#### Conductividad

Los valores de conductividad de las seis descargas de aguas residuales de la “Zona B” de Santo Domingo se encuentran en un rango de 200 a 1500 μS/cm. De

acuerdo a Torres (2015), los valores comunes de conductividad en aguas residuales urbanas se encuentran en el rango de 500 a 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , por lo tanto, casi todas las descargas de aguas residuales de la “Zona B” están dentro de este rango, a excepción de la descarga ubicada en la Urbanización Napoleón Ruiz que está ligeramente bajo este rango y la descarga ubicada en la Cooperativa Los Almendros, ligeramente sobrepasa el rango supuesto.

En las descargas de aguas residuales la conductividad se atribuye al incremento en la concentración de  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y otras sales disueltas (RED MAPSA, 2007).

Valores elevados de conductividad  $>3000 \mu\text{S}/\text{cm}$  afectan los procesos biológicos de depuración, impidiendo el desarrollo de una comunidad estable de microorganismos y formando bacterias filamentosas más resistentes que debilitan la estructura flocular del fango activo reduciendo su densidad y su velocidad de sedimentación.

### **Temperatura**

La temperatura de las aguas residuales de las descargas monitoreadas en la “Zona B” se mantiene constante y se encuentra dentro de los límites máximos permisibles emitidos por el Texto Unificado de Legislación Secundaria Ambiental (2015), que menciona que las descargas hacia cuerpos de agua dulce deberán tener una temperatura  $<35^\circ\text{C}$ , para permitir la supervivencia de la biota rivereña (flora y fauna).

### **Turbiedad**

En la Tabla 4.2 se muestran los resultados de turbiedad de las seis descargas de aguas residuales cuyos valores se encuentran en un rango de 10 a 400 NTU.

Debido al alto contenido de sólidos suspendidos y materia orgánica que poseen las aguas residuales domésticas, es razonable que el valor de la turbiedad sea considerablemente alto, generando en el agua residual un color café oscuro característico.

En cuerpos de agua dulce estos niveles de turbiedad son un grave problema cuando las aguas residuales son descargadas sin tratamiento a cuerpos hídricos, ya que reducen o impiden el proceso de fotosíntesis debido a que las partículas suspendidas bloquean la penetración de la luz solar, lo que provoca la disminución de oxígeno disuelto en el cuerpo receptor (MOPT, s.f.).

### **Sólidos sedimentables**

Las descargas de aguas residuales ubicadas en la Cooperativa La Paquisha, Barrio Santa Martha sector 4, y Cooperativa Los Almendros, presentan valores de sólidos sedimentables de 2.5, 2, y 1.2 mL/L respectivamente, superiores a los exigidos por el TULSMA (2015).

De acuerdo a Metcalf & Eddy (1995) y Muñoz & Aldás (2017), la concentración de sólidos sedimentables en las aguas residuales de la “Zona B” es baja debido a que presentan concentraciones inferiores a los 5 mL/L. Por lo tanto, las aguas residuales domésticas al ser depuradas en un proceso de tratamiento en un sedimentador primario no formarán una gran cantidad de lodos, debido a que las concentraciones de sólidos sedimentables no son representativas.

### **Sólidos totales**

La concentración de sólidos totales registrados en las descargas de la “Zona B” se encuentran en un rango de 150 a 1100 mg/L, debajo de los límites máximos permisibles emitidos por el TULSMA (2015).

De acuerdo a la Tabla 2.2 el nivel de contaminación de las descargas podría calificarse como medio, debido a que las concentraciones de sólidos totales bordean los 720 mg/L, a excepción de la descarga ubicada en la Urbanización Napoleón Ruiz.

El agua residual podría decirse que presenta suficiente cantidad de materia orgánica e inorgánica, que serviría de alimento a varios microorganismos durante el tratamiento biológico de depuración.



Este parámetro indica la cantidad de materia orgánica e inorgánica presente en las aguas residuales, sin tomar en cuenta de donde provienen y la forma de los mismos (MOPT s.f.).

### **Sólidos disueltos**

Los valores de sólidos disueltos de las seis descargas de aguas residuales de la “Zona B” de Santo Domingo se encuentran en un rango de 180 a 720 mg/L.

De acuerdo a la Tabla 2.2 el nivel de contaminación de las aguas residuales de la “Zona B” podría calificarse como fuerte debido a que sus concentraciones son cercanas a los 500 mg/L. La presencia de sólidos disueltos determina la salinidad que presenta el agua residual y está asociada con la conductividad (Pérez, León & Delgadillo, 2013).

### **Sólidos suspendidos**

Los valores de concentración de sólidos suspendidos de las aguas residuales de la “Zona B” a excepción de la descarga ubicada en la Urbanización Napoleón Ruiz se encuentran en un rango de 100 a 250 mg/L sobrepasando los límites máximos permisibles emitidos por el TULSMA (2015). El nivel de contaminación de las aguas residuales podría calificarse como baja debido a que los valores son menores a 300 mg/L.

Los sólidos orgánicos pueden ser utilizados como alimento por las bacterias, que de esta forma los estabilizan durante el proceso de depuración. Por lo tanto, la medida de los sólidos orgánicos proporciona una idea de la tratabilidad biológica del agua. Por otra parte, los sólidos inorgánicos son sustancias minerales, y algunas de ellas son utilizadas también por los microorganismos (MOPT, s.f.).

## **4.3.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS**

Los resultados de los análisis de parámetros químicos de los dos muestreos se encuentran en el Anexo 7.

La Tabla 4.3 muestra los valores promedio registrados en los análisis químicos de las seis descargas de aguas residuales domésticas en la “Zona B” de Santo Domingo, en el período marzo - abril de 2018.

**TABLA 4.3 PARÁMETROS QUÍMICOS DE LAS SEIS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA “ZONA B”, MARZO - ABRIL 2018.**

Parámetro	Unidad	Descargas					
		Lotización San Juan San Pablo	Urbanización Napoleón Ruiz	Coop. La Paquisha	Barrio Santa Martha sector 4	Barrio Asistencia Municipal	Coop. Los Almendros
Aceites y grasas	mg/L	13,5	<5	47,1	62,5	25,7	30,1
Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días	mg/L	310	3	500	420	320	475
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	541	8	745	707	513	1125
Fósforo total	mg/L	14,5	1,9	11,3	17,1	8,3	10,2
Nitrógeno total Kjeldahl	mg/L	15	1,9	29,6	19,9	37,5	116,3
pH	-	7,6	6,6	6,9	6,9	7,1	7,7
Oxígeno disuelto	mg/L	7,59	5,23	3,97	4,54	3,53	4,88
Tensoactivos	mg/L	5,01	1,45	4,60	5,30	4,77	4,92

ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018

### Aceites y Grasas

Los resultados obtenidos en el análisis de aceites y grasas para las seis descargas de aguas residuales de la “Zona B” se encuentran en un rango de 3 a 63 mg/L, sobrepasando los límites máximos permisibles emitidos por el TULSMA (2015). Sin embargo, de acuerdo a la Tabla 2.2 la contaminación de las aguas residuales podría calificarse como baja si se toma en cuenta el nivel de referencia de 50 mg/L.

Las cantidades grandes de aceite y grasa en aguas residuales pueden causar problemas en las tuberías del sistema de alcantarillado. La grasa se acumula en el interior de las tuberías disminuyendo su capacidad, y por lo tanto, requiere que los sistemas sean limpiados de manera frecuente. Además, produce afecciones

aguas arriba de la depuradora, provocando incrustaciones en las canalizaciones que conducen las aguas residuales hasta las depuradoras. El aceite y la grasa también obstaculizan el tratamiento eficaz en la planta de tratamiento de aguas residuales.

En cuerpos hídricos pueden generar capas de grasas sobre la superficie de los cuerpos de agua que pueden impedir la penetración de la luz solar (MOPT, s.f.).

### **Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días**

El TULSMA (2015), exige como límite máximo permisible de  $DBO_5$  en las descargas de aguas residuales, una concentración de 100 mg/L; los valores de concentración de todas las descargas de aguas residuales no cumplen con la normativa, excepto la ubicada en la Urbanización Napoleón Ruiz, ya que se encuentra en un rango de 300 a 500 mg/L. De acuerdo a la Tabla 2.2 el nivel de contaminación de las descargas podría calificarse como fuerte, las concentraciones son cercanas a 500 mg/L.

La  $DBO_5$  presente en aguas residuales es un indicador de que existe materia orgánica biodegradable, como ocurre generalmente en aguas residuales municipales (Muñoz, et al., 2011). Es una manera de estimar la cantidad de oxígeno que se necesita para estabilizar el carbono orgánico y de conocer con qué rapidez este material va a ser metabolizado por las bacterias que normalmente se encuentran presentes en las aguas residuales. Por lo tanto, existe alta proliferación de microorganismos que degradan la materia orgánica en las descargas de aguas residuales domésticas y, además, las altas concentraciones de  $DBO_5$  se explican por la alta población en la “Zona B” de Santo Domingo.

### **Demanda Química de Oxígeno**

Se observa en la Tabla 4.3 que todas las descargas de aguas residuales, excepto la ubicada en la Urbanización Napoleón Ruiz, superan los límites máximos permisibles emitidos por el TULSMA (2015), debido a que los valores de la concentración se encuentran en un rango de 500 a 1200 mg/L. El nivel de contaminación de las descargas de aguas residuales podría calificarse como

fuerte, debido a que las concentraciones de las aguas residuales son próximas a 1000 mg/L, lo que indica que existe oxidación rápida de materia orgánica en las aguas residuales, lo que provoca putrefacción y malos olores.

### **Fósforo total**

Las concentraciones de fósforo total en las descargas de las aguas residuales, excepto las ubicadas en el Barrio Asistencia Municipal y Urbanización Napoleón Ruiz superan el valor de 10 mg/L emitido por el TULSMA (2015), debido a que sus valores se encuentran en un rango de 10 a 18 mg/L. La contaminación podría calificarse como fuerte debido a que las concentraciones bordean los 15 mg/L. La presencia de fósforo en exceso produce un crecimiento incontrolado de algas ocasionando la eutrofización de los ríos aledaños a las descargas. Además, una gran cantidad de nutrientes en las aguas residuales provoca problemas en los sistemas de tratamiento.

### **Nitrógeno total Kjeldahl**

De acuerdo a la Tabla 4.3 las descargas de aguas residuales en la “Zona B” de Santo Domingo excepto la descarga ubicada en la Urbanización Napoleón Ruiz, contienen una gran concentración de nitrógeno kjedahl cuyos valores se encuentran en un rango de 15 a 120 mg/L sobrepasando los límites máximos permisibles establecidos por el TULSMA (2015). El nivel de contaminación de las aguas residuales domésticas de la “Zona B” podría calificarse como baja en las descargas ubicadas en la Lotización San Juan San Pablo y el Barrio Santa Martha sector 4, contaminación media en las descargas ubicadas en la Cooperativa La Paquisha y el Barrio Asistencia Municipal y contaminación fuerte en la descarga ubicada en la Cooperativa Los Almendros.

Estos resultados indican que en las aguas residuales hay una cantidad considerable de nutrientes que son consumidos por los microorganismos y, además, afectan a los cuerpos hídricos provocando la eutrofización.

### **pH**

Las aguas residuales de la “Zona B” de Santo Domingo tienen prácticamente un valor de pH neutro (6,6 a 7,7 unidades). El pH es muy importante porque varias

bacterias y microorganismos dependen de este parámetro para su desarrollo y crecimiento.

### **Oxígeno disuelto**

De acuerdo a Peña (2007), los ríos y riachuelos requieren mínimo de 5 – 6 mg/L de oxígeno disuelto para que exista vida acuática. Los niveles de oxígeno inferiores a 3 mg/L perjudican a los microorganismos en el río y por debajo de 2 mg/L los peces mueren. Por lo tanto, como se observa en los resultados de la Tabla 4.3, la mayoría de las descargas presentan concentraciones inferiores a los 5 mg/L, lo que afectaría la vida acuática en los cuerpos de agua debido a que los peces y otros microorganismos se verían perjudicados por la falta de oxígeno.

### **Tensoactivos**

Los valores de las concentraciones de tensoactivos de las aguas residuales domésticas de la “Zona B” de Santo Domingo se encuentran en un rango de 1 a 6 mg/L sobrepasando la concentración máxima de 0,5 mg/L emitida por el TULSMA (2015).

Los tensoactivos o detergentes provocan en el agua la reducción del oxígeno y por lo tanto, la vida acuática en los cuerpos de agua dulce podría verse afectada sobre todo en microorganismos aerobios.

### **4.3.3 CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS**

Los resultados de los análisis de parámetros microbiológicos, de los dos muestreos se encuentran en el Anexo 7.

La Tabla 4.4 muestra los valores promedio registrados de los análisis microbiológicos, de las seis descargas de aguas residuales domésticas en la “Zona B” de Santo Domingo en el período marzo - abril de 2018.

**TABLA 4.4 PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS DE LAS SEIS DESCARGAS DE LA ZONA B, MARZO - ABRIL 2018.**

Parámetro	Unidad	Lotización San Juan San Pablo	Urbanización Napoleón Ruiz	Coop. La Paquisha	Barrio Santa Martha sector 4	Barrio Asistencia Municipal	Coop. Los Almendros
Coliformes Totales	NMP/100mL	$1,1 \times 10^9$	$2,1 \times 10^5$	$2,4 \times 10^{10}$	$2,4 \times 10^{10}$	$4,6 \times 10^{10}$	$4,6 \times 10^{10}$
Coliformes Fecales	NMP/100mL	$7,5 \times 10^6$	$1,5 \times 10^5$	$1,5 \times 10^7$	$2 \times 10^8$	$1,5 \times 10^6$	$2,1 \times 10^8$

ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018.

### ***Coliformes totales***

Los resultados de los análisis de *coliformes totales* se muestran en la Tabla 4.4 y el nivel de contaminación de las descargas podría calificarse como fuerte.

Las bacterias *coliformes totales* están conformadas por todos los bacilos Gram-negativos aerobios o anaerobios, facultativos, no esporulados, que son perjudiciales para la salud. Mientras mayor sea la cantidad de coliformes en el agua residual doméstica mayor es la probabilidad de una contaminación por medio natural de excrementos (MOPT, s.f.).

### ***Coliformes fecales***

La Tabla 4.4 muestra los resultados obtenidos mediante análisis de *coliformes fecales* de las seis descargas de aguas residuales de la “Zona B” de Santo Domingo, donde se evidencia una contaminación fuerte por parte de estas bacterias.

Las bacterias *coliformes fecales* están conformadas por las bacterias Gram negativas, la más conocida es la *Escherichia Coli*. La presencia en el agua residual de *coliformes fecales* indica que el agua ha sido contaminada por heces fecales y puede ocasionar enfermedades como la cólera y disentería (MOPT, s.f.).

#### **4.4 CARGA CONTAMINANTE EN LA “ZONA B” DE SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS**

De acuerdo a la EPA (1998), la carga contaminante es la masa de contaminante por unidad de tiempo, que es vertida por una corriente residual de una determinada fuente, en el caso de esta investigación, las aguas residuales de la “Zona B” de Santo Domingo.

##### **4.4.1 DETERMINACIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE DE LAS DESCARGA**

Para aguas residuales domésticas los parámetros de mayor importancia para la determinación de carga contaminante son sólidos suspendidos, DBO<sub>5</sub>, DQO, Nitrógeno Total Kjeldahl y Fósforo Total (Rosa, 1998).

La carga contaminante de las aguas residuales domésticas de la “Zona B” de la ciudad de Santo Domingo, se determinó utilizando las concentraciones de los parámetros de DBO<sub>5</sub>, DQO, NTK y PT determinadas en el laboratorio y el caudal registrado durante los aforos, como se muestra en la Ecuación 4.1:

$$\dot{m}=C \times Q \quad (4.1)$$

Donde:

$\dot{m}$  = carga contaminante o flujo másico (kg/d)

C = concentración del parámetro contaminante (kg/l)

Q = Caudal del agua residual (L/día)

**TABLA 4.5 CARGAS CONTAMINANTES DE LAS SEIS DESCARGAS DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA DE LA “ZONA B”, ABRIL 2018.**

Carga Contaminante (kg/día)	Descargas					
	Lotización San Juan San Pablo	Urbanización Napoleón Ruiz	Coop. La Paquisha	Barrio Santa Martha sector 4	Barrio Asistencia Municipal	Coop. Los Almendros
Sólidos suspendidos	5,002	0,121	1,916	6,353	4,053	2,340
Demanda Bioquímica de Oxígeno 5	9,121	0,030	8,257	10,847	9,977	5,851
Demanda Química de Oxígeno	15,918	0,081	12,303	18,259	15,994	13,857
Fósforo Total	0,427	0,019	0,187	0,442	0,259	0,126
Nitrógeno Total Kjeldahl	0,441	0,019	0,489	0,514	1,169	1,433

ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018.

La Tabla 4.5 muestra las cargas contaminantes en términos de sólidos suspendidos, DBO<sub>5</sub>, DQO, PT y NT, de las seis descargas de agua residual de la “Zona B”. Los aportes per cápita referenciales se tomaron de la Norma Peruana OS 90 (2015). La carga contaminante en términos de sólidos suspendidos oscila entre valores de 0,12 a 6,35 kg/día, con una población equivalente de 220 personas, tomando como referencia la contribución per cápita de 90 g/hab.día; en tanto que la carga contaminante en términos de DBO<sub>5</sub> toma valores entre 0,03 y 10,85 kg/día, con una población equivalente de 882 personas, tomando como contribución per cápita 50 g/hab.día.

La carga contaminante en términos de DQO muestra valores entre 0,08 y 18,26 kg/día, con una población equivalente de 764 personas, tomando como valor referencial de contribución per cápita 100 g/hab.día; mientras que la carga contaminante en términos de PT presenta valores entre 0,02 hasta 0,44 kg/día, con una población equivalente de 486 personas, tomando un valor de contribución per cápita de 3 g/hab.día; la carga contaminante en términos de NT tiene valores



dentro de un rango de 0,02 a 1,43 kg/día, con una población equivalente de 339 personas, tomando como referencia la contribución per cápita de 12 g/hab.día.

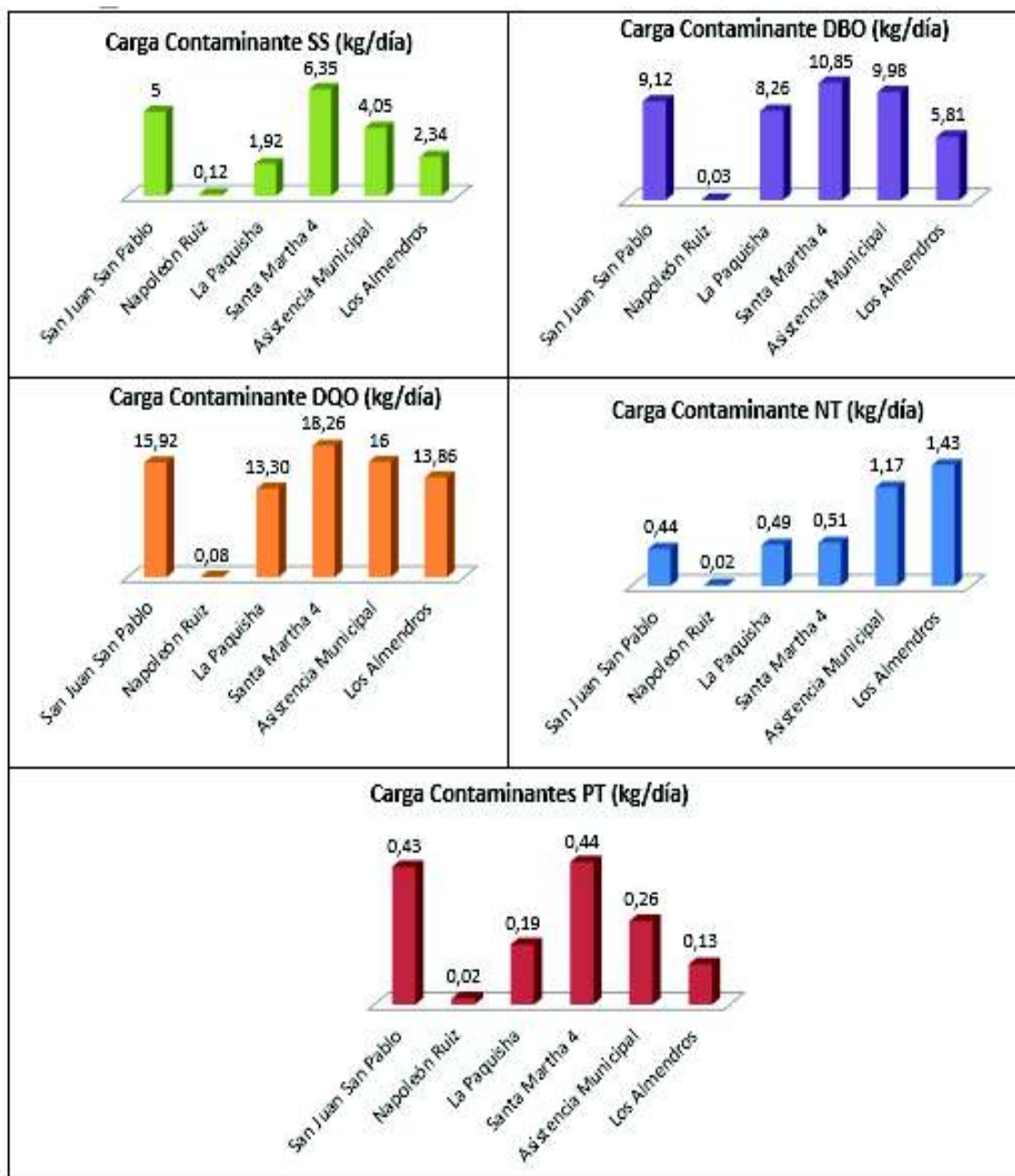
#### **4.4.2 PRINCIPALES APORTES DE CARGA CONTAMINANTE**

La Figura 4.19 presenta los aportes de carga contaminante en términos de sólidos suspendidos, DBO<sub>5</sub>, DQO, fósforo total y nitrógeno total de las seis descargas de agua residual doméstica de la “Zona B”, se puede observar que el mayor aporte de carga contaminante en términos de DQO viene de la descarga del Barrio Santa Martha sector 4 con 18,259 kg/día, con una población equivalente de 183 habitantes, seguida por el aporte del Barrio Asistencia Municipal con 15,994 kg/día, con una población equivalente de 160 habitantes. Por otro lado el mayor aporte de carga contaminante de fósforo total viene del Barrio Santa Martha sector 4 con 0,442 kg/día y una población equivalente de 147 habitantes, seguida por la descarga de la Lotización San Juan San Pablo con 0,427 kg/día y con una población equivalente de 142 personas.

La mayor carga contaminante de nitrógeno total está dada por la descarga ubicada en la Cooperativa Los Almendros con 1,423 kg/día y una población equivalente de 119, y el segundo principal aporte es la descarga ubicada en el Barrio Asistencia Municipal con 1,169 kg/día, con una población equivalente de 97 personas. También se observa que el aporte principal de carga contaminante en términos de sólidos suspendidos está dada por la descarga ubicada en el Barrio Santa Martha sector 4 con 6,353 kg/día y una población equivalente de 71 personas, y el segundo aporte importante es el de la descarga ubicada en la Lotización San Juan San Pablo con 5,002 kg/día y 56 personas de población equivalente.

La carga contaminante de DBO<sub>5</sub> con mayor aportación es la descarga ubicada en el Barrio Santa Martha sector 4 con 10,847 kg/día y una población equivalente de 217 personas, la segunda carga principal es la de la descarga del Barrio Asistencia Municipal con 9,977 kg/día y una población equivalente de 200 personas.

**FIGURA 4.19 APOORTE DE CARGA CONTAMINANTE DE LAS SEIS DESCARGAS DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA DE LA “ZONA B”.**



ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018.

## 4.5 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA ÓPTIMA DE TRATAMIENTO DE AR

### 4.5.1 MATRICES DE SELECCIÓN

Para seleccionar se considera los siguientes aspectos:

La matriz consta de 6 columnas (**A, B, C, D, E, F**). La columna **A** muestra las ponderaciones de los criterios, los cuales deben sumar 100. La columna **B** enlista los aspectos que serán calificados. La columna **C** muestra una breve descripción de cada parámetro. La columna **D** muestra la calificación de cada criterio otorgando un valor de cero para cuando el aspecto evaluado no aplique, 1 cuando el proceso cumpla con el aspecto en forma deficiente, 3 cuando cumpla con el aspecto en forma adecuada y 5 cuando el proceso cumpla con el aspecto evaluado en forma muy buena. La columna **E** se divide la calificación asignada a cada rubro entre la calificación máxima que pueden obtener, es decir 5.

En la columna **F** se multiplica el valor de cada renglón de la columna **E** por el valor ponderado de la columna **A** y finalmente se suman todos los renglones de la columna **F** para obtener la calificación global (Noyola, Morgan y Güereca, 2013).

El proceso que obtenga la mayor calificación será el seleccionado.

**TABLA 4.6 MATRIZ DE EVALUACIÓN PARA LODOS ACTIVADOS CONVENCIONAL.**

LODOS ACTIVADOS CONVENCIONALES					
A	B	C	D	E	F
Ponderación	Aspecto	Descripción	Calificación 0= no aplica 1= suficiente 3=adecuado 5=muy bueno	c/5	(c/5)*ponderación
5	Eficiencia del proceso	SS: 85-98% DBO: 80-95% NT: 30-40% PT: 30-45% CT:90-98%	5	1	5
5	Vida útil	Mayor que lodos activados con aireación prolongada debido a que no pose equipamientos	5	1	5
5	Requerimiento de área	Gran área	3	0,6	3

15	<b>Insumos</b>				
	<b>Requerimientos de reactivos</b>	No requiere gran cantidad de cloro	5	0,8	12
	<b>Requerimiento energéticos</b>	Para insumos de oficinas	3		
10	<b>Diseño y construcción</b>				
	<b>Criterios de diseño</b>	En la literatura hay gran cantidad de criterios de diseño	5	0,86	8,66
	<b>Tecnología ampliamente probada</b>	Más de 100 años de aplicación	5		
	<b>Complejidad en la construcción y equipamiento</b>	La construcción y el equipamiento es menos complejo porque no posee piezas electromecánicas	3		
20	<b>Operación</b>				
	<b>Flexibilidad de operación</b>	Requiere una alimentación continua y grado constante en calidad del agua residual además del suministro constante de oxígeno.	3	0,55	11
	<b>Confiabilidad del proceso</b>	Proporciona una mejor calidad de agua además en forma constante.	5		
	<b>Complejidad de operación del proceso</b>	Es un sistema complejo de operar	1		
	<b>Requerimiento de personal</b>	Necesita un operador por turno de 12 horas con una mayor capacitación y un vigilante.	1		
	<b>Disponibilidad de repuestos y centros de servicio</b>		1		
<b>CRITERIOS AMBIENTALES</b>					
15	<b>Influencia de la temperatura</b>	No hay problema con variaciones de temperatura en la población.	5	1	15
	<b>Producción de ruido</b>	Posee pocos equipos rotatorios involucrados en el sistema.	5		
	<b>Contaminación visual</b>	Pueden contar con un diseño arquitectónico agradable e integrado al entorno.	5		

	<b>Producción de malos olores</b>	Oxidación aerobia de la materia orgánica favorece la no-proliferación de malos olores	5		
	<b>Condiciones para la reproducción de animales dañinos</b>	No favorece la presencia de vectores	5		
5	<b>Generación de residuos</b>	Alta formación de lodos	3	0,6	3
5	<b>Generación de subproductos con valor económico o de reuso</b>	Lodos pueden ser usados como mejoradores de suelo	5	1	5
15	<b>CRITERIOS ECONÓMICOS</b>				
	<b>Costos de inversión</b>	80-100 US\$/habitante	3	0,6	9
	<b>Costos de O&amp;M</b>	4-5 US\$/habitante	3		
100					76,66

ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018.

**TABLA 4.7 MATRIZ DE EVALUACIÓN PARA LODOS ACTIVADOS CON AIREACIÓN EXTENDIDA.**

<b>LODOS ACTIVADOS AIREACIÓN EXTENDIDA</b>					
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
<b>Ponderación</b>	<b>Aspecto</b>	<b>Descripción</b>	<b>Calificación 0= no aplica 1= suficiente 3=adecuado 5=muy bueno</b>	<b>c/5</b>	<b>(c/5)*ponderación</b>
5	<b>Eficiencia del proceso</b>	SS: 80-90% DBO: 93-98% NT: 15-30% PT: 10-20% CT:65-90%	3	0,6	3
5	<b>Vida útil</b>	Menor debido a sus equipamientos	3	0,6	3
5	<b>Requerimiento de área</b>	Gran área	3	0,6	3
15	<b>Insumos</b>				
	<b>Requerimientos de reactivos</b>	No requiere gran cantidad de cloro	5	0,6	9
	<b>Requerimiento energéticos</b>	Gran cantidad por insumos de aireación	1		
10	<b>Diseño y construcción</b>				
	<b>Criterios de diseño</b>	En la literatura hay gran cantidad criterios de diseño	5	0,7	7
	<b>Tecnología ampliamente probada</b>	50 años de aplicación	5		
	<b>Complejidad en la construcción y equipamiento</b>	La construcción y el equipamiento es complejo debido	1		

		sobre todo al equipo electromecánico involucrado.			
20	<b>Operación</b>				
	<b>Flexibilidad de operación</b>	Requiere una alimentación continua y grado constante en calidad del agua residual además del suministro constante de oxígeno.	3	0,55	11
	<b>Confiabilidad del proceso</b>	Proporciona una mejor calidad de agua además en forma constante.	5		
	<b>Complejidad de operación del proceso</b>	Es un sistema complejo de operar	1		
	<b>Requerimiento de personal</b>	Necesita un operador por turno de 12 horas con una mayor capacitación y un vigilante.	1		
	<b>Disponibilidad de repuestos y centros de servicio</b>	El sistema de lodos activados posee mayor equipamiento	1		
15	<b>CRITERIOS AMBIENTALES</b>				
	<b>Influencia de la temperatura</b>	No hay problema con variaciones de temperatura en la población.	5	0,92	13,8
	<b>Producción de ruido</b>	Por los equipos rotatorios involucrados en el sistema.	3		
	<b>Contaminación visual</b>	Pueden contar con un diseño arquitectónico agradable e integrado al entorno.	5		
	<b>Producción de malos olores</b>	Oxidación aerobia de la materia orgánica favorece la no-proliferación de malos olores	5		
	<b>Condiciones para la reproducción de animales dañinos</b>	No favorece la presencia de vectores	5		
5	<b>Generación de residuos</b>	Alta formación de lodos	3	0,6	3
5	<b>Generación de subproductos con valor económico o de reuso</b>	Lodos pueden ser usados como mejoradores de suelo	5	1	5
15	<b>CRITERIOS ECONÓMICOS</b>				

	<b>Costos de inversión</b>	130 US\$/habitante	1	0,2	3
	<b>Costos de O&amp;M</b>	10-15 US\$/habitante	1		
100					60,8

ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018.

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

<b>REACTOR DE LECHO DE LODOS UASB</b>					
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
<b>Ponderación</b>	<b>Aspecto</b>	<b>Descripción</b>	<b>Calificación</b> 0= no aplica 1= suficiente 3=adecuado 5=muy bueno	<b>c/5</b>	<b>(c/5)*ponderación</b>
5	<b>Eficiencia del proceso</b>	SS: 60-80% DBO: 65-80% NT: 10-25% PT: 10-20% CT:60-90%	3	0,6	3
5	<b>Vida útil</b>	Menor debido a sus equipamientos	3	0,6	3
5	<b>Requerimiento de área</b>	Gran área	3	0,6	3
15	<b>Insumos</b>				
	<b>Requerimientos de reactivos</b>	Este sistema requiere gran cantidad de cloro	1	0,6	9
	<b>Requerimiento energéticos</b>	No requiere de insumos	5		
10	<b>Diseño y construcción</b>				
	<b>Criterios de diseño</b>	En la literatura no existe suficiente información	1	0,46	4,6
	<b>Tecnología ampliamente probada</b>	20 años de aplicación	1		
	<b>Complejidad en la construcción y equipamiento</b>	La construcción y el equipamiento es poco complejo.	5		
20	<b>Operación</b>				
	<b>Flexibilidad de operación</b>	No soporta fluctuaciones de caudal pero acepta grandes cargas.	3	0,76	15,2
	<b>Confiabilidad del proceso</b>	La calidad del agua tratada no es constante.	1		
	<b>Complejidad de operación del proceso</b>	Es menos complejo que los sistemas aerobios.	5		
	<b>Requerimiento de personal</b>	Necesita dos operadores por día	5		
	<b>Disponibilidad de repuestos y centros de servicio</b>	No requiere demasiado equipamiento.	5		
15	<b>CRITERIOS AMBIENTALES</b>				

	<b>Influencia de la temperatura</b>	No hay problema con variaciones de temperatura en la población.	5	0,84	12,6
	<b>Producción de ruido</b>	No posee equipos rotatorios.	5		
	<b>Contaminación visual</b>	Pueden contar con un diseño arquitectónico agradable e integrado al entorno.	5		
	<b>Producción de malos olores</b>	Oxidación anaerobia produce H <sub>2</sub> S causante de los malos olores.	1		
	<b>Condiciones para la reproducción de animales dañinos</b>	No favorece la presencia de vectores.	5		
5	<b>Generación de residuos</b>	Baja formación de lodos.	5	1	5
5	<b>Generación de subproductos con valor económico o de reuso</b>	Lodos pueden ser usados como mejoradores de suelo	5	1	5
15	<b>CRITERIOS ECONÓMICOS</b>				
	<b>Costos de inversión</b>	30-40US\$/habitante	5	1	15
	<b>Costos de O&amp;M</b>	2,5-5 US\$/habitante	5		
100					75,4

ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018.

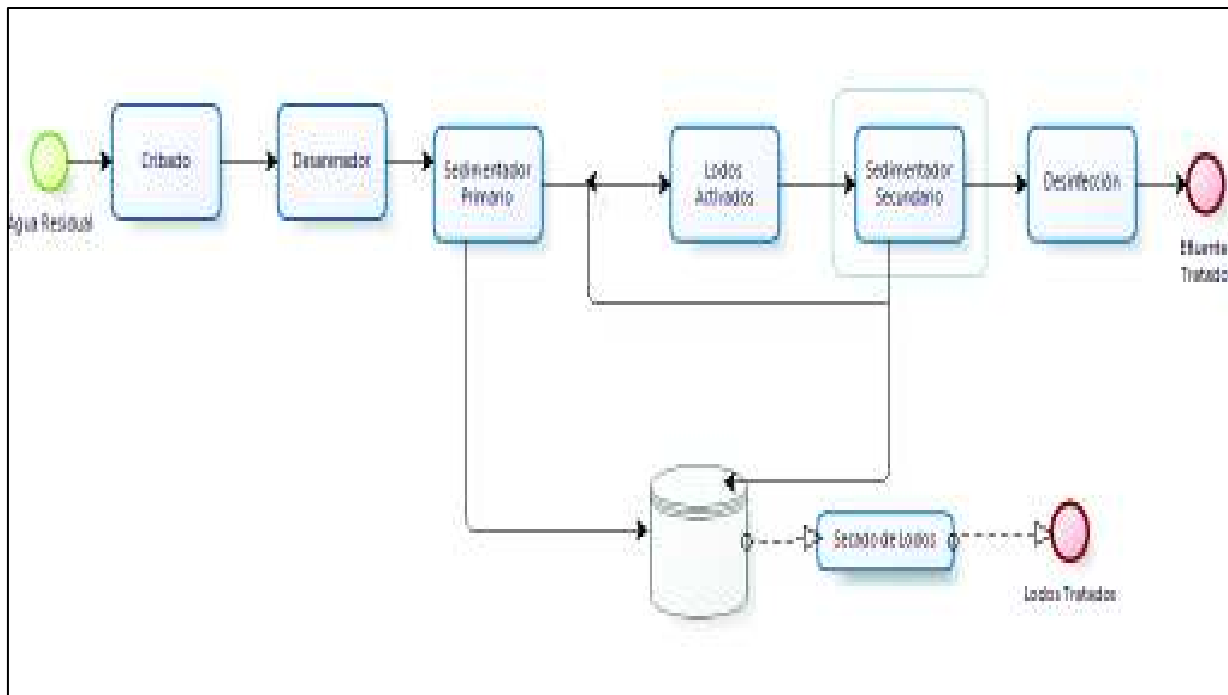
El tratamiento de lodos activados con aireación extendida tiene un puntaje de 60,8/100, mientras que el reactor UASB tiene un puntaje de 75,4/100 y el tratamiento de lodos activados convencionales obtuvo un puntaje de 76,7/100, convirtiéndose en la alternativa óptima de depuración de aguas residuales, para la “Zona B” de la ciudad de Santo Domingo, además Baraño y Tapia (2004), establecen que según experiencias de la región, el sistema de lodos activados convencionales es la tecnología más usada en localidades de más de 50.000 habitantes, y la única usada donde hay más de 150.000 habitantes.



## 4.6 PROPUESTA DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES

### 4.6.1 DESCRIPCIÓN DEL TRATAMIENTO

**FIGURA 4.20 DIAGRAMA DE FLUJO DE LODOS ACTIVADOS PARA LA “ZONA B”.**



ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018.

El tratamiento sugerido para las aguas residuales de la “Zona B” de Santo Domingo, estaría compuesto por un sistema de pre tratamiento consistente de: cribado y desarenador, seguido de un sedimentador primario, a continuación el sistema de tratamiento secundario que incluye: un reactor biológico de lodos activados convencional y sedimentador secundario y junto con este, un tratamiento de lodos que provienen del desarenador y sedimentador para su posterior secado y finalmente la desinfección de las aguas residuales, para que puedan ser descargadas sin ningún problema hacia los cuerpos hídricos.

En primer lugar, las descargas de aguas residuales de la “Zona B” de Santo Domingo, deberán ser recogidas por un sistema de alcantarillado, para posteriormente ser enviadas a colectores en diferentes sectores que confluyan

hacia un interceptor que recogerá las aguas residuales domésticas para conducir las a un tanque homogeneizador y enviarlas por medio de un canal de llegada, por el cual ingresa el afluente al sistema de tratamiento, el mismo que debe ser construido de manera que soporte el caudal de diseño. De acuerdo a Tenesaca (2011), la velocidad en el canal debe ser mayor a 0,6 m/s para un caudal medio diario y menor a 2,5 m/s para el caudal de diseño. Las aguas residuales llegarán a un aliviadero de crecida que tiene la finalidad de evacuar el exceso de caudal sobre el que se ha calculado como tope para el funcionamiento de la planta de tratamiento.

### **Pre tratamiento:**

#### **- Cribado**

En primer lugar, las aguas residuales de todas las descargas serán colectadas en un emisario y enviadas a un proceso de cribado para retirar los sólidos gruesos como palos, piedras, trapos, entre otros materiales que pudieran obstruir las bombas y otros equipos mecánicos que formarán parte de los distintos procesos en la planta de tratamiento. Se espera que los sólidos disminuyan entre un 5% y 20% del total que se encuentren en el flujo de agua que ingresa al sistema de depuración.

Las mallas o cribas deben ser diseñadas de un material anticorrosivo para evitar el deterioro con la fricción del paso del agua. Es recomendable colocar rejillas de limpieza manual para caudales menores a 50 L/s y cuando el caudal es igual o mayor utilizar rejillas de limpieza mecánica. Además, el espaciamiento entre las barras de las rejillas deberá ser de 15 a 55 mm para rejillas limpiadas manualmente, y entre 3 y 77 mm para rejillas limpiadas mecánicamente (Tenesaca, 2011).

El rango de velocidades debe estar entre 0,3 y 0,6 m/s y entre 0,6 y 1,2 m/s para rejillas limpiadas en forma manual y mecánica respectivamente (Tenesaca, 2011).

Los residuos recogidos podrían ser incinerados, tratados por digestión anaerobia o conducidos a un vertedero (Florez, 2015).

## - Desarenador

El desarenador es destinado para la remoción de arenas y sólidos que se encuentran en suspensión en el agua que tienen un peso específico de aproximadamente  $2,65 \text{ g/cm}^3$  y tamaños superiores a los  $0,15 \text{ mm}$  de diámetro, mediante un proceso de sedimentación. La cantidad de arena removida se aproxima a  $5$  y  $40 \text{ mL/m}^3$  de agua residual tratada para alcantarillados sanitarios. Si la red es combinada, en épocas de invierno podría aumentar a  $200 \text{ mL/m}^3$  (Lozano, 2012).

Los desarenadores consisten en un ensanchamiento del canal de pretratamiento, en donde la velocidad del agua se reduce lo necesario para permitir la sedimentación de las partículas discretas, pero no lo suficiente para precipitación de la materia orgánica. Su diseño se basa en las velocidades de sedimentación de las partículas que quieren removerse, las cuales se explican por medio de las fórmulas de Stokes, Newton y Allen (Lozano, 2012).

Es recomendable instalar un mínimo de dos desarenadores en los sistemas de tratamiento, debido a que si el uno se encuentra en limpieza el otro puede continuar en funcionamiento.

El tiempo de retención dependerá del tamaño de partículas a separar, oscilando entre los  $20$  segundos y  $3$  minutos (Tenesaca, 2011).

La velocidad debe ser  $\leq 0,3 \text{ m/s}$  para separar arena con un diámetro mayor a  $0,2 \text{ mm}$  (Tenesaca, 2011).

Además, como las aguas residuales de la "Zona B" de Santo Domingo presentan aceites y grasas se recomienda la instalación de un desengrasador que podría formar parte del desarenador convencional para retirar grasas, aceites, espumas y otro material flotante que pueden causar interferencias en tratamientos posteriores y promover la aparición de organismos filamentosos causantes del bulking en los reactores biológicos.

### **- Sedimentador Primario**

Un sedimentador primario tiene como objetivo eliminar los sólidos en suspensión fácilmente sedimentables y material flotante del agua. Su función principal es reducir la carga afluente a los reactores biológicos. Los tanques de sedimentación primaria dimensionados y operados de manera correcta pueden eliminar entre el 50 y 70% de los sólidos suspendidos y entre el 25 y 40% de la DBO<sub>5</sub> (Catarina, s.f.).

El tiempo de retención en un tanque de sedimentación primaria está entre 1,5 a 2,5 horas para un caudal medio de agua residual. Los tanques que se utilizan previo a las unidades de tratamiento biológico proporcionan un tiempo de retención entre 0,5 a 1 hora, con menor eliminación de sólidos suspendidos.

En los tanques de sedimentación, las velocidades horizontales se deben mantener en niveles bajos, de tal manera que las partículas no sean arrastradas desde el fondo del tanque.

### **- Reactor Biológico Aireado (Lodos activados convencionales)**

La depuración biológica por lodos activos es un tipo de proceso biológico utilizado en el tratamiento de aguas residuales que consiste en el desarrollo de un cultivo bacteriano disperso en forma de flóculos en un reactor biológico aireado y agitado, que es alimentado con el agua residual formando el denominado licor mezclado. En este proceso se suministra oxígeno necesario a los microorganismos para que puedan degradar la materia orgánica y utilizarla como nutrientes transformándola en sólidos sedimentables. Durante este proceso se genera CO<sub>2</sub>, agua, energía y más microorganismos (Albarracín, 2017).

El valor mínimo de operación aconsejable de concentración de oxígeno disuelto es de 2 mg/l. Además, la aireación es indispensable para una buena mezcla en el biorreactor, evita sedimentos y homogeniza la mezcla de los flóculos bacterianos con el agua residual (Jiménez, 2014).

El tiempo de retención es de aproximadamente de 4 a 8 horas, logrando una eficiencia de remoción entre 85% y 95% de DBO. Posteriormente, la mezcla de

reacción se conduce hasta un tanque de sedimentación secundaria para la separación del agua residual tratada y los lodos generados. Una parte de los flóculos sedimentados se recirculan para mantener en el biorreactor el cultivo bacteriano deseado (Rodríguez, et al., 2006).

Los lodos activados convencionales son la tecnología más utilizada en localidades de más de 50.000 habitantes, y la única usada donde hay más de 150.000 habitantes (Baraño & Tapia, 2004).

#### **- Sedimentador Secundario**

Es la etapa final en el proceso de lodos activados. El sedimentador secundario cumple la función de clarificar el efluente proveniente del reactor biológico y concentra el lodo activado para su retorno al tanque aireador, el agua tratada tiene bajo contenido en DBO y sólidos en suspensión (menos del 10 % en comparación con el influente). Lo más importante en este proceso es la recogida de lodos, de manera que al momento de recircular los lodos no exista succión de líquidos por la parte superior (Albarracín, 2017).

El sedimentador secundario tiene el objetivo de realizar la separación del licor mezclado, esta unidad combina la función de un espesador para producir un flujo constante de un lodo de mayor densidad en su parte inferior para recircularlo hacia el reactor biológico, un clarificador que produce un efluente clarificado final y un estanque de almacenamiento de lodos (Contreras, 2010).

Los tanques de sedimentación secundaria para el proceso de lodos activados, pueden tener forma rectangular o circular, dependiendo si los caudales son grandes o pequeños respectivamente.

#### **- Desinfección**

Finalmente, se procederá a la desinfección de las aguas residuales que se fundamenta en la eliminación de microorganismos patógenos como virus, bacterias, hongos y protozoos que pueden causar enfermedades. La eliminación de estos agentes patógenos podrá ser por medio de luz ultravioleta o por la dosificación de algún tipo de desinfectante sobre todo para la eliminación de

coliformes totales y fecales que se encuentran presentes en gran parte en las aguas residuales de la "Zona B" (Santamarta, Beahín, Rodríguez, Alonso, s.f).

El cloro es uno de los desinfectantes más usados para el tratamiento de aguas residuales domésticas debido a que destruye gran parte de los microorganismos que son inactivados por medio de la oxidación del material celular. El cloro puede ser suministrado en distintas formas que incluyen el gas de cloro, las soluciones de hipoclorito y otros compuestos clorinados en forma sólida o líquida. Varias de las alternativas de desinfección incluyen la ozonización y la desinfección con radiación ultravioleta (UV) (EPA, 1999).

Los componentes presentes en el agua influyen en gran medida en la cloración, de tal forma que en presencia de sustancias orgánicas, el poder desinfectante es menor. La existencia de amonio consume cloro (formación de cloraminas). Mientras que el hierro y manganeso incrementan la demanda del mismo (Rodríguez, et al., 2006).

Es importante tener en cuenta la dosis correcta de cloro que se debe utilizar para cada tipo de agua, así como también, el tiempo de contacto, de tal forma que el cloro toma valores entre 0,5 y 1,5 minutos. Sin embargo, una de las principales desventajas de la utilización del cloro en el proceso de desinfección es la posibilidad de formación de trihalometanos aunque en cantidades pequeñas (Moscoso, 2011).

Uno de los compuestos, también con probabilidades de utilización es el  $\text{ClO}_2$ , más oxidante que el cloro, no reacciona con amonio, por tanto no forma cloraminas y la posibilidad de formación de trihalometano es mucho menor que con  $\text{Cl}_2$ . Todas estas ventajas posibilitan la utilización de este compuesto para la desinfección (Rodríguez, et al., 2006).

#### **- Tratamiento de lodos**

Los fangos producidos poseen una gran cantidad de agua, entre un 95 y 99% y también materia orgánica que al descomponerse genera malos olores. Además, contienen agentes patógenos. Por lo tanto, estos fangos deben recibir un

tratamiento que está constituido por tres fases que estén dirigidas a reducir en su mayoría los problemas mencionados anteriormente (Jiménez, 2014).

- El proceso de espesamiento se encarga de reducir el agua presente en los fangos para evitar el manejo de grandes volúmenes y disminuir la cantidad de calor que se necesita para la digestión anaerobia.
- El proceso de estabilización o digestión de los lodos sirve para evitar problemas de fermentación y putrefacción de la materia orgánica.
- Finalmente los lodos son deshidratados por medios físicos para que puedan ser manejados y transportados hacia su destino final como vertederos, incineradores o utilizados en compostaje de acuerdo a sus características finales.

#### **4.6.2 BASES DE DISEÑO**

En el año 2014 la SENAGUA, ratificó el uso de la Norma para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes, del ex IEOS, en su décima parte muestra los componentes requeridos para las bases de diseño de los sistemas depuradores de agua residual.

A continuación se presentan las bases de diseño para la planta de tratamiento de aguas residuales para la “Zona B” de Santo Domingo.

- **Población futura**

El sistema de tratamiento que se implemente en la zona debe tomar en cuenta la población futura debido a que se debe conocer el caudal per cápita de agua residual que es descargado por cada persona y luego tener el caudal del afluente que ingresará a la planta de tratamiento, con la finalidad de cubrir las necesidades de la población de una manera sustentable y sostenible para que no existan inconvenientes en la operación y funcionamiento de la planta de tratamiento (Ríos, 2018).

Debido a que la población de la “Zona B” es mayor a 60000 habitantes, se le asigna al proyecto una vida útil de 25 años, y con este dato se calcula la población futura por el método geométrico y exponencial (Normas RAS, 2000).

Según el INEC la ciudad de Santo Domingo tiene un índice de crecimiento de 2.7%.

Cálculo de la población futura:

**Método Geométrico:**

$$Pf = Pa (1+r)^n \quad (4.1)$$

$$Pf = 190000 * (1+0.027)^{25}$$

$$Pf = 369840 \text{ habitantes}$$

Donde:

Pf = población futura

Pa = población actual

r = constante de crecimiento

n = período de diseño, (años)

**Método Exponencial:**

$$Pf = Pa e^{\left(\frac{i(t)}{100}\right)} \quad (4.2)$$

$$Pf = 190000 e^{\left(\frac{2.7(25)}{100}\right)}$$

$$Pf = 373166 \text{ habitantes}$$

Pf = población futura

Pa = población actual

i = índice de crecimiento, (%)

t = período de diseño, (años)

Entre ambos métodos existe una diferencia de 3326 habitantes, pero los dos dan una referencia de la población a la cual la PTAR servirá para una vida útil de 25 años.



- **Dotación**

Dada la poca información existente y las dificultades que presenta el servicio de agua potable a la población de la “Zona B”, se ha tomado en cuenta un valor referencial bibliográfico de 130 l/hab\*día, recomendado para una zona popular de zona semi cálida (Comisión Nacional del agua, 2015).

Para la dotación futura se tomó el valor de 200 l/hab.día, dato establecido en los estudios de diseño definitivo del sistema de alcantarillado sanitario de la zona A de la ciudad de Santo Domingo del 2014.

- **Caracterización de las aguas residuales**

De acuerdo a los resultados obtenidos mediante los análisis físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales de la “Zona B” de Santo Domingo; se pudo determinar que las aguas residuales presentan niveles altos de contaminación en términos de DBO<sub>5</sub>, DQO, sólidos suspendidos, fósforo total, nitrógeno kjeldahl y coliformes fecales.

Las características físicas, químicas y microbiológicas de las aguas residuales de las descargas ubicadas en Lotización San Juan San Pablo, Urbanización Napoleón Ruíz, Cooperativa La Paquisha, Barrio Santa Martha sector 4, Barrio Asistencia Municipal y Cooperativa Los Almendros fueron señaladas en las Tablas 4.2, 4.3 y 4.4 respectivamente.

La mayor carga contaminante se presentó en las aguas residuales de la descarga ubicada en el Barrio Santa Martha sector 4.

Una vez realizada la caracterización de las aguas residuales de la “Zona B” se procedió a seleccionar la alternativa óptima de tratamiento que consiste en la depuración de las aguas residuales por el tratamiento biológico de lodos activados, el cual constituye uno de los procesos que forman parte de todo el sistema formado por: cribado, desarenado, sedimentación primaria, lodos activados, sedimentación secundaria, secado de lodos y desinfección; que se lo describió con mayor detalle en el numeral 4.6.1 del presente documento.

- **Caudales actuales y futuros**

### **Caudal medio actual**

Para el caudal actual se utilizó la Ecuación 4.3, la dotación actual de agua potable para la “Zona B” es de 130 L/hab.día.

$$Q_{med} = \frac{R \times D_a \times P_a}{86400} \quad (4.3)$$

$$Q_{med} = \frac{0,8 \times 130 \text{ L/hab.día} \times 190.000 \text{ habitantes}}{86400}$$

$$Q_{med} = 229 \text{ L/s}$$

Donde:

$Q_{med}$  = caudal medio de aguas servidas (L/s)

$D_a$  = Dotación actual de agua potable (L/hab.día)

$P_a$  = población actual (habitantes)

$R$  = factor de retorno (0,8)

### **Caudal máximo actual**

Para determinar el caudal máximo de aguas servidas se utilizó la ecuación 4.4

$$Q_{m\acute{a}x} = M \times Q_{med} \quad (4.4)$$

Donde:

$Q_{m\acute{a}x}$  = caudal máximo de aguas residuales (L/s)

$Q_{med}$  = caudal medio de aguas residuales (L/s)

$M$  = coeficiente de mayoración (Harmon)

Para determinar el coeficiente de mayoración se utiliza la ecuación 4.5

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}} \quad (4.5)$$

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{190.00}}$$

$$M = 1,03$$

Donde:

M= coeficiente de mayoración

P<sub>a</sub>= población actual

Por lo tanto de la ecuación 4.4 se tiene que el caudal máximo de aguas residuales es:

$$Q_{\text{máx}} = 1,03 \times 229 \text{ L/s}$$

$$Q_{\text{máx}} = 236 \text{ L/s}$$

### Caudal mínimo actual

Para la determinación del caudal mínimo se utilizó la ecuación 4.6

$$Q_{\text{min}} = 0,5 \times Q_{\text{med}} \quad (4.6)$$

$$Q_{\text{min}} = 0,5 \times 229 \text{ L/s}$$

$$Q_{\text{min}} = 115 \text{ L/s}$$

Donde:

Q<sub>min</sub>= caudal mínimo de aguas residuales (L/s)

Q<sub>med</sub>= caudal medio de aguas residuales (L/s)

### Caudal Medio futuro

$$Q_{\text{med}} = \frac{R \times D_f \times P}{86400} \quad (4.7)$$

$$Q_{\text{med}} = \frac{0,8 \times 200 \frac{\text{L}}{\text{hab. día}} \times 373.166 \text{ habitantes}}{86400}$$

$$Q_{\text{med}} = 691 \text{ L/s}$$

Donde:

Q<sub>med</sub>= caudal medio de aguas servidas (L/s)

D<sub>f</sub>= Dotación futura (L/hab.día)

P= población futura (habitantes)

R= factor de retorno (0,8)

### Caudal máximo futuro

Para determinar el caudal máximo de aguas servidas se utilizó la ecuación 4.8

$$Q_{\text{máx}} = M \times Q_{\text{med}} \quad (4.8)$$

Donde:

$Q_{\text{máx}}$  = caudal máximo de aguas residuales (L/s)

$M$  = coeficiente de mayoración (Harmon)

Para determinar el coeficiente de mayoración se utiliza la ecuación 4.9

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P_f}} \quad (4.9)$$

Donde:

$M$  = coeficiente de mayoración

$P_f$  = población futura

Por lo tanto de la Ecuación 4.4 se tiene que el caudal máximo de aguas residuales es:

$$Q_{\text{máx}} = 1,6 \times 691 \text{ L/s}$$

$$Q_{\text{máx}} = 1.106 \text{ L/s}$$

### Caudal mínimo futuro

Para la determinación del caudal mínimo se utilizó la Ecuación 4.10

$$Q_{\text{min}} = 0,5 \times Q_{\text{med}} \quad (4.10)$$

$$Q_{\text{min}} = 0,5 \times 691 \text{ L/s}$$

$$Q_{\text{min}} = 346 \text{ L/s}$$

Donde:

$Q_{\text{min}}$  = caudal mínimo de aguas residuales (L/s)

$Q_{\text{med}}$  = caudal medio de aguas residuales (L/s)

- **Aportes per cápita**

#### Aporte per cápita actual

Para la determinación de los aportes per cápita se utilizó la Ecuación 4.11

$$CO = TP \times P_a \quad (4.11)$$

Donde:

CO= Aporte per cápita (kg/día)

TP= tasa per cápita (g/hab.día)

$P_a$ = población actual (habitantes)

La Tabla 4.9, muestra los aportes per cápita actuales de la “Zona B”, tomando como valores referenciales de tasa per cápita los enunciados en la Norma para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales (2014).

**TABLA 4.9 APORTES PER CÁPITA ACTUALES DE LA “ZONA B”.**

Parámetro	Valor sugerido	Aporte per cápita actual (kg/día)
DBO <sub>5</sub> días g/(hab.día)	50	9.500
Sólidos suspendidos g/(hab.día)	90	17.100
Nitrógeno total g/(hab.día)	12	2.280

ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018.

### **Aporte per cápita futuro**

Para la determinación de los aportes per cápita se utilizó la Ecuación 4.11, pero tomando en cuenta el valor de población futura, determinada en la sección 4.6.2.

La Tabla 4.10, muestra los aportes per cápita futuro de la “Zona B”.

**TABLA 4.10 APORTES PER CÁPITA FUTUROS DE LA “ZONA B”.**

Parámetro	Valor sugerido	Aporte per cápita futuro (kg/día)
DBO <sub>5</sub> días g/(hab.día)	50	18.658
Sólidos suspendidos g/(hab.día)	90	33.585
Nitrógeno total g/(hab.día)	12	4.478

ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018.

#### 4.6.4 COSTOS

Una propuesta para la instalación de una planta de tratamiento de aguas residuales requiere de una estimación de costos para evaluar la inversión que se necesitaría por parte de las autoridades para poder desarrollar este tipo de proyectos (Bracho, Marcos, Moreno & Olivares, 2016).

En el caso de la “Zona B” de la ciudad de Santo Domingo, para el análisis de costos, se deben tener cuenta los siguientes factores:

- Capacidad de la planta de tratamiento, esto relacionado con la población futura.
- Tipo de planta de tratamiento que se quiere construir.
- Materiales y mano de obra.
- Costo del terreno y su ubicación geográfica.
- Accesibilidad al terreno.
- Costo de construcción y de transporte de materiales.
- Condiciones climáticas de la zona.
- Niveles de competencia entre los contratistas de la obra.

Costos de Inversión:

La Tabla 4.11 muestra el costo de inversión que tomaría la implementación de una PTAR en la “Zona B” de Santo Domingo en un período de 18 meses. Los valores son referenciales y fueron tomados de un análisis de factibilidad socio económico para la construcción de plantas de depuración con tratamiento de lodos activados en Lima-Perú (Cárdenas & Quito, 2015).

Además, se tomó en cuenta como referencia, la construcción de la Planta de Tratamiento de aguas residuales para la ciudad de Loja, primera etapa, la cual será diseñada para una población de 350000 habitantes y su construcción durará 20 meses. El costo estimado para esta PTAR es de \$16.612.902,51 (GAD Loja, 2017).

**TABLA 4.11 ANÁLISIS DE COSTOS PARA LA PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS.**

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>COSTO EN USD.</b>
<b>Obras preliminares</b>	
Movimiento de tierras	\$ 92.592
Estructura concreto	\$ 2.280.276
Equipo Aireación	\$ 27.918
Otros Equipos	\$ 9.000
Obras complementarias	\$ 56.232
Total:	\$ 2.466.018
<b>Planta de Tratamiento</b>	
Sistemas de conducción (tuberías)	\$ 190.962
Cribado	\$ 523.800
Desarenado	\$ 991.800
Reactor Biológico (lodos activados)	\$ 14.040.000
Sedimentación	\$ 360.000
Tratamiento de lodos	\$ 369.000
Desinfección	\$ 180.000
Total:	\$ 16.655.562
<b>Personal</b>	
De operación	\$ 297.900
De seguridad	\$ 126.720
Total:	\$ 424.620
<b>Materiales e insumos</b>	
Energía para aireación y bombeo	\$ 113.076
Electricidad y agua potable	\$ 9.000
Servicios por mantenimiento de equipos	\$ 15.300
Servicios por mantenimiento de áreas verdes	\$ 10.800
Total:	\$ 148.176
<b>COSTO TOTAL:</b>	\$ 19.694.376

ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018.

Analizando el costo total referencial de \$ 19.694.376 de la implementación de la propuesta de tratamiento de aguas residuales en la “Zona B” de Santo Domingo que se muestra en la Tabla 4.11, se destaca que es un costo elevado. Sin embargo, el presupuesto para la realización de la obra vendría dado gran parte por el municipio de la ciudad y otra pequeña parte por los habitantes de la zona.

#### **4.6.5 IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES**

Para la identificación y valoración de impactos ambientales que posiblemente podría causar el sistema de tratamiento escogido, se utilizó la matriz de Leopold modificada, la cual contiene la información de los componentes ambientales afectados y las actividades que se realizarán en el proyecto. En esta matriz se trata de identificar, predecir, interpretar, prevenir, valorar y comunicar el impacto ambiental que la realización del sistema de depuración acarreará sobre su entorno (Cotán & Arroyo, 2007).

Las actividades se dividieron en dos principales, construcción de la PTAR y operación y mantenimiento de la misma (Rodríguez, 2013). A continuación, se muestran las actividades secundarias dentro de estas dos etapas.

##### **Construcción de PTAR**

- Transporte de insumos y materiales de construcción.
- Movimiento de tierras.
- Excavaciones.
- Relleno y compactación de terreno.
- Construcción de edificaciones y obras civiles.

##### **Operación y mantenimiento de PTAR**

- Tratamiento preliminar.
- Tratamiento primario.
- Tratamiento secundario.
- Desinfección.
- Vertido de agua tratada.
- Tratamiento de lodos.
- Disposición de residuos sólidos.

Los factores ambientales tomados en cuenta fueron:



**Medio Físico**

- Suelo: calidad y erosión del suelo.
- Agua: Calidad de agua superficial y agua residual.
- Atmósfera: calidad del aire, olores y ruido.

**Medio biológico**

- Flora: pérdida de cubierta vegetal, destrucción de hábitat y pérdida de especies.
- Fauna: destrucción de hábitat y pérdida de especies.

**Medio socioeconómico**

- Social: ampliación de servicios básicos mejora de salud e higiene y modificación de paisaje.
- Económico: Generación de empleo y calidad de vida de la zona.

Los valores de magnitud e importancia que se le que se le asigna a los impactos ambientales fueron fijados por Leopold en 1999, la magnitud hace referencia a la intensidad y afectación, y puede tomar valores positivos y negativos, mientras que la importancia hace referencia a la duración e influencia y sus valores son únicamente positivos (Tenesaca, 2011). La valoración que se le da a la matriz de Leopold se muestra en la ANEXO 8. En la Tabla 4.12 se muestra la matriz de identificación y valoración de los impactos ambientales, para la Planta de Tratamiento de aguas residuales de la Zona B.

La matriz de Leopold presenta un total de 90 afectaciones, 21 de ellas positivas y 69 negativas, mostrando claramente que existe un mayor peso de los impactos negativos. El valor de agregación arrojado por la matriz es de -870, mostrando que el proyecto tendrá gran incidencia sobre el medio ambiente. El nivel de significancia es de 9,7, que según el Anexo 6, se considera un impacto con nivel crítico, siendo necesario tomar medidas preventivas y correctivas desde el inicio del proyecto.


TABLA 4.12 MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

ACTIVIDADES DEL PROYECTO		CONSTRUCCIÓN PTAR															TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES														
		Transporte de insumos y material	Movimiento de tierras	Excavaciones	Reflexo y compactación	Construcción de edificaciones	Tratamiento preliminar	Tratamiento Primario	Tratamiento Secundario	Disinfección	Vertido de agua tratada	Tratamiento de lodos																			
<b>MEDIO FÍSICO</b>	SUELO	Calidad de suelo	-5	4 -9	6 -9	6 -4	6 -8	6 NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-200	0	5	5					
		Geomorfología	-4	4 -5	6 -9	6 -2	6 -2	6 NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-124	0	5	5			
	AGUA	Calidad agua de consumo	-1	1 -1	1 -1	1 -4	1 -5	1 NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	-12	0	5	5			
		Agua residual	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	4		
	AIRE	Olores	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	4	
		Calidad del aire	-2	4 -4	1 -4	1 -2	1 -4	1 NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	7	1	8	9
	<b>MEDIO BIÓTICO</b>	FLORA	Ruido	-2	4 -5	1 -5	1 -5	1 -2	1 -1	1 -1	1 -2	1 -1	1 -1	1 -1	1 -2	1 -1	1 -2	1 -1	1 -2	1 -1	1 -1	1 -3	1 -1	1 -2	1 -1	1 -1	1 -3	1 -1	1	8	9
Pérdida de cobertura vegetal			-1	6 -8	6 -8	6 NA	6 NA	6 NA	6 NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	3	3
Destrucción de hábitat			NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	4	4
Pérdida de especies			NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	4	4
Destrucción de hábitat			NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1	4	5
Pérdida de especies			NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1	4	5
SOCIAL			Mejora salud e higiene	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0	1
	Modificación de paisaje	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1	4	5	
	Generación de empleo	8	4 8	4 8	4 8	4 8	4 1	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	172	9	0	9	
ECONÓMICO	Calidad de vida en la zona	-1	1 -2	4 -2	4 -1	4 -1	4 -1	4 -1	4 -1	4 -1	4 -1	4 -1	4 -1	4 -1	4 -1	4 -1	4 -1	4 -1	4 -1	4 -1	4 -1	4 -1	4 -1	4 -1	4 -1	4 -1	27	1	5	6	
Agregación de impactos		-28	-353	-377	-261	-241	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	-870				
Afecciones positivas		1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Afecciones negativa		7	13	13	12	12	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Número de interacciones		8	14	14	13	13	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
																													90	9.7	

ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018

En el artículo 15 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente, antes de su reforma en el 2015, se establecían los métodos para determinar la necesidad de realizar una evaluación de impactos ambientales, generados por un proyecto, obra o actividad, entre los que se nombra a la ficha ambiental, la cual realiza un análisis macro preliminar que permite identificar en forma general los posibles impactos ambientales y sus consecuencias. A continuación se muestra la ficha ambiental para la planta de tratamiento de aguas residuales de la “Zona B”.

<b>1. PROYECTO, OBRA O ACTIVIDAD.</b>		<b>2. ACTIVIDAD ECONÓMICA.</b>		
Planta de tratamiento de aguas residuales de la “Zona B” de la ciudad de Santo Domingo.				
<b>3. DATOS GENERALES.</b>				
Sistema de coordenadas UTM WGS84, Zona (17 M) Centroides del proyecto, obra o actividad:				
X: 701105	Y: 9965751		Altitud: 655 msnm	
Estado del proyecto, obra o actividad:	Construcción: X	Operación: X	Cierre:	Abandono:
Dirección del proyecto, obra o actividad: sector Bellavista Km 7 Avenida Quevedo				
Cantón: Santo Domingo	Ciudad: Santo Domingo		Provincia: Santo Domingo de los Tsáchilas	
Parroquia:  Urbana: X  Rural:	Zona no delimitada:		Periférico:	
Datos del Promotor: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Santo Domingo				
Domicilio del promotor: Av. Quito, Santo Domingo de los Colorados				
Correo electrónico del promotor: sugerencias@santodomingo.gob.ec			Teléfono: +593 2 383 6320	
<b>CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA.</b>				

Área del proyecto (ha o m2): 100 m2	Infraestructura (residencial, industrial, u otros): residencial	
Mapa de ubicación: Hoja Topográfica (IGM), SIG (Arcgis), Google Earth.		
		
<b>EQUIPOS Y ACCESORIOS PRINCIPALES.</b>		
1.- Maquinaria pesada	3.- Aireación	5.- Equipo eléctrico
2.- Equipos hidráulicos	4.- Reactivos químicos	6.- Materiales de construcción
Observaciones:		
<b>REQUERIMIENTO DE PERSONAL.</b>		
Ejecutivos, técnicos civiles, técnicos ambientales, personal de apoyo, personal de seguridad.		
<b>ESPACIO FÍSICO DEL PROYECTO.</b>		
Área Total (m2, ha): 100 m2	Área de Implantación (m2, ha): 100	
Agua Potable: SI ( x ) NO ( )	Consumo de agua (m3): 1000	
Energía Eléctrica: SI ( x ) NO ( )	Consumo de energía eléctrica (Kv): 6500	

Acceso Vehicular: SI ( ) NO ( x )		Facilidades de transporte para acceso: transporte público
Topografía del terreno: irregular		Tipo de Vía: vía principal y vías secundarias
Alcantarillado: SI ( ) NO ( x )		Telefonía: Móvil( x ) Fija ( ) Otra ( )
Observaciones:		
El sistema de alcantarillado se construirá simultáneamente.		
<b>SITUACIÓN DEL PREDIO</b>		
Alquiler: -		Compra: -
Comunitarias: -		Zonas restringidas: -
Otros (Detallar): -		
Observaciones: área perteneciente al GAD Municipal Santo Domingo		
<b>UBICACIÓN COORDENADAS DE LA ZONA DEL PROYECTO.</b>		
Sistema de coordenadas UTM WGS84 Zona (17 M) para la creación de un polígono de implantación. (mínimo cuatro puntos)		
Este (X): 700868	Norte (Y): 9965618	Altitud (msnm): 655
Este (X): 700901	Norte (Y): 9965930	Altitud (msnm): 655
Este (X): 701288	Norte (Y): 9965889	Altitud (msnm): 655
Este (X): 701105	Norte (Y): 9965593	Altitud (msnm): 655
Este (X): 701028	Norte (Y): 9965601	Altitud (msnm): 655
Este (X): 701061	Norte (Y): 9965913	Altitud (msnm): 655
Este (X): 701276	Norte (Y): 9965774	Altitud (msnm): 655

#### **4. MARCO LEGAL REFERENCIAL.**

<b>MARCO LEGAL REFERENCIAL Y SECTORIAL</b>	
Constitución de la	En los artículos 3 y 14 contempla la protección del patrimonio natural para cumplir con el derecho de

República del Ecuador.	<p>los y las ecuatorianos de vivir en un ambiente sano y equilibrado.</p> <p>Los artículos 264 y 415 mencionan las competencias de los gobiernos autónomos descentralizados en cuanto a la disposición y tratamiento adecuado de los residuos líquidos con el fin de evitar la contaminación del ambiente.</p>
Ley de Aguas	En el artículo 107 habla sobre los permisos de aprovechamiento del uso del agua y la obligación de darle un tratamiento antes de descargarla.
Ley de Competencias de Gestión Ambiental de los Gobiernos Descentralizados.	Dentro de las competencias de los GAD municipales que se establecen en el Art. 18, inciso 3, se encuentran el control de la aplicación de normas técnicas de descarga hacia la atmósfera o a cualquier cuerpo receptor.
Acuerdo Ministerial 061	En el Art. 211, se explica que el tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales, está a cargo de La Autoridad Ambiental Competente en coordinación con la Agencia de Regulación y Control del Agua, las cuales verificarán el cumplimiento de las normas técnicas en las descargas provenientes de los sistemas de tratamiento implementados por los GADS. Además, tanto la gestión y el mantenimiento de sistemas de tratamiento de agua deberán ser monitoreados y evaluados por medio de los mecanismos de control y seguimiento establecidos en este acuerdo.
Código Orgánico del Ambiente	En el Art. 196 se establece que para el tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales, los GADs Municipales deberán contar con la infraestructura técnica para la instalación de sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales, de conformidad con la ley y la normativa técnica expedida para el efecto. Además, se deberá fomentar el tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización, siempre y cuando estas recuperen los niveles cualitativos y cuantitativos que exija la autoridad competente y no se afecte la salubridad pública.

## **5. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO, OBRA O ACTIVIDAD**

Descripción del proyecto
<p>El presente proyecto busca establecer una propuesta de tratamiento para las aguas residuales domésticas de la Zona B de la ciudad de Santo Domingo, previo a la descarga de estas hacia cuerpos de agua receptores, con el fin de cumplir con la normativa ambiental vigente y preservar el ecosistema acuático y la salud de las personas en la zona.</p> <p>El tren de tratamiento para depurar las aguas residuales domésticas de la "Zona B", constaría de un pretratamiento conformado por cribado y desarenador, un tratamiento primario constituido por un sedimentador primario, un tratamiento secundario conformado por un reactor biológico de lodos activados convencional y un sedimentador, y un proceso de desinfección, además de un tratamiento paralelo para los lodos generados en las unidades. El proceso o actividad abarcaría tanto la construcción de la PTAR, así</p>

como la operación y mantenimiento de la misma.

## 6. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO:

INTERACCIÓN EN EL PROCESO		
MATERIALES, INSUMOS, EQUIPOS	FASE DEL PROCESO	IMPACTOS POTENCIALES
Maquinaria pesada para movimientos de tierras, combustibles.	PREPARACIÓN DEL TERRENO	Emisiones de gases y polvo, ruido, vibraciones, retiro de cubierta vegetal, alteración del suelo, cambio de uso, alteración del paisaje
Maquinaria pesada, cemento, concreto, equipo mecánico, equipo eléctrico.	CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA	Emisiones de gases y polvo, ruido, vibraciones, alteración de la calidad del agua, alteración del suelo, cambio de uso, alteración del paisaje
Equipo mecánico, equipo eléctrico.	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PLANTA	Ruido, vibraciones, alteración del agua residual, posible generación de olores, generación de lodos.

## 7. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE IMPLANTACIÓN.

### Componente Socio ambiental

#### 7.1 Físico

##### Clima

La superficie del área de implantación de la planta de tratamientos de aguas residuales de la “Zona B”, ocupa una aproximadamente 100 m<sup>2</sup>, a una altitud de 655 msnm.

La ciudad de Santo Domingo se encuentra en la región Costa, una zona climática lluviosa y tropical; de acuerdo a Koppen-Geiger el clima se clasifica como Tropical Monzónico (CLIMATE-DATA.ORG, 2016).

##### Temperatura

De acuerdo a estudios realizados por el INAMHI (2018), la temperatura promedio de Santo Domingo es de 20,2° C.

## **Meteorología**

Según la estación meteorológica ubicada en el aeropuerto de Santo Domingo, el valor registrado de precipitación en el pluviómetro, para el año 2016, fue de 2.892,1 mm., superando al valor promedio (2.214,0 mm) en un 31%. (INAMHI, 2016).

El mes de agosto fue el más seco del año 2016, con una precipitación aproximada de 50 mm, mientras marzo fue el mes más lluvioso con un pico en sus precipitaciones de 480 mm.

## **Humedad**

La humedad relativa media mensual es de 91%, con variaciones menores al 4%. La evapotranspiración es de 533.3 mm.

## **Suelos**

Los suelos son de origen volcánico y se diferencian de acuerdo a sus características físico-químicas. La zona de piedemonte, se caracteriza por conos de deyección y esparcimiento, los suelos son francos con intercalaciones de lapilli y cenizas poco meteorizadas, de tipo pedregoso y heliofanía deficiente por neblina frecuente y ambiente muy húmedo. En la zona de mesetas y colinas bajas, se caracteriza por llanura de depósitos y conos de esparcimiento antiguos; los suelos son de textura franca a limosa, de color pardo con una profundidad de 80 a 150 cm (Gobierno de la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, s.f.).

El área provincial está constituida por 14.870 unidades de producción agropecuaria que ocupan una superficie de 650.451 ha.

La primera estratificación de depósitos cenozoicos de limonita, arcillas, areniscas, limos, flujos de lodos, conos de deyección, los cuales se encuentran en las formaciones regionales de San Tadeo, Baba, Balzar, Borbón y Onzole.

## **Hidrología**

Santo Domingo al verse limitado por una rama de la Cordillera de los Andes, se encuentra influenciado por los bosques en los que se presentan precipitaciones



pluviales de gran intensidad, dando lugar a la formación de dos sistemas hidrográficos: la cuenca del río Esmeraldas y la cuenca del río Guayas (Gobierno de la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, s.f.) y tres Sub cuencas, dentro de las cuales existen 87 micro cuencas, por donde fluyen 257 ríos, entre los cuales se encuentran: el río Pove, Code, Verde, Chiguilpe, Poste y Peripa (PDOT Santo Domingo de los Tsáchilas, 2015).

## **Riesgos**

El principal riesgo que presenta la provincia es la inundación presente en dos sectores. La posibilidad de sismo más pronunciado está en la zona cercana a la cordillera. Este riesgo se disminuye relativamente mientras el territorio se aproxima al oeste. La ciudad de Santo Domingo de los Colorados se encuentra en una zona donde se ha registrado sismos moderadamente altos.

### **7.2 Biótico**

#### **Flora**

En el área de estudio se pueden encontrar árboles frutales nativos e introducidos tales como: el Mango (*Mangifera indica*), el Aguacate (*Persea americana*), el Café (*Coffea*), el Caimito (*Chrysophyllum cainito*), y la Chirimoya (*Annona cherimola*). Entre otras plantas se encuentran: el Llantén (*Plantago major*), el Sauco (*Sambucus*), y la Cabuya (*Agave*). Además, existe el Copal (*Protium copal*), la Boya (*Ocrhoma pyramidale*) y el Caucho (*Hevea brasiliensis*), entre otras (Gobierno de la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, 2015).

#### **Fauna**

Dentro de la fauna se encuentran cerca de 462 especies entre ellas: 70 mamíferos, 60 anfibios, 63 herpetofauna, 269 aves. En las áreas cultivadas amplias se pueden encontrar “Plataneros” (*Ramphocelus icteronotus*), “Comemoscas” (*Tyrannus melancholicus*), garrapateros (*Crotophaga ani*) y no falta la presencia y el canto del “Hornero” (*Furnarius cirrnamomeus*). Además, aves como el Gavilán (*Buteo magnirostris*), el Elianio Tijereta (*Elanoides forficatus*), los “Colibríes” principalmente la *Amazilia spp*, el “Cacique” (*Cacicus*

cela), el Vaquero Brilloso (*Molothrus bonariensis*), la “Valdivia” o “Halcón reidor” (*Herpetotheres cacchinans*), la “Lechuza” (*Glaucidium peruanum*), las “Palomas” (*Columbina buckleyi*), los “Loritos” (*Forpus coelestis*), el Carpintero (*Melanerpes pucherani*), y la “Chacalaca” (*Ortalis enythroptera*) (PDOT Santo Domingo de los Tsáchilas, 2015).

### **7.3 Social**

#### **Demografía**

Según el INEC (2010) la ciudad de Santo Domingo, tenía una población de 322.080 habitantes, ubicándose como la cuarta ciudad más poblada del país; el 70% de la población se asienta en el sector urbano y el 30% en el sector rural (Garzón, 2010).

#### **Actividades económicas**

Para el 2010, la población económicamente activa fue de 50.907 mujeres y 99.244 hombres (INEC, 2010).

Las principales actividades económicas a las cuales se dedican los habitantes de Santo Domingo, siendo la más representativa el sector privado con el 32%, la segunda actividad con un 29,1% de importancia corresponde a las ocupaciones propias de los habitantes, el 14,9% está asociada con el oficio de jornalero, mientras que el 8,4% tiene relación con las ocupaciones en el sector público.

#### **Educación**

De acuerdo al censo realizado por el INEC (2010), el analfabetismo en la ciudad de Santo Domingo representaba el 6,3% en personas mayores de 15 años. Mientras tanto, la tasa de asistencia a la educación fue del 70,5% para personas entre 15 y 17 años, y un 92,3% para personas entre 5 y 14 años.

#### **Vivienda**

El 87% de las personas encuestadas cuentan con vivienda propia, el 7% vive en una vivienda rentada y el 6% posee viviendas en construcción o legalización, por

lo que se puede inferir que la “Zona B” es un área consolidada en cuanto a vivienda.

### **Servicios básicos**

El 100 % de la población de la Zona B tiene acceso a energía eléctrica, el 68% tiene acceso a servicios de salud, el 45% tienen cobertura de alcantarillado y el 28% tiene acceso a teléfono e internet.

El 44% de la población tiene acceso a la red pública de agua potable, mientras que el 56% se sirve de agua de pozo, a cual le dan un tratamiento antes de consumirla.

El 45% de la población dispone las aguas residuales al alcantarillado, mientras que el 55% de las personas no tienen conexión al sistema de alcantarillado y sus aguas residuales son vertidas en los ríos y quebradas cercanos a sus domicilios.

En cuanto a la recolección de basura la cobertura es del 100% en la “Zona B”, pero en cuanto a los residuos orgánicos un 15% de pobladores los distribuyen en su huerto o terreno, mientras que un 5% lo usa como material de abono. En cuanto a los residuos inorgánicos un 10% de pobladores quema estos desechos debido, a que los lugares donde el camión de la basura los recoge están lejos de su vivienda.

## **8. PRINCIPALES IMPACTOS AMBIENTALES**

<b>PRINCIPALES IMPACTOS AMBIENTALES.</b>			
<b>ASPECTO AMBIENTAL</b>	<b>IMPACTO AMBIENTAL</b>	<b>POSITIVO / NEGATIVO</b>	<b>ETAPA DEL PROYECTO</b>
SUELO	Alteración de la calidad	Negativo	Transporte de insumos y materiales
		Negativo	Movimiento de tierras
		Negativo	Excavaciones
		Negativo	Relleno y compactación
		Negativo	Construcción de edificaciones
AGUA	Cambio de calidad del	Negativo	Transporte de insumos y materiales

	agua	Negativo	Movimiento de tierras
		Negativo	Excavaciones
		Negativo	Relleno y compactación
		Negativo	Construcción de edificaciones
AIRE	Cambio en la calidad del aire	Negativo	Transporte de insumos y materiales
		Negativo	Movimiento de tierras
		Negativo	Excavaciones
		Negativo	Relleno y compactación
		Negativo	Construcción de edificaciones
	Producción de olores	Negativo	Operación y mantenimiento
FLORA	Pérdida de cubierta vegetal	Negativo	Transporte de insumos y materiales
		Negativo	Movimiento de tierras
		Negativo	Excavaciones
	Cambio en la diversidad de especies	Negativo	Movimiento de tierras
		Negativo	Excavaciones
		Negativo	Relleno y compactación
		Negativo	Construcción de edificaciones
FAUNA	Cambio en la diversidad de especies	Negativo	Movimiento de tierras
		Negativo	Excavaciones
		Negativo	Relleno y compactación
		Negativo	Construcción de edificaciones
SOCIO ECONÓMICO	Modificación de paisaje	Negativo	Movimiento de tierras
		Negativo	Excavaciones
		Negativo	Relleno y compactación
		Negativo	Construcción de edificaciones
	Generación de empleos	Positivo	Transporte de insumos y materiales

	Positivo	Movimiento de tierras
	Positivo	Excavaciones
	Positivo	Relleno y compactación
	Positivo	Construcción de edificaciones
	Positivo	Operación y mantenimiento

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- De la encuesta a los moradores de la “Zona B”, aproximadamente el 45% descargan las aguas residuales al sistema de alcantarillado; el restante 55% descarga por tuberías individuales, hacia los cuerpos hídricos, sin ningún tipo de tratamiento o las descargan a cielo abierto en patios y huertos cercanos, provocando contaminación no solamente de los ríos cercanos, pero también de los suelos y cultivos, como es el caso de la descarga ubicada en el barrio Santa Martha sector 4, lugar donde se evidenció la presencia de cultivos de yucas junto a la descarga de aguas residuales.
- La “Zona B” de Santo Domingo no cuenta con cobertura total del sistema de alcantarillado, tampoco con colectores e interceptores que conduzcan las aguas residuales domésticas hacia una única descarga. El sistema de alcantarillado descarga las aguas residuales, sin ningún tratamiento hacia los cuerpos hídricos, en seis puntos localizados en pequeños efluentes que alimentan a los ríos Pove, Code, Poste, Verde y Peripa.
- Se determinó que los caudales picos o máximos en las descargas se producen a las 9:30, 11:30, 14:30 y 17:30, siendo estos horarios, en los cuales los habitantes realizan los mayores consumos de agua en sus domicilios.
- Los caudales máximos en las descargas ubicadas en la Lotización San Juan San Pablo, Urbanización Napoleón Ruiz, cooperativa La Paquisha, Barrio Santa Martha sector 4, Barrio Asistencia Municipal y Cooperativa Los Almendros fueron: 0,5034; 0,1226; 0,2801; 0,5816; 0,5267 y 0,3394

L/s, respectivamente; siendo de las seis descargas, tres de ellas significativas respecto a las otras tres.

- Por otro lado, los caudales mínimos se generan a las 8:30, 10:30 y 15:30, esto significa que son horarios de reducido consumo de agua. Sin embargo, en la descarga de la Urbanización Napoleón Ruíz, el caudal se mantuvo constante durante todo el período de aforo, posiblemente se debe a que podría ser el agua entubada que es proporcionada a los habitantes de la zona y que fue desviada por algún motivo.
- Los caudales mínimos en las descargas Lotización San Juan San Pablo, Urbanización Napoleón Ruiz, cooperativa La Paquisha, Barrio Santa Martha sector 4, Barrio Asistencia Municipal y Cooperativa Los Almendros fueron: 0,0948 L/s, 0,1060 L/s, 0,0577 L/s, 0,1871 L/s, 0,2179 L/s y 0,0649 L/s respectivamente.
- El nivel de contaminación de las descargas de aguas residuales de la “Zona B” podría calificarse como fuerte en términos, de DBO, DQO, fósforo total y sólidos disueltos debido a que las concentraciones obtenidas se aproximan a los 500, 1000, 15 y 500 mg/L respectivamente. Mientras que el nivel de contaminación podría calificarse como media para las concentraciones de sólidos suspendidos, sólidos totales y nitrógeno Kjeldahl debido a que las concentraciones bordean los 300, 720 y 40 mg/L respectivamente. Finalmente calificarse como baja en términos de sólidos sedimentables, aceites y grasas, siendo sus concentraciones cercanas a 5 ml/L y 50 mg/L respectivamente.
- La principal descarga aportante de carga contaminante es la ubicada en el barrio Santa Martha sector 4 con valores de 10,85, 18,26, 6,35, 0,44 y 0,51 kg/día en términos de DBO, DQO, sólidos suspendidos, fósforo total y nitrógeno total Kjeldahl, respectivamente.
- Al realizar las matrices de selección en donde se tomó en cuenta aspectos técnicos, ambientales y económicos, se determinó que el tratamiento más adecuado para las características que poseen las aguas residuales de la Zona B y a la situación socio económico ambiental de la misma es el tratamiento biológico de lodos activados.

- La planta de tratamiento que se propone constaría de un pretratamiento: con una unidad de cribado y desarenado-desengrasado, seguido por un tratamiento primario donde se encontraría un sedimentador primario, seguido de un reactor biológico de lodos activados y sedimentador secundario como tratamiento secundario, finalmente se realizará la desinfección de las aguas tratadas con cloración. De esta manera se pretende bajar la carga contaminante que poseen las aguas residuales de la “Zona B” de Santo Domingo, hasta alcanzar los límites máximos permisible que se exige en la legislación ambiental vigente.
- De acuerdo a los resultados obtenidos, el efluente que ingresará a la planta de tratamiento tiene una concentración de  $DBO_5$  de 351,7 mg/L y el proceso de lodos activados convencionales tiene una eficiencia en remoción de  $DBO_5$  del 90%. Por lo tanto, el afluente que será descargado a los cuerpos de agua dulce de la “Zona B” tendrá una concentración de 35,17 mg/L; lo que implica que se encuentra muy por debajo de los límites máximos permisibles emitidos por el TULSMA (2015).
- El nivel de significancia de los impactos provocados por la implementación de la planta de tratamiento en la “Zona B”, es crítico, la mayoría de los impactos negativos se dan en la etapa de construcción de la PTAR, mientras que la mayor parte de los impactos positivos se dan en la etapa de funcionamiento de la PTAR.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Realizar talleres de educación ambiental a los habitantes de la “Zona B” sobre la problemática de las aguas residuales sin tratamiento y los efectos negativos de descargas sin previo tratamiento hacia los cuerpos hídricos.
- Promover la protección del patrimonio natural para cumplir con el derecho de los y las ecuatorianos de vivir en un ambiente sano y equilibrado como lo establece la Constitución (2008) en sus artículos 3 y 14.
- Las autoridades locales podrían tomar en cuenta los resultados obtenidos en este Proyecto de Titulación, para la toma de decisiones en el momento



de gestionar proyectos vinculados al tratamiento de aguas residuales de la “Zona B” de Santo Domingo.

- Las autoridades locales deben efectuar la construcción de los colectores e interceptores con separadores de caudal para el sistema combinado de alcantarillado, con el fin de conducir un solo caudal de aguas residuales hacia la planta de tratamiento de aguas residuales.
- Desarrollar el análisis físico- químico y microbiológico de los cuerpos receptores aguas arriba y aguas abajo de cada una de las descargas para determinar el grado de autodepuración de los ríos y si los cuerpos hídricos se encuentran en la capacidad de recuperar sus características iniciales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albarracín, A., & Choto, R. (2017). *Propuesta de tratamiento de las aguas residuales provenientes de una empresa de procesamiento y almacenamiento de cárnicos, papas otros vegetales*. (Tesis de Pregrado). Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.
- Andía, Y. (2000). *Tratamiento de agua coagulación y floculación*. Recuperado de [http://www.sedapal.com.pe/c/document\\_library/get\\_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154](http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154)
- Baraño, P., & Tapia, L. (2004) *Tratamiento de las aguas servidas: Situación en Chile*. *Ciencia y Trabajo*, 6(13), 111-117. Recuperado de [http://aprchile.cl/pdfs/AA.SS\\_en\\_Chile.pdf](http://aprchile.cl/pdfs/AA.SS_en_Chile.pdf)
- Becerra, J., & Gutiérrez, M. (2013). *Sistemas de Plantas de Tratamiento de aguas residuales en Colombia*. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Bracho, M., Marcos, P., Moreno, L., & Olivares, J. (2016). *Tratamiento no convencional de las aguas residuales urbanas de Tucaní, Venezuela*. (Proyecto fin de Máster). Escuela de Organización Industrial. España. Recuperado de <https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/26539/proyecto-fin-de-master-tratamiento-no-convencional-de-las-aguas-residuales-urbanas-de-tucani-venezuela>
- Cabezas, C., & González, D. (2017). *Determinación de la huella hídrica y del agua virtual en una plantación de banano como producto de exportación en la "Finca Santa Narcisa"; en el cantón La Concordia, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas*. (Tesis de Pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito.

- Cano, A. (2003). *Depuración de aguas residuales mediante humedales artificiales: La EDAR de los Gallardos (Almería)*. In *Ecología, manejo y conservación de los humedales* (pp. 99-112). Instituto de Estudios Almerienses.
- Cárdenas, Y. (2000). *Tratamiento de agua, coagulación-floculación*. Evaluación de Plantas y Desarrollo Tecnológico.
- Cárdenas, F., & Quito, H. (2015). *Análisis de factibilidad socio-económica para la construcción de una planta de agua potable para la parroquia de Baños*. (Tesis de posgrado). Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca.
- Catarina. (s.f.). *Análisis y diseño del tratamiento primario*. Recuperado de [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/hammeken\\_a\\_am/capitulo5.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/hammeken_a_am/capitulo5.pdf)
- Centro de Investigación y Desarrollo en Recursos Hídricos. (2015). *Aguas Residuales y tratamiento. Ficha No. 3*. Recuperado de <http://www.ciderh.cl/wp-content/uploads/2015/04/FICHA3.pdf>
- Climate Data. (2016). *Descripción climática de Santo Domingo de los Tsáchilas*. Recuperado de <https://es.climate-data.org/location/2979/>
- CHILACHITO. (2015). *Nuevas obras de asfaltado*. Recuperado de [http://www.santodomingo.gob.ec/wpcontent/uploads/2016/08/revista\\_chilachito.pdf](http://www.santodomingo.gob.ec/wpcontent/uploads/2016/08/revista_chilachito.pdf)
- Cisterna, P., & Peña, D. (2010). *Determinación de la relación DQO/DBO5 en aguas residuales de comunas con población menor a 25.000 habitantes en la VIII región*. Recuperado de <http://www.cepis.org.pe/bvsaidis/chile/3/tratamiento/12.pdf> documentos.
- Comisión del Agua. (2015). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Datos Básicos para Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado*. México D.F. Recuperado de <http://aneas.com.mx/wp-content/uploads/2016/04/SGAPDS-1-15-Libro4.pdf>

- Contreras, J. (2010). *Modelación del sedimentador secundario en planta de lodos activados*. (Tesis de pregrado). Universidad de Chile. Santiago de Chile. Recuperado de [http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103705/cf-contreras\\_jb.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103705/cf-contreras_jb.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Cuenca, L., & Villa, M. (2010). *Estudio, diseño y selección de la tecnología adecuada para el tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Pindal por un método natural*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica Particular de Loja. Loja
- Delgadillo, O. Camacho, A. Pérez, L. Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba, Bolivia. Recuperado de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=1kO2J5aDljQC&oi=fnd&pg=PA1&dq=tratamientos+no+convencionales+aguas+residuales&ots=Kif9y0wYZe&sig=qgXBglkkVRI42dRbfmujnU38lg#v=onepage&q=tratamientos%20no%20convencionales%20aguas%20residuales&f=false>
- Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento. (2014). *EPMAPS presenta su rendición de cuentas 2013 y 2009-2014*. Recuperado de [https://www.aguaquito.gob.ec/downloads/InformesGestion/memoria\\_de\\_sostenibilidad\\_epmaps\\_2014-3.pdf](https://www.aguaquito.gob.ec/downloads/InformesGestion/memoria_de_sostenibilidad_epmaps_2014-3.pdf)
- Florez, L. (2015). *Cribado en el tratamiento de aguas residuales*. Recuperado de <https://prezi.com/0mishjcw-0mw/cribado-en-el-tratamiento-de-aguas-residuales/?webgl=0>
- GAD Municipal Santo Domingo. (s.f.). *Publicaciones-Suplementos*. Recuperado de <http://www.santodomingo.gob.ec/publicaciones-suplementos/>
- GAD Municipal Santo Domingo. (2015). *Plan de Ordenamiento Territorial Santo Domingo 2030*. Recuperado de <https://observatoriotic.mintel.gob.ec/wp-content/uploads/2017/09/PDOT-2030-GADMSD.pdf>

- GAD Municipal Loja. (2017). *Construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales para la ciudad de Loja*. Recuperado de <http://www.loja.gob.ec/contenido/construccionptar>
- García, J. (2018). *Propuesta metodológica de indicadores de evaluación de sustentabilidad de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas orientados al sector rural*. (Tesis de Pregrado). Escuela Politécnica Nacional. Quito
- Garzón, I. (2010). *Diagnóstico Ambiental del camal Municipal de la ciudad de Santo Domingo y mejora de su gestión*. (Tesis de Pregrado). Escuela Politécnica Nacional. Quito
- Environmental Protection Agency. (1998). *Metodología para la evaluación aproximada de la carga contaminante*. Recuperado de [cep.unep.org/iwcam/documents/meeting-reports/.../file](http://cep.unep.org/iwcam/documents/meeting-reports/.../file)
- Environmental Protection Agency. (1999). *Folleto informativo de la tecnología de aguas residuales. Desinfección con cloro*. Recuperado de <http://www.vypasesores.com/images/sce/docs/Desinfeccion-con-cloro-de-aguas-residuales.pdf>
- Espigares, M. Pérez, J. (1985). *Aguas Residuales. Composición*. Recuperado de [http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas\\_Residuales\\_composicion.pdf](http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf)
- Instituto de Hidrología y Meteorología y estudios Ambientales. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de la República de Colombia. (2007). *Instructivo para la toma de muestras de Aguas Residuales*. Recuperado de [http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma\\_Muestras\\_Aguas\\_Residuales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428](http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_Aguas_Residuales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428)
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2016). *Estadística de información ambiental económica en gobiernos autónomos descentralizados municipales (agua y alcantarillado)*. Recuperado de

[http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas\\_Ambientales/Gestion\\_Integral\\_de\\_Residuos\\_Solidos/Documento%20Tecnico%20GIRS%202015.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Gestion_Integral_de_Residuos_Solidos/Documento%20Tecnico%20GIRS%202015.pdf)

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2010). *Resultados del censo de población y vivienda en el Ecuador 2010: Fascículo provincial Santo Domingo*. Recuperado de [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/santo\\_domingo.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/santo_domingo.pdf)

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2016). *Boletín Climatológico Semestral 2016*. Recuperado de [http://www.serviciometeorologico.gob.ec/meteorologia/boletines/bol\\_sem.pdf](http://www.serviciometeorologico.gob.ec/meteorologia/boletines/bol_sem.pdf)

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2018). *Análisis Climatológico DECA*. Recuperado de [http://www.serviciometeorologico.gob.ec/meteorologia/boletines/bol\\_dec.pdf](http://www.serviciometeorologico.gob.ec/meteorologia/boletines/bol_dec.pdf)

Jiménez, N. (2014). *Diseño de un reactor biológico de fangos activos*. (Tesis de Pregrado). Universidad de Almería.

Junco, J. (2015). *Lodos Activados*. Monitoreo Ambiental. Recuperado de <http://www.monitoreoambiental.com/lodos-activados/>

Lorenzo, Y., & Obaya, M. C. (2006). *La digestión anaerobia y los reactores UASB*. Generalidades. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 40(1), 13-21.

Luna, V., & Aburto, S. (2014). *Sistema de humedales artificiales para el control de la eutrofización del lago del bosque de San Juan de Aragón*. *Revista especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 17 (1), 33. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tip/v17n1/v17n1a3.pdf>

Martín, I., Betancort, J., Salas, J., Peñate, B., Pidre, J., & Sardón, N. (2006). *Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de*

*población: Mejora de la calidad de los efluentes.* Instituto Tecnológico de Canarias. Recuperado de <https://www.cienciacanaria.es/files/Guia-sobre-tratamientos-de-aguas-residuales-urbanas-para-pequenos-nucleos-de-poblacion.pdf>

Mendoza, E. (2011). *El proceso de desarenado.* Recuperado el 23 de junio del 2018, de <https://es.slideshare.net/EmilyDanielaMendozaCarlos/el-proceso-de-desarenado>

Metcalf & Eddy. (2003). *Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, vertido y reutilización.* España. McGraw-Hill/Interamericana de España.

MOPT. (s.f.). *Aguas residuales.* Recuperado de [http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/Aguas\\_residuales\\_MOPT.pdf](http://cidta.usal.es/residuales/libros/logo/pdf/Aguas_residuales_MOPT.pdf)

Morató, J. & Peñuela, G. (Ed.). (2009). *Manual de tecnologías sostenibles en tratamiento de aguas.* TECSPAR.

Ministerio de Desarrollo Económico. Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. (2000). *Documentación Técnico Normativa Del Sector De Agua Potable Y Saneamiento Básico.* Santafé de Bogotá. Colombia. Recuperado de <http://www.ceo.org.co/images/stories/CEO/ambiental/documentos/Normas%20ambientales/19902000/2000/Resolucion%201096%20de%202000%20-%20Titulo%20A.pdf>

Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción. (2015). *Norma técnica de edificación OS.090 plantas de tratamiento de aguas residuales.* Recuperado de [https://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas\\_Legales/saneamiento/OS.090.pdf](https://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas_Legales/saneamiento/OS.090.pdf)

Montiel, J. (2001). *Los biofiltros biológicos como una alternativa para aumentar la eficiencia de las lagunas de oxidación.* (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Recuperado de <http://eprints.uanl.mx/6311/1/1080094211.PDF>

- Moscoso, J. (2011). *Estudio de opciones de tratamiento y reuso de aguas residuales en Lima Metropolitana*. Ministerio Federal de Educación e Investigación.
- Muñoz, M. & Aldás, M. (2017). *Sistemas de depuración de aguas residuales*. Quito, Ecuador. Escuela Politécnica Nacional.
- Muñoz, H. Suárez, J. Vera, A. Orozco, S. Batlle, J. Ortiz, A. & Mendiola, J. (2011). *Demanda bioquímica de oxígeno y población en la subcuenca del río Zahuapan, Tlaxcala, México*. *Contaminación Ambiental*, 28(1), 33. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v28n1/v28n1a3.pdf>
- Noyola, A. Morgan, J & Güereca, L. (2013). *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales*. México. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Peña, E. (2007). *Oxígeno Disuelto. Guayaquil*: Escuela Superior Politécnica del Litoral. Ingeniería en Auditoría y Control de Gestión. Recuperado de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6162/5/Investigacion.pdf>
- Pérez, C. León, F. & Delgadillo, G. (2013). *Tratamiento de Aguas*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ramalho, R. (2003). *Tratamiento de Aguas Residuales*. España. Editorial Reverté, S.A.
- RED MAPSA. (2007). *Guía para la utilización de las Valijas Viajeras – Conductividad*. Recuperado de [http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso\\_2007/cartillas/tematicas/Conductividad.pdf](http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/Conductividad.pdf)
- Ríos, G. (2018). *Métodos para calcular la población futura*. Recuperado el 30 de junio de 2018, de <https://es.scribd.com/doc/147294050/METODOS-PARA-CALCULAR-LA-POBLACION-FUTURA#>



- Riveros, B. (2013). *Tratamiento de aguas residuales municipales en la ciudad de México*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rodríguez, P. (2013). *Determinación de las condiciones ambientales para la construcción de una Planta de Tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Otuzco*. (Tesis de pregrado). Trujillo, Perú. Recuperado el 16 de julio de 2018 de <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/3202>
- Rodríguez, A. Letón, P. Rosal, R. Dorado, M. Villar, S. & Sanz, J. (2006). *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. Informe de Vigilancia Tecnológica.
- Rodríguez, J., & Durán, C. (2006). *Remoción de nitrógeno en un sistema de tratamiento de aguas residuales usando humedales artificiales de flujo vertical a escala de banco*. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 21(1), 25-33.
- Rojas, R. (2002). *Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales*. Curso Internacional "Gestión Integral de Tratamiento de Aguas Residuales". Recuperado de [https://s3.amazonaws.com/academia.edu/documents/41228623/2002\\_Sistema\\_de\\_tratamiento\\_de\\_aguas\\_residuales.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1515084049&Signature=T7jZN2FOuolKdCF9MrBpVkdCLoQ%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DSistema\\_de\\_tratamiento\\_de\\_aguas\\_residual.pdf](https://s3.amazonaws.com/academia.edu/documents/41228623/2002_Sistema_de_tratamiento_de_aguas_residuales.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1515084049&Signature=T7jZN2FOuolKdCF9MrBpVkdCLoQ%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DSistema_de_tratamiento_de_aguas_residual.pdf)
- Román, Calero, F. (2015). *Contaminación de las aguas y efectos en la salud en una región llamada Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador*. *Revista Científica Multidisciplinaria*. Recuperado el 20 de febrero de 2018, de <http://186.46.158.26/ojs/index.php/mikarimin/article/view/307>
- Romero, J. (2004). *Tratamiento de aguas residuales; Teoría y Principios de diseño*. Bogotá. Colombia.

- Rosas, C. (1998). *Metodología para la Evaluación aproximada de la carga contaminante*. La Habana, Cuba: CIGEA. Recuperado de [cep.unep.org/iwcam/documents/meeting-reports/.../file](http://cep.unep.org/iwcam/documents/meeting-reports/.../file)
- Sans, R., & Ribas, J. (1989). *Ingeniería Ambiental: Contaminación y Tratamientos*. (Vol. 28). Barcelona. Marcombo.
- Santamarta, Beahín, Rodríguez, Alonso, (s.f). *Estación Depuradora de Aguas Residuales*. Recuperado de [http://www.lis.edu.es/uploads/967d742f\\_455b\\_4bd0\\_a29f\\_438968130ea1.pdf](http://www.lis.edu.es/uploads/967d742f_455b_4bd0_a29f_438968130ea1.pdf)
- Salas, D., Zapata, M. A., & Guerrero, J. (2007). *Modelo de costos para el tratamiento de las aguas residuales en la región*. *Scientia et Technica*, 13(37). Recuperado de <http://www.redalyc.org/html/849/84937102/>
- Salas, J. (2018). *Lagunaje 2.0: depurando aguas residuales/ cosechando microalgas (I)*. Recuperado de <https://www.iagua.es/blogs/juan-jose-salas/lagunaje-20-depurando-aguas-residualescosechando-microalgas-i>
- Secretaria Nacional del Agua. (2014). *Normas urbana para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes*. Recuperado de [https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/norma\\_urbana\\_para\\_estudios\\_y\\_diseños.pdf](https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/norma_urbana_para_estudios_y_diseños.pdf)
- Tenesaca, M. (2011). *Diseño de una Planta de Tratamiento para aguas residuales de la ciudad de Cañar*. (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica del Chimborazo. Riobamba, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1644>
- Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (2015). *Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua*. LIBRO VI ANEXO 1

- Torres, A. (2015). *Análisis de Aguas Residuales*. Recuperado de [http://www.a21-granada.org/red-gramas/images/Presentacion\\_ANTONIO.pdf](http://www.a21-granada.org/red-gramas/images/Presentacion_ANTONIO.pdf)
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2017). *World Water Assessment Programme. Día Mundial Del Agua 2017. Las aguas residuales, el recurso desaprovechado*. Recuperado de <http://www.unesco.org/new/es/unesco/events/prizes-and-celebrations/celebrations/international-days/world-water-day-2017/>
- Universidad Arturo Prat. (s.f.). *Aguas Residuales y Tratamiento*. Recuperado de <http://www.ciderh.cl/wp-content/uploads/2015/04/FICHA3.pdf>
- Velasco, B. (2010). *Caracterización de los ríos de Santo Domingo*. Recuperado de <http://www.elcomercio.com/actualidad/rios-santodomingodelostsachilas-contaminacion-denuncia-ministeriodelambiente.html>
- Villamar, C. A., Vera-Puerto, I., Rivera, D., & De la Hoz, F. (2018). *Reuse and recycling of livestock and municipal wastewater in Chilean agriculture: a preliminary assessment*. *Water*, 10(6), 817.

## **ANEXOS**

**ANEXO N°1:  
CAUDALES DE LAS 6 DESCARGAS DE AGUA RESIDUAL DE LA  
ZONA B**

**TABLA A1. 1 AFORO DE CAUDALES DE LA DESCARGA UBICADA EN LA LOTIZACIÓN SAN JAN SAN PABLO.**

Lugar	Hora de aforo	Tiempo de aforo (s)	Volumen de aforo (L)	Caudal de aforo (L/s)	Q promedio horario (L/s)
Lotización San Juan San Pablo	7:30	3,2	1	0,3125	0,2742
		4,25	1	0,2353	
		3,64	1	0,2747	
	8:30	10,45	1	0,0957	0,0948
		10,35	1	0,0966	
		10,85	1	0,0922	
	9:30	3,73	1	0,2681	0,2914
		3,54	1	0,2825	
		3,09	1	0,3236	
	10:30	4,13	1	0,2421	0,2106
		5,9	1	0,1695	
		4,54	1	0,2203	
	11:30	2,01	1	0,4975	0,5034
		1,99	1	0,5025	
		1,96	1	0,5102	
	12:30	2,56	1	0,3906	0,3762
		2,71	1	0,3690	
		2,71	1	0,3690	
	13:30	3,07	1	0,3257	0,3052
		3,51	1	0,2849	
		3,28	1	0,3049	
	14:30	1,25	1	0,8000	0,6764
		1,7	1	0,5882	
		1,56	1	0,6410	
	15:30	3,61	1	0,2770	0,2765
		3,5	1	0,2857	
		3,75	1	0,2667	
16:30	4,1	1	0,2439	0,2373	
	4,2	1	0,2381		
	4,35	1	0,2299		
17:30	2,02	1	0,4950	0,5000	
	1,98	1	0,5051		
	2	1	0,5000		

**TABLA A1.2 AFORO DE CAUDALES DE LA DESCARGA UBICADA EN LA URBANIZACIÓN NAPOLEÓN RUIZ.**

Lugar	Hora de aforo	Tiempo de aforo (s)	Volumen de aforo (L)	Caudal de aforo (L/s)	Q promedio horario (L/s)
Urbanización Napoleón Ruiz	7:30	9,68	1	0,1033	0,1060
		9,23	1	0,1083	
		9,4	1	0,1064	
	8:30	8,66	1	0,1155	0,1152
		8,7	1	0,1149	
		8,68	1	0,1152	
	9:30	8,32	1	0,1202	0,1190
		8,5	1	0,1176	
		8,4	1	0,1190	
	10:30	8,36	1	0,1196	0,1204
		8,28	1	0,1208	
		8,27	1	0,1209	
	11:30	8,32	1	0,1202	0,1167
		8,62	1	0,1160	
		8,79	1	0,1138	
	12:30	8,49	1	0,1178	0,1181
		8,44	1	0,1185	
		8,48	1	0,1179	
	13:30	8,43	1	0,1186	0,1193
		8,5	1	0,1176	
		8,23	1	0,1215	
	14:30	9,24	1	0,1082	0,1082
		9,08	1	0,1101	
		9,4	1	0,1064	
	15:30	8,44	1	0,1185	0,1178
		8,49	1	0,1178	
		8,53	1	0,1172	
	16:30	8,2	1	0,1220	0,1211
		8,25	1	0,1212	
		8,32	1	0,1202	
17:30	8,2	1	0,1220	0,1216	
	8,22	1	0,1217		
	8,25	1	0,1212		

**TABLA A1.3 AFORO DE CAUDALES DE LA DESCARGA UBICADA EN LA COOPERATIVA LA PAQUISHA.**

Lugar	Hora de aforo	Tiempo de aforo (s)	Volumen de aforo (L)	Caudal de aforo (L/s)	Q promedio horario (L/s)
Cooperativa La Paquisha	7:30	4,02	1	0,2488	0,2249
		4,54	1	0,2203	
		4,86	1	0,2058	
	8:30	3,79	1	0,2639	0,2704
		3,59	1	0,2786	
		3,72	1	0,2688	
	9:30	4,2	1	0,2381	0,2393
		4,28	1	0,2336	
		4,06	1	0,2463	
	10:30	3,96	1	0,2525	0,2649
		3,85	1	0,2597	
		3,54	1	0,2825	
	11:30	4,28	1	0,2336	0,2358
		4,33	1	0,2309	
		4,12	1	0,2427	
	12:30	11,24	1	0,0890	0,0816
		12,34	1	0,0810	
		13,38	1	0,0747	
	13:30	16,51	1	0,0606	0,0577
		17,27	1	0,0579	
		18,31	1	0,0546	
	14:30	7,56	1	0,1323	0,1345
		7,64	1	0,1309	
		7,13	1	0,1403	
	15:30	4,26	1	0,2347	0,2331
		4,29	1	0,2331	
		4,32	1	0,2315	
	16:30	3,56	1	0,2809	0,2801
		3,54	1	0,2825	
		3,61	1	0,2770	
17:30	12,42	1	0,0805	0,0802	
	12,45	1	0,0803		
	12,53	1	0,0798		



**TABLA A1.4 AFORO DE CAUDALES DE LA DESCARGA UBICADA EN EL BARRIO SANTA MARTA SECTOR 4.**

Lugar	Hora de aforo	Tiempo de aforo (s)	Volumen de aforo (L)	Caudal de aforo (L/s)	Q promedio horario (L/s)
Barrio Santa Marta Sector 4	7:30	1,68	1	0,5952	0,5816
		1,76	1	0,5682	
		1,72	1	0,5814	
	8:30	5,6	1	0,1786	0,1871
		5,3	1	0,1887	
		5,15	1	0,1942	
	9:30	4	1	0,2500	0,2370
		4,42	1	0,2262	
		4,26	1	0,2347	
	10:30	4,96	1	0,2016	0,2033
		4,98	1	0,2008	
		4,82	1	0,2075	
	11:30	3,42	1	0,2924	0,2986
		3,36	1	0,2976	
		3,27	1	0,3058	
	12:30	4,51	1	0,2217	0,2254
		4,36	1	0,2294	
		4,44	1	0,2252	
	13:30	3,36	1	0,2976	0,2965
		3,35	1	0,2985	
		3,41	1	0,2933	
	14:30	1,79	1	0,5587	0,5515
		1,83	1	0,5464	
		1,82	1	0,5495	
	15:30	4,85	1	0,2062	0,2107
		4,58	1	0,2183	
		4,82	1	0,2075	
	16:30	4,15	1	0,2410	0,2359
		4,26	1	0,2347	
		4,31	1	0,2320	
17:30	3,79	1	0,2639	0,2604	
	3,84	1	0,2604		
	3,89	1	0,2571		

**TABLA A1.5 AFORO DE CAUDALES DE LA DESCARGA UBICADA EN EL BARRIO ASISTENCIA MUNICIPAL.**

Lugar	Hora de aforo	Tiempo de aforo (s)	Volumen de aforo (L)	Caudal de aforo (L/s)	Q promedio horario (L/s)
Barrio Asistencia Municipal	7:30	1,91	1	0,5236	0,5260
		1,98	1	0,5051	
		1,82	1	0,5495	
	8:30	4,46	1	0,2242	0,2179
		4,46	1	0,2242	
		4,87	1	0,2053	
	9:30	3,02	1	0,3311	0,3749
		2,52	1	0,3968	
		2,52	1	0,3968	
	10:30	3,26	1	0,3067	0,3004
		3,33	1	0,3003	
		3,4	1	0,2941	
	11:30	4,47	1	0,2237	0,2265
		4,28	1	0,2336	
		4,5	1	0,2222	
	12:30	2,9	1	0,3448	0,3531
		2,85	1	0,3509	
		2,75	1	0,3636	
	13:30	2,36	1	0,4237	0,4150
		2,42	1	0,4132	
		2,45	1	0,4082	
	14:30	1,92	1	0,5208	0,5267
		1,95	1	0,5128	
		1,83	1	0,5464	
	15:30	3,76	1	0,2660	0,2721
		3,5	1	0,2857	
		3,78	1	0,2646	
16:30	4,22	1	0,2370	0,2349	
	4,25	1	0,2353		
	4,3	1	0,2326		
17:30	1,9	1	0,5263	0,5218	
	1,92	1	0,5208		
	1,93	1	0,5181		

**TABLA A1.6 AFORO DE CAUDALES DE LA DESCARGA UBICADA EN LA COOPERATIVA LOS ALMENDROS.**

Lugar	Hora de aforo	Tiempo de aforo (s)	Volumen de aforo (L)	Caudal de aforo (L/s)	Q promedio horario (L/s)
Cooperativa Los Almendros	7:30	4,26	1	0,2347	0,2344
		4,3	1	0,2326	
		4,24	1	0,2358	
	8:30	8,3	1	0,1205	0,1198
		8,34	1	0,1199	
		8,4	1	0,1190	
	9:30	13,42	1	0,0745	0,0744
		13,44	1	0,0744	
		13,45	1	0,0743	
	10:30	8,82	1	0,1134	0,1126
		9,07	1	0,1103	
		8,75	1	0,1143	
	11:30	14,71	1	0,0680	0,0667
		15,09	1	0,0663	
		15,22	1	0,0657	
	12:30	14,22	1	0,0703	0,0649
		15,47	1	0,0646	
		16,72	1	0,0598	
	13:30	2,9	1	0,3448	0,3394
		2,94	1	0,3401	
		3	1	0,3333	
	14:30	9,8	1	0,1020	0,1030
		9,39	1	0,1065	
		9,95	1	0,1005	
	15:30	15,16	1	0,0660	0,0653
		15,36	1	0,0651	
		15,4	1	0,0649	
16:30	8,5	1	0,1176	0,1152	
	8,76	1	0,1142		
	8,79	1	0,1138		
17:30	3,6	1	0,2778	0,2724	
	3,94	1	0,2538		
	3,5	1	0,2857		

**ANEXO N°2**  
**FORMATO DE ENCUESTA**

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental**  
**Ingeniería Ambiental**

**Encuesta Sanitaria para los habitantes que viven adyacentes a las descargas de agua residual de la Zona B de Santo Domingo**

1) Tipo de vivienda que posee

Propia	Rentada	En construcción
--------	---------	-----------------

2) Servicios básicos que tiene acceso

Energía eléctrica	Alcantarillado	Centro/subcentro de salud	Teléfono/ internet	Recolección de basura
-------------------	----------------	---------------------------	--------------------	-----------------------

3) ¿Cuál es el abastecimiento actual de agua?

Conexión a red pública de agua potable	Pozo
--	------

4) ¿Cuál es la eliminación de aguas residuales?

Alcantarillado	Ríos/ quebradas
----------------	-----------------

5) ¿Cuál es la disposición de residuos orgánicos?

Huerto	Abono	Recolección basura
--------	-------	--------------------

6) ¿Cuál es la disposición de residuos inorgánicos?

Entierra	Quema	Recolección basura
----------	-------	--------------------

7) ¿Cree usted que la disposición actual del agua residual provoca afecciones en la salud?

Si	No
----	----

8) ¿Cree usted que el mal manejo del agua residual afecta a medio ambiente?

Si	No
----	----

9) Le gustaría que se implemente un tratamiento para las aguas residuales con el fin de disminuir las afectaciones al medio ambiente y los pobladores.

Si	No
----	----

10) Estaría dispuesto a pagar una cuota mensual destinada al manejo y tratamiento de las aguas residuales.

Si	No
----	----

**ANEXO N°3****PESOS DE CRISOLES PARA LA DETERMINACIÓN DE ST, SD Y  
SS**

**TABLA A3.1 PESO DE CRISOLES PARA DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES**

Descarga	Muestreo 1				Muestreo 2			
	W <sub>1</sub> (g)	W <sub>2</sub> (g)	Volumen (mL)	ST(mg/L)	W <sub>1</sub> (g)	W <sub>2</sub> (g)	Volumen (mL)	ST(mg/L)
San Juan San Pablo	37,4627	37,4952	50	650	38,0856	38,116	50	608
La Paquisha	40,3175	40,3500	50	650	36,1995	36,2172	50	354
Los Almendros	33,9798	34,0320	50	1044	38,0718	38,1172	50	908
Urb. Napoleón Ruiz	30,0562	30,0643	50	162	38,7749	38,7823	50	148
Asistencia Municipal	36,5315	36,5571	50	512	34,4427	34,4643	50	432
Santa Marta sector 4	34,4409	34,4858	50	898	38,1692	38,1906	50	428

ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018

**TABLA A3.2 PESO DE CRISOLES PARA DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS DISUELTOS**

Descarga	Muestreo 1				Muestreo 2			
	W <sub>1</sub> (g)	W <sub>2</sub> (g)	Volumen (mL)	SD(mg/L)	W <sub>1</sub> (g)	W <sub>2</sub> (g)	Volumen (mL)	SD(mg/L)
San Juan San Pablo	36,1559	36,1679	25	480	39,6857	39,6975	25	472
La Paquisha	41,1285	41,138	25	380	41,1294	41,1374	25	320
Los Almendros	41,5607	41,5631	25	96	43,5597	43,5766	25	676
Urb. Napoleón Ruiz	38,8992	38,9041	25	196	37,9488	37,953	25	168
Asistencia Municipal	37,9474	37,9546	25	288	36,1542	36,1656	25	456
Santa Marta sector 4	44,9567	44,9746	25	716	41,5523	41,561	25	348

ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018.

**TABLA A3.3 PESO DE CRISOLES PARA DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS**

Descarga	Muestreo 1				Muestreo 2			
	W <sub>1</sub> (g)	W <sub>2</sub> (g)	Volumen (mL)	ST(mg/L)	W <sub>1</sub> (g)	W <sub>2</sub> (g)	Volumen (mL)	ST(mg/L)
San Juan San Pablo	4,256	4,2586	50	52	3,7756	3,7841	50	170
La Paquisha	3,9152	3,9196	50	88	3,7738	3,7796	50	116
Los Almendros	3,8186	3,8285	50	198	4,2005	4,2096	50	182
Urb. Napoleón Ruiz	3,7755	3,7761	50	12	4,0235	4,0241	50	12
Asistencia Municipal	4,024	4,0263	50	46	4,2563	4,2628	50	130
Santa Marta sector 4	4,2011	4,2068	50	114	3,9154	3,9277	50	246

ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018.

**ANEXO N°4**

**VOLÚMENES DE MUESTRA EN FUNCIÓN DE LA DBO<sub>5</sub>  
ESPERADA Y VALORES OBTENIDOS DEL EQUIPO OXYTOP**



**TABLA A4.1 DATOS Y VALORES PARA LA DETERMINACIÓN DE DBO<sub>5</sub> CON EL MÉTODO OXYTOP, PARA EL PRIMER MUESTREO.**

Descargas	DBO <sub>5</sub> esperada (0,80 x DQO)	Volumen muestra (mL)	Factor	Valor registrado al día 5	DBO <sub>5</sub> (mg/L)
San Juan San Pablo	402,4	97	20	16	320
La Paquisha	596	97	20	25	500
Los Almendros	900	43,5	50	9	450
Urb. Napoleón Ruiz	4,8	432	1	2	2
Asistencia Municipal	419,2	97	20	14	280
Santa Marta sector 4	565,6	97	20	21	420

ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018

**TABLA A4.2 DATOS Y VALORES PARA LA DETERMINACIÓN DE DBO<sub>5</sub> CON EL MÉTODO OXYTOP, PARA EL SEGUNDO MUESTREO.**

Descargas	DBO <sub>5</sub> esperada (0,80 x DQO)	Volumen muestra (mL)	Factor	Valor registrado al día 5	DBO <sub>5</sub> (mg/L)
San Juan San Pablo	463,2	97	20	15	300
La Paquisha	268,8	164	10	19	190
Los Almendros	712	97	20	25	500
Urb. Napoleón Ruiz	8	432	1	4	4
Asistencia Municipal	400,8	97	20	16	320
Santa Marta sector 4	504	97	20	12	240

ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018

**TABLA A4. 3 VOLUMEN DE MUESTRA EN FUNCIÓN DEL RANGO DE MEDIDA DE DBO<sub>5</sub> ESPERADO.**

Rango de medida [mg/l]	Volumen de la muestra [ml]	Factor
0-40	432	1
0-80	365	2
0-200	250	5
0-400	164	10
0-800	97	20
0-2000	43,5	50

ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018

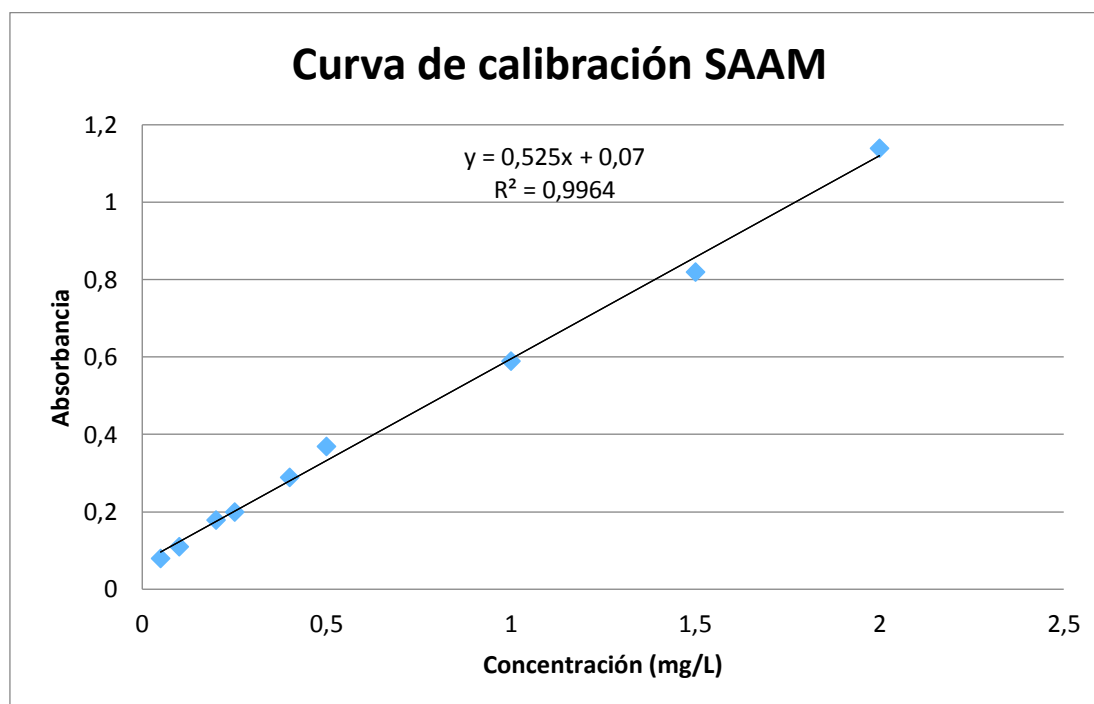
**ANEXO N°5**  
**VALORES DE ABSORBANCIA Y CURVA DE CALIBRACIÓN PARA**  
**DETERMINACIÓN DE TENSOACTIVOS**

**TABLA A5.1 VALORES DE ABSORBANCIA DE LAS DESCARGAS DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA EN LOS DOS MUESTREOS.**

Descargas	Muestreo 1		Muestreo 2	
	Absorbancia	mgSAAM/L	Absorbancia	mgSAAM/L
San Juan San Pablo	1,697	3,23	2,631	5,01
La Paquisha	1,803	3,43	2,5	4,76
Los Almendros	2,891	5,51	2,269	4,32
Urb. Napoleón Ruiz	0,045	0,09	0,761	1,45
Asistencia Municipal	1,394	2,66	2,505	4,77
Santa Marta sector 4	1,465	2,79	2,78	5,30

ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018

**FIGURA A5. 1 CURVA DE CALIBRACIÓN DE SUSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO.**



**ANEXO N°6**  
**RESULTADOS DE ANALÍISIS DE ACEITES GRASAS Y**  
**NITRÓGENO KJLELDAHL**



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253  
Tel.: (+593-2) 2976200 / 2938780 Ext. 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938164 • Apartado 17-49-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec  
Quito - Ecuador



**INFORME DE RESULTADOS**

Quito, 18 de abril de 2018

**DATOS DE CLIENTE**

Solicitado por: ISABEL FAZMINO

Atención:

Dirección: Mesa 2, calle Cristóbal Enriquez

Fecha de recolección: 2018-04-10

Responsable del muestreo: Cliente

Ref. ST18-98

Teléfono: 2638751

Tipo de muestra: Agua residual

Fecha de ingreso al Laboratorio: 2018-04-11

#	PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO						FECHA DE ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
			M101	M102	M103	M104	M105	M106		
Identificación de la muestra (Cliente):										
Origen/lugar de muestreo:										
			Lich Napóleon Ruiz	Los Alamos	Juan San Juan y San Pablo	Asistencia Municipal	Santa María Sector 4	La Paqueta		
Tipo de envase:										
			Plástico y vidrio ámbar	Plástico y vidrio ámbar	Plástico y vidrio ámbar	Plástico y vidrio ámbar	Plástico y vidrio ámbar	Plástico y vidrio ámbar		
			No	No	No	No	No	No		
Llegó refrigerada:										
			No	No	No	No	No	No		
Se utilizó preservante:										
			ácido sulfúrico	ácido sulfúrico	ácido sulfúrico	ácido sulfúrico	ácido sulfúrico	ácido sulfúrico		
Número de ingreso al laboratorio:										
			MI18-327	MI18-328	MI18-329	MI18-330	MI18-331	MI18-332		
No. Informe de Resultados (RI)18:										
			327	328	329	330	331	332		
	1	Acetatos y grasas	<5	30,1	47,1	25,7	62,5	13,5		2018-04-13 PE-14 (APHA 5520 B, Gravimétrico)
	2	Nitrógeno Kjeldahl	1,9	116,3	15,0	37,5	18,8	33,0		2018-04-13 HK 617, 2012, 8079 Espectrofotometría VIS

NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA SOMETIDA A ENSAYO

1) Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° OAE LE 2C 06-012

Los ensayos marcados con (\*) no están dentro del alcance de acreditación

NOTA: La incertidumbre de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente en el momento de la recolección.

Revisado por: Quim. Cesar Yambay  
RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado por: Ing. Carolina Fierro  
RESPONSABLE DE LABORATORIO



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ríosarte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253  
Tel: (+595-2) 2970368 / 2970369 Ext: 2151 • Línea directa: (+595-2) 9938664 • Apartado 17-01-2739 • Email: cicam@epn.edu.ec  
Quito - Ecuador



**INFORME DE RESULTADOS**

Quito, 14 de mayo de 2018

**DATOS DE CLIENTE**

Solicitado por: ISABEL PAZMINO

Atención:

Dirección: Mieta 2, calle Cristóbal Enriquez

Fecha de recolección: 2018-04-24

Responsable del muestreo: Cliente

Ref: ST18-102

Teléfono: 2638751

Tipo de muestra: Agua residual

Fecha de ingreso al Laboratorio: 2018-04-25

#	PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO										FECHA DE ANALISIS	PROCEDIMIENTO	
			M001	M002	M003	M004	M005	M006	M007	M008	M009	M010			
Identificación de la muestra (cliente):													2018-04-26	PE-H (APHA 5530 B, Germinación) HLL E4 T. 2012, 8035/ Espectrofotometría VIS	
Origen/lugar de muestreo: San Juan y San Pablo													2018-04-26		
Tipo de envase: Plástico y vidrio ámbar															
Llegó refrigerado: Si															
Se utilizó preservante: ácido sulfúrico															
Número de ingreso al laboratorio: ME-18-338															
No. Informe de Resultados IR18: 338															
1	*) Acetatos y grasas	mg/L	7,7	<5	26,4	32,1	<5	23,8							
2	*) Nitrogeno Kjeldahl	mg/L	11,3	0,8	26,3	21,0	7,8	41,3							

\*) Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° OAE-LE-2C-06-012

Los ensayos marcados con (\*) no están dentro del alcance de acreditación

NOTA: La incertidumbre de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera.



Revisado por: Quim. Cesar Yambay  
RESPONSABLE TECNICO

Aprobado por: Ing. Carola Fierro  
RESPONSABLE DE LABORATORIO

**ANEXO N°7**  
**RESULTADOS DE PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y**  
**MICROBIOLÓGICOS DE LAS 6 DESCARGAS DE AGUAS**  
**RESIDUALES DOMÉSTICAS EN LOS 2 MUESTREOS**

**TABLA A7.1 PARÁMETROS FÍSICOS DETERMINADOS EN LOS DOS MUESTRAS DE LAS SEIS DESCARGAS DE LA “ZONA B”, ABRIL 2018.**

Descarga	Conductividad CE (µS)	Temperatura T (°C)		Turbidez (NTU)		Sólidos Sedimentables (mL/L)		Sólidos Totales (mg/L)		Sólidos Suspendidos (mg/L)		Sólidos Disueltos SD (mg/L)	
Lotización San Juan San Pablo	639	25	25	380	207	0,6	0,9	650	608	52	170	480	472
Urbanización Napoleón Ruiz	225	25	25	3,8	12,1	0	0,1	162	148	12	12	196	168
Coop. La Paquisha	656	25	25	115	117	2,5	1,7	650	354	88	116	380	320
Barrio Santa Martha sector 4	702	25	25	140	142	2	1,5	898	428	114	246	716	348
Barrio Asistencia Municipal	644	25	25	200	203	0,2	0,2	512	432	46	130	288	456
Coop. Los Almendros	1529	25	25	294	325	1,2	0,7	1044	908	198	182	96	676

ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018

**TABLA A7. 2 PARÁMETROS QUÍMICOS EN LOS DOS MUESTREOS DE LAS SEIS DESCARGAS DE ARD DE LA “ZONA B”, ABRIL 2018.**

Descargas	Aceites y grasas (mg/L)		Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 (mg/L)		Demanda Química de Oxígeno (mg/L)		Fósforo Total (mg PO <sub>4</sub> -L)		Nitrógeno Total Kjedahl (mg/L)		pH		Oxígeno Disuelto (mg/L <sub>9</sub> )	Tensoactivos (mg SAAM/L)	
Lotización San Juan San Pablo	13,5	7,7	320	300	503	579	14,5	10,8	15	11,3	7,3	7,9	7,59	3,23	5,01
Urbanización Napoleón Ruiz	<5	<5	2	4	6	10	1,9	0,56	1,9	0,8	6	6,8	5,23	0,09	1,45
Coop. La Paquisha	47,1	26,4	500	109	745	336	11,3	7,9	33	26,3	6,9	7	3,97	3,43	4,76
Barrio Santa Martha sector 4	62,5	32,1	420	240	707	630	17,1	13,3	18,8	21	6,9	7	4,54	2,79	5,30
Barrio Asistencia Municipal	25,7	<5	280	320	524	501	8,3	6,5	37,5	7,8	7,4	6,8	3,53	2,66	4,77
Coop. Los Almendros	30,1	23,8	450	500	1125	890	10,2	8,6	116,3	41,3	7,8	8	4,88	5,51	4,32

ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018



**TABLA A7. 3 PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS EN LOS DOS MUESTREOS DE LAS SEIS DESCARGAS DE ARD DE LA “ZONA B”, ABRIL 2018.**

Descargas	Coliformes totales (NMP/100 mL)		Coliformes fecales (NMP/100 mL)	
<b>Lotización San Juan San Pablo</b>	$1,1 \times 10^9$	$7 \times 10^6$	$7,5 \times 10^6$	$7,5 \times 10^6$
<b>Urbanización Napoleón Ruiz</b>	$7,5 \times 10^3$	$2,1 \times 10^5$	$1,5 \times 10^4$	$1,5 \times 10^5$
<b>Coop. La Paquisha</b>	$2,4 \times 10^{10}$	$2,4 \times 10^{10}$	$1,5 \times 10^6$	$1,5 \times 10^7$
<b>Barrio Santa Martha sector 4</b>	$4,3 \times 10^7$	$2,4 \times 10^{10}$	$2 \times 10^8$	$2 \times 10^8$
<b>Barrio Asistencia Municipal</b>	$1,2 \times 10^8$	$4,6 \times 10^{10}$	$1,5 \times 10^5$	$15 \times 10^6$
<b>Coop. Los Almendros</b>	$4,6 \times 10^{10}$	$4,6 \times 10^{10}$	$2,1 \times 10^8$	$2,1 \times 10^8$

ELABORACIÓN: Pazmiño, I. Villamarín, M., 2018

**ANEXO N°8**  
**TABLAS DE MAGNITUD E IMPORTANCIA PARA LA**  
**DETERMINACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL**

**TABLA A8.1 MAGNITUD E IMPORTANCIA DE IMPACTOS AMBIENTALES.**

MAGNITUD			IMPORTANCIA		
Calificación	Intensidad	Afectación	Calificación	Duración	Influencia
1	Baja	Baja	1	Temporal	Puntual
2	Baja	Media	2	Media	Puntual
3	Baja	Alta	3	Permanente	Puntual
4	Media	Baja	4	Temporal	Local
5	Media	Media	5	Media	Local
6	Media	Alta	6	Permanente	Local
7	Alta	Baja	7	Temporal	Regional
8	Alta	Media	8	Media	Regional
9	Alta	Alta	9	Permanente	Regional
10	Muy Alta	Alta	10	Permanente	Nacional

FUENTE: (Tenesaca, 2011)

**TABLA A8.2 RANGOS Y SIGNIFICANCIA DE IMPACTOS AMBIENTALES.**

RANGOS	SIGNIFICADO
0 a 2,5	BAJO
2,6 a 5,5	MODERADO
5,6 a 7,5	SEVERO
7,6 a 10	CRITICO

FUENTE: (Tenesaca, 2011)