



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E
INDUSTRIAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y MANEJO
DE RIESGOS NATURALES**

**DETERMINACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL RÍO VERDE
Y ALTERNATIVAS DE RECUPERACIÓN**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
INGENIERA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES**

RUTH MARIBEL MONTALVAN MACAS

DIRECTORA: ING. JUDIT GARCÍA GONZÁLEZ, *MSc.*

Santo Domingo, julio 2018

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2018
Reservados todos los derechos de reproducción

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	2300229560
APELLIDO Y NOMBRES:	Montalvan Macas Ruth Maribel
DIRECCIÓN:	Coop. Unificados/ Barrio Libertador
EMAIL:	ruth.montalvan@outlook.es
TELÉFONO FIJO:	023795033
TELÉFONO MOVIL:	0967289136

DATOS DE LA OBRA	
TITULO:	Determinación de la contaminación del río Verde y alternativas de recuperación.
AUTOR O AUTORES:	Ruth Maribel Montalvan Macas
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Julio 2018
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Ing. Judit García González, MsC.
PROGRAMA	PREGRADO X POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Ambiental y Manejo de Riesgos Naturales
RESUMEN: Mínimo 250 palabras	<p>La presente investigación se desarrolló en el cantón Santo Domingo, parroquia río Verde. El objetivo fue determinar el grado de contaminación del río Verde y proponer alternativas de recuperación a partir de la determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua. Para la etapa de campo se realizó un recorrido por el lugar, donde se logró identificar cinco fuentes puntuales de descarga hacia el río, y además se estableció tres puntos de muestreo, se realizó el monitoreo durante 3 meses una vez por mes. Los resultados obtenidos acorde a los parámetros analizados se compararon con la normativa ambiental ecuatoriana (TULSMA: Libro VI Anexo 1. Tabla 2 y Tabla 9), indicando que el agua no es apta para la preservación de la vida acuática por la baja cantidad de oxígeno disuelto (P1: 1,83 mg L⁻¹; P2: 5,13 mg L⁻¹ y P3: 6,11 mg L⁻¹); alta DQO (P1: 246,30 mg L⁻¹ y P2: 74,94 mg L⁻¹). Con la aplicación del índice de calidad de agua por el método de León, se obtuvo resultados en el P1 una agua excesivamente contaminada, P2 una agua contaminada y el P3 una calidad de agua ligeramente contaminada. Las alternativas de recuperación se basan en la</p>

	<p>fitorremediación, se propone la aplicación de especies: <i>Scirpus californicus tator</i> en humedales artificiales, que sirve para disminuir el grado de contaminación de aguas residuales, ayudan en la remoción de DBO y DQO, como también en la fijación de metales pesados y coliformes fecales. <i>Guadua angustifolia</i> para reforestación, esto permitirá la regulación del caudal en época seca y época lluviosa, además evitar la erosión de los suelos. Con la aplicación de estas especies se pretende recuperar la calidad del recurso hídrico y con ello la preservación del ambiente.</p>
<p>PALABRAS CLAVES:</p>	<p>Contaminación del agua, índice de calidad, humedal, recurso hídrico, fitorremediación, fuentes puntuales.</p>
<p>ABSTRACT:</p>	<p>The present investigation was developed in Santo Domingo, Río Verde Parish. The objective was to determine the degree of contamination of the Verde River and propose recovery alternatives based on the determination of the physicochemical and microbiological parameters of the water. For the field stage, a tour of the place was carried out, where five point sources of discharge to the river could be identified, and three sampling points were also established, monitoring was carried out for three months once a month. The results obtained according to the parameters analyzed were compared with the Ecuadorian environmental regulations (TULSMA: Book VI Annex 1. Table 2 and Table 9), indicating that water is not suitable for the preservation of aquatic life due to the low amount of oxygen dissolved (P1: 1.83 mg L⁻¹; P2: 5.13 mg L⁻¹ and P3: 6.11 mg L⁻¹); high COD (P1: 246.30 mg L⁻¹ and P2: 74.94 mg L⁻¹). With the application of the water quality index by the León method, results were obtained in P1 excessively contaminated water, P2 a contaminated water and P3 a slightly contaminated water quality. The alternatives of recovery are based on phytoremediation, the application of species is proposed: <i>Scirpus californicus tator</i> in artificial wetlands, which serves to reduce the degree of contamination of wastewater, help in the removal of BOD and COD, as well as in the fixation of heavy metals and fecal coliforms. <i>Guadua angustifolia</i> for reforestation, this</p>

	will allow regulation of flow in dry season and rainy season, in addition to avoid soil erosion. With the application of these species, the aim is to recover the quality of the water resource and with it the preservation of the environment.
KEYWORDS	Water contamination, quality index, wetland, water resource, phytoremediation, point sources.

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.



f: _____

MONTALVAN MACAS RUTH MARIBEL
CI. 230022956-0

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **MONTALVAN MACAS RUTH MARIBEL**, CI 230022956-0 autor/a del proyecto titulado: **Determinación de la contaminación del río Verde y alternativas de recuperación** previa a la obtención del título de **INGENIERA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Santo Domingo, 24 de julio del 2018

f: 
MONTALVAN MACAS RUTH MARIBEL
CI. 230022956-0

DECLARACIÓN

Yo **RUTH MARIBEL MONTALVAN MACAS**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



Ruth Maribel Montalvan Macas
C.I. 230022956-0

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**Determinación de la contaminación del río Verde y alternativas de recuperación**”, que, para aspirar al título de **Ingeniera ambiental y manejo de riesgos naturales** fue desarrollado por **Ruth Maribel Montalvan Macas**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19, 27 y 28.



Ing. Judit García González, MsC.
DIRECTOR DEL TRABAJO
CI. 175578936-7

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a Dios por ser el motor principal en mi vida, por darme las fuerzas diarias para no decaer y la sabiduría necesaria para poder empezar y culminar este proyecto de la mejor manera, porque gracias ha el he llegado hasta aquí, y después de un arduo trabajo estoy cumpliendo mi sueño más anhelado.

A mi esposo e hijo por ser los pilares fundamentales de este triunfo y por ser el motor de vida que me impulsaron para seguir luchando y ayudándome a superar las adversidades presentadas en el transcurso de este largo camino.

A mis padres por haberme orientado a realizar las cosas de la manera más humilde y honesta, por el apoyo incondicional, por ese sacrificio hecho, para que no me falte nada, este logro también es por ellos.

A mis hermanos, a mi familia y a todas las personas que han sido protagonistas de esto, ya que supieron extenderme su mano cuando más lo necesitaba, no ha sido sencillo el camino hasta ahora, pero gracias a sus aportes, a su amor, a su bondad y a ese inmenso apoyo brindando, lo complicado de lograr esta meta ha sido menor.

Ruth Maribel Montalvan Macas

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
2. CONTENIDO TÉCNICO	5
2.1 LOCALIZACIÓN	5
2.2 METODOLOGÍA.....	6
2.2.1 CARACTERIZACIÓN DEL RÍO VERDE	6
2.2.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES PUNTUALES DE CONTAMINACIÓN	6
2.2.3 DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.....	7
2.2.4 TOMA DE MUESTRAS	8
2.2.5 ANÁLISIS DE LABORATORIO.....	9
2.3 PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	9
2.3.1 PARÁMETROS FÍSICOS.....	9
2.3.1.1 pH	9
2.3.1.2 Turbidez.....	9
2.3.1.3 Sólidos Totales	10
2.3.2 PARÁMETROS QUÍMICOS.....	10
2.3.2.1 Alcalinidad.....	10
2.3.2.2 Dureza Total	10
2.3.2.3 Cloruros	11
2.3.2.4 Oxígeno Disuelto (OD).....	11
2.3.2.5 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅).....	12
2.3.2.6 Fosfatos	12
2.3.2.7 Demanda Química de Oxígeno (DQO)	12
2.3.3 PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS	13
2.3.3.1 Coliformes Totales	13
2.3.3.2 Coliformes Fecales	13
2.4 ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD.....	14
2.4.1 INTERPRETACIÓN DE LA ESCALA	15
3. RESULTADOS	20
3.1 ANÁLISIS FÍSICOS	23
3.1.1 POTENCIAL DE HIDRÓGENO (PH).....	23
3.1.2 TURBIDEZ.....	23
3.1.3 SÓLIDOS TOTALES.....	24
3.2 ANÁLISIS QUÍMICOS	25
3.2.1 ALCALINIDAD	25
3.2.2 DUREZA TOTAL	26
3.2.3 CLORUROS.....	26
3.2.4 OXÍGENO DISUELTO (OD).....	27
3.2.5 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO ₅).....	28

3.2.6 FOSFATOS	28
3.2.7 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	29
3.3 PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS	30
3.3.1 COLIFORMES TOTALES	30
3.3.2 COLIFORMES FECALES	30
3.4 RESULTADOS DEL ÍNDICE	31
3.5 DIAGNÓSTICO	33
3.6 PROPUESTA TECNOLÓGICA	33
3.6.1 TOTORA (<i>Scirpus Californicus Tator</i>)	33
3.6.1.1 Propiedad depuradora	34
3.6.1.2 Usos	34
3.6.1.3 Hábitat	34
3.6.1.4 Diseño del humedal	34
3.6.1.5 Dimensiones del humedal	35
3.6.2 CAÑA GUADUA (<i>Guadua Angustifolia</i>)	35
3.6.2.1 Beneficios	36
3.6.2.2 Hábitat	36
3.7 ANÁLISIS ECONÓMICO	37
4 CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES	38
REFERENCIAS	39

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Georreferenciación y dirección de los puntos de descarga.	7
Tabla 2.	Ubicación de los puntos de muestreo del río Verde.....	8
Tabla 3.	Técnicas generales para conservación de muestras de análisis físicoquímicos y microbiológicos.	8
Tabla 4.	Parámetros y normas utilizadas para la caracterización del agua.....	9
Tabla 5.	Pesos específicos de los parámetros.	14
Tabla 6.	Resultados de la caracterización físicoquímica y microbiológica obtenida de marzo-mayo en los tres puntos del Río Verde.	21
Tabla 7.	Valores promedios de los tres puntos tomados en el río y comparación con el TULSMA.	22
Tabla 8.	Valores de concentración de parámetros y resultados del ICA..	32
Tabla 9.	Costos de aplicación de propuesta tecnológica	37

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Río Verde – Santo Domingo	6
Figura 2.	Esquema general de caracterización de agua del río Verde	6
Figura 3.	Puntos de muestreo del río Verde, cantón Santo Domingo	7
Figura 4.	Función de Calidad Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	16
Figura 5.	Función de Calidad Coliformes Fecales/Coliformes Totales....	17
Figura 6.	Función de Calidad Fosfatos	17
Figura 7.	Función de Calidad Cloruros	18
Figura 8.	Función de Calidad Alcalinidad.....	18
Figura 9.	Función de Calidad Dureza	19
Figura 10.	Función de Calidad Potencial Hidrogeno (pH).....	19
Figura 11.	Variación temporal del potencial de Hidrógeno del Río Verde.....	23
Figura 12.	Variación temporal de la turbidez (NTU) en tres puntos del Río Verde.....	24
Figura 13.	Variación temporal de sólidos totales (mg L ⁻¹) en tres puntos del Río Verde.....	25
Figura 14.	Variación temporal de la alcalinidad (mg L ⁻¹) en tres puntos del Río Verde.....	25
Figura 15.	Variación temporal de la dureza total (mg L ⁻¹) en tres puntos del Río Verde.....	26
Figura 16.	Variación temporal de los cloruros (mg L ⁻¹) en tres puntos del Río Verde.....	27
Figura 17.	Variación temporal del oxígeno disuelto (mg L ⁻¹) en tres puntos del Río Verde.....	27
Figura 18.	Variación temporal del DBO5 (mg L ⁻¹) en tres puntos del Río Verde.....	28
Figura 19.	Variación temporal de los fosfatos (mg L ⁻¹) en tres puntos del Río Verde.....	29
Figura 20.	Variación temporal del DQO en tres puntos del Río Verde.....	29
Figura 21.	Variación de Coliformes Totales en tres puntos del río Verde.....	30
Figura 22.	Variación de Coliformes Fecales en tres puntos del río Verde.....	31
Figura 23.	Plantas helófitas en medio acuático.....	33
Figura 24.	Perfil del humedal artificial subsuperficial utilizando <i>Scirpus californicus tator</i>	35
Figura 25.	Sistema de depuración en el punto 3 del Río Verde.....	37

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en el cantón Santo Domingo, parroquia Río Verde. El objetivo fue determinar el grado de contaminación del río Verde y proponer alternativas de recuperación a partir de la determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua. Para la etapa de campo se realizó un recorrido por el lugar, donde se logró identificar cinco fuentes puntuales de descarga hacia el río, y además se estableció tres puntos de muestreo, se realizó el monitoreo durante 3 meses una vez por mes. Los resultados obtenidos acorde a los parámetros analizados se compararon con la normativa ambiental ecuatoriana (TULSMA: Libro VI Anexo 1. Tabla 2 y Tabla 9), indicando que el agua no es apta para la preservación de la vida acuática por la baja cantidad de oxígeno disuelto (P1: 1,83 mg L⁻¹; P2: 5,13 mg L⁻¹ y P3: 6,11 mg L⁻¹); alta DQO (P1: 246,30 mg L⁻¹ y P2: 74,94 mg L⁻¹). Con la aplicación del índice de calidad de agua por el método de León, se obtuvo resultados en el P1 una agua excesivamente contaminada, P2 una agua contaminada y el P3 una calidad de agua ligeramente contaminada. Las alternativas de recuperación se basan en la fitorremediación, se propone la aplicación de especies: *Scirpus californicus tator* en humedales artificiales, que sirve para disminuir el grado de contaminación de aguas residuales, ayudan en la remoción de DBO y DQO, como también en la fijación de metales pesados y coliformes fecales. *Guadua angustifolia* para reforestación, esto permitirá la regulación del caudal en época seca y época lluviosa, además evitar la erosión de los suelos. Con la aplicación de estas especies se pretende recuperar la calidad del recurso hídrico y con ello la preservación del ambiente.

Palabras claves: Contaminación del agua, índice de calidad, humedal, recurso hídrico, fitorremediación, fuentes puntuales.

ABSTRACT

The present investigation was developed in Santo Domingo, Río Verde Parish. The objective was to determine the degree of contamination of the Verde River and propose recovery alternatives based on the determination of the physicochemical and microbiological parameters of the water. For the field stage, a tour of the place was carried out, where five point sources of discharge to the river could be identified, and three sampling points were also established, monitoring was carried out for three months once a month. The results obtained according to the parameters analyzed were compared with the Ecuadorian environmental regulations (TULSMA: Book VI Annex 1. Table 2 and Table 9), indicating that water is not suitable for the preservation of aquatic life due to the low amount of oxygen dissolved (P1: 1.83 mg L⁻¹; P2: 5.13 mg L⁻¹ and P3: 6.11 mg L⁻¹); high COD (P1: 246.30 mg L⁻¹ and P2: 74.94 mg L⁻¹). With the application of the water quality index by the León method, results were obtained in P1 excessively contaminated water, P2 a contaminated water and P3 a slightly contaminated water quality. The alternatives of recovery are based on phytoremediation, the application of species is proposed: *Scirpus californicus tator* in artificial wetlands, which serves to reduce the degree of contamination of wastewater, help in the removal of BOD and COD, as well as in the fixation of heavy metals and fecal coliforms. *Guadua angustifolia* for reforestation, this will allow regulation of flow in dry season and rainy season, in addition to avoid soil erosion. With the application of these species, the aim is to recover the quality of the water resource and with it the preservation of the environment.

Keywords: Water contamination, quality index, wetland, water resource, phytoremediation, point sources.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, cerca del 40% de la población mundial vive en áreas con problemas hídricos de un nivel moderado-alto, cerca de 2,2 millones de personas que en su mayoría son de países subdesarrollados, mueren cada año con enfermedades asociadas a las condiciones deficientes del agua. Alrededor del 90% de las aguas residuales y el 70% de los desechos industriales son descargados sin tratamiento alguno, dando como resultado la contaminación del suministro de agua para consumo (Fernández y Mortier, 2010).

Según Batista (2013) del Banco Mundial más de 32 millones de habitantes en Latinoamérica produce 225,000 toneladas de residuos sólidos cada día, en donde menos del 5% de las aguas de alcantarillado de las ciudades reciben tratamiento, las aguas negras por lo general son vertidas en cuerpos de aguas superficiales, provocando un riesgo a la salud humana, ecología y los animales. A cualquier hora, la mitad de las camas de los hospitales están ocupadas por pacientes que sufren de enfermedades relacionadas con el agua. El agua contaminada en América Latina aumenta. Cerca del 70% del agua que se utiliza en las ciudades, industria y agricultura son vertidas a los ríos sin ser tratada. Las personas más vulnerables son los habitantes de zonas rurales, las mujeres (ya que usan aguas contaminadas para labores domésticas), los niños (por realizar labores recreativas en el agua) y los pescadores (Díaz, 2017).

En el Ecuador el 61,86% (133) de los GAD Municipales realizan tratamientos de sus aguas residuales, mientras que el 38,14% (82) no realizan ningún tipo de tratamiento, de éstos el 59,26% disponen el agua residual no tratada en los ríos, el 25,19% en quebradas y el restante 15,56% en otros sitios (INEC, 2016). En la provincia de Santo Domingo 30 ríos están contaminados, entre ellos se incluye río Verde, donde según estudios realizados por el Ministerio del Ambiente, existen contaminantes, como metales pesados, fosfatos, sulfatos, coliformes fecales entre otros (Velasco, 2016), el vertimiento de las aguas residuales hacia los afluentes es una de las principales causas de afectación al ambiente, esto se debe al deterioro del sistema de alcantarillado que hace que las descargas vayan al río Verde, Pove y Code lo cual provoca un gran foco de contaminación por materia orgánica (Utreras, 2016). Frecuentemente las descargas de agua contaminada superan la capacidad de auto regeneración y los ríos se deterioran, lo cual conlleva a la pérdida del oxígeno disuelto en el agua, la desaparición de insectos, peces y la consecuente destrucción del ecosistema fluvial por la interrupción de las cadenas alimenticias (OMS, 2016), también la presencia de sólidos inorgánicos en el agua son contaminantes responsables de los altos niveles de turbidez y de sedimentación que limitan el paso de la luz solar y dan lugar a una perturbación física en el cauce del agua (FAO, 1997).

En Santo Domingo según datos del INEC en el área urbana el 69,26% de las viviendas tienen acceso al agua a través de la red pública y por otros el 30,74%. En el área rural el 13,29% cuenta con red pública y el 86,71% se provee de agua de pozos, ríos, acequia o carro repartidor (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2013 - 2017).

El agua es un recurso fundamental para todo ser vivo por eso es importante su preservación, uso y manejo adecuado, además la conservación de la calidad del agua es importante porque de ella dependemos para gozar de buena salud (Carrión, 2011).

Por lo anterior de esta investigación fue determinar el grado de contaminación del río Verde y proponer alternativas de recuperación a partir de la determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua en la provincia de Santo Domingo, y como objetivos específicos:

- Identificar las fuentes puntuales que contaminan el río;
- Evaluar la concentración de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, y su variación temporal;
- Determinar el Índice de Calidad del Agua (ICA);
- Plantear alternativas de recuperación del río Verde.

2. CONTENIDO TÉCNICO

Los ríos son considerados como una fuente de riqueza, ayudan suministrando agua a la poblaciones para su desarrollo, ayuda en la fertilidad de los suelos para la producción de alimentos, sin embargo estos perciben una disminución en su calidad, debido a que son receptores de vertidos generados por la población, industrias, escorrentías y otras actividades. La caracterización del agua de los ríos implica el grado de contaminación que posee; esta puede ser físico, químico o biológico (Santiago, Izquierdo, & Menéndez, 2017).

El uso de humedales artificiales es una alternativa para depurar aguas contaminadas, aquí se desarrollan diferentes tipos de vegetación, animales y microorganismos que se adaptan a esas condiciones de inundaciones ya sea temporal o permanente. En estos ecosistemas se pueden desarrollar procesos físicos y químicos que son idóneos para depurar el agua ya que eliminan sólidos en suspensión, nitrógeno, materia orgánica, fósforo entre otros (Frers, 2017). El aplicar plantas fitorremediadoras se la considerada como un tratamiento secundario o terciario de aguas residuales, se demuestra que son eficientes en la remoción de sustancias orgánicas, nutrientes y metales pesados (Hidalgo, 2005), la selección de las plantas se debe realizar según la adaptabilidad de las mismas al clima, su tolerancia a concentraciones elevadas de contaminantes, su capacidad de asimiladora de las mismas, su resistencia y facilidad de manejo (Fernández J. , 2016).

2.1 LOCALIZACIÓN

El río Verde está localizado en el Cantón Santo Domingo parroquia río Verde (Figura 1). El Cantón cuenta con 3.523 km² de extensión territorial, con una altitud media de 655 msnm, es una de las zonas con mayor pluviosidad en el país. Cuenta con una población aproximada de 450.000 habitantes, según la estimación de acuerdo con su tasa de crecimiento anual, es una zona climática lluviosa y tropical; su temperatura promedio es de 22,9 °C (GAD Provincial Santo Domingo de los Tsáchilas, 2018). Según la clasificación de las zonas de vida de Holdridge el clima de Santo Domingo es subtropical muy húmedo pre montano (Canelos, 2015).



Figura 1. Río Verde – Santo Domingo
Fuente: (Ubica Ecuador, 2018)

2.2 METODOLOGÍA

2.2.1 CARACTERIZACIÓN DEL RÍO VERDE

Se realizó el esquema con base a la caracterización del agua del río Verde (figura 2).

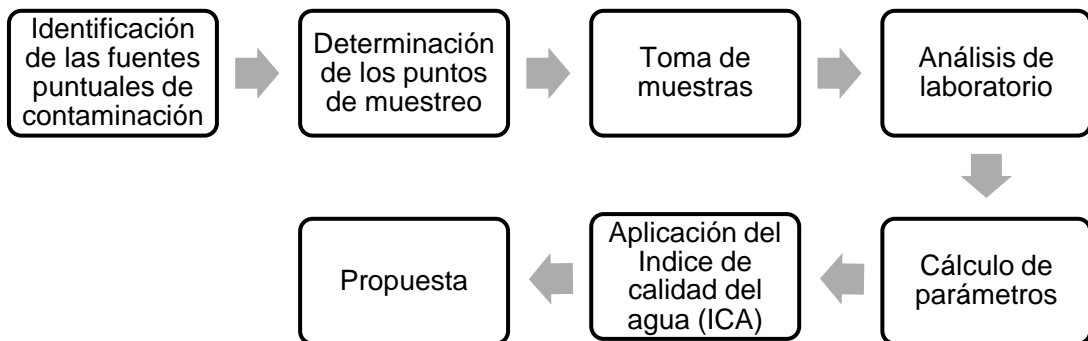


Figura 2. Esquema general de caracterización de agua del río Verde

2.2.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES PUNTUALES DE CONTAMINACIÓN

Se realizó un recorrido de campo para conocer las condiciones en que se encuentra el río, se logró identificar cinco fuentes puntuales de descarga hacia el río desde el sistema de alcantarillado público, los puntos fueron tomados en alcantarillas cercanas al río (Tabla 1).

Tabla 1. Georreferenciación y dirección de los puntos de descarga.

Punto	Dirección	Coordenadas	
		X	Y
1	Calle Pasaje y Calle Huigra, Coop. Unificados	0705839	9970320
2	Calle Pasaje y Calle Guano, Coop. Unificados	0705663	9970245
3	Calle Piñas y Calle Sibambe, Coop Río Verde	0705496	9970095
4	Calle Piñas y Calle Zaruma, Coop. Río Verde	0705393	9970152
5	Calle Los Ríos y Zamora Chinchipe, Coop. Río Verde	0704806	9969896

2.2.3 DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

Se tomó como referencia la Norma Mexicana NMX-AA-014-1980, que establece los lineamientos generales y recomendaciones para el muestreo en cuerpos receptores de agua superficial, con el fin de determinar sus características físicas, químicas y microbiológicas, para ello se diseñó un plan de muestreo, aguas arriba de la descarga donde no existe manifestación de esta, en la descarga y aguas abajo de la descarga a una distancia donde existe una mezcla uniforme de los vertidos con el cuerpo de agua.

La localización de los puntos de muestreo se tomó con un GPS para tener mayor confiabilidad de los datos y resultados. La selección de los puntos de muestreo se presenta en la Tabla 2.

La figura 3 muestra la ubicación de los puntos de toma de muestras.



Figura 3. Puntos de muestreo del río Verde, cantón Santo Domingo.
Fuente: (Google Earth, 2018)

Tabla 2. Ubicación de los puntos de muestreo del río Verde.

Punto	Ubicación	Coordenadas	
		X	Y
1	Punto de descarga	0705400	9970169
2	Aguas abajo	0705433	9970133
3	Aguas arriba	0704812	9969900

2.2.4 TOMA DE MUESTRAS

La toma de muestras se las realizó durante la época lluviosa que corresponde a los meses de marzo, abril y mayo; se tomaron un total de nueve muestras para observar su variación. Para el manejo y conservación de las muestras se aplicó la norma técnica ecuatoriana INEN 2169:2013. Se recolectaron las muestras en los puntos de muestreo ya establecidos, estas fueron tomadas con recipientes acorde al análisis (Tabla 3), además fueron manejadas con el mayor cuidado para evitar su alteración fisicoquímica y microbiológica (Mojarro, 2016).

Tabla 3. Técnicas generales para conservación de muestras de análisis fisicoquímicos y microbiológicos.

Parámetros	Tipo de recipiente	Técnica de preservación	Tiempo máximo
pH	P ⁽¹⁾ o V ⁽²⁾	Se enfría a entre 1 °C y 5 °C.	6 horas
Turbidez	P o V	Se enfría a entre 1 °C y 5 °C.	24 horas
Sólidos Totales (ST)	P o V	Se enfría a entre 1 °C y 5 °C.	24 horas
Alcalinidad	P o V	Se enfría a entre 1 °C y 5 °C.	24 horas
Dureza Total	P o V	Acidificar entre pH 1 a 2 con HNO ₃	1 mes
Cloruros	P o V	-----	1 mes
Oxígeno Disuelto (OD)	Vidrio	Fijar oxígeno y guardar en oscuridad	4 días
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	P o V	Se enfría a 1 °C y 5 °C y guardar en oscuridad	24 horas
Fosfatos	P o V	Se enfría a entre 1 °C y 5 °C.	24 horas
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	P o V	Acidificar a pH 1 a 2 con H ₂ SO ₄	1 mes
Coliformes Totales	P o V	0 – 5 °C en mini nevera	-----
Coliformes Fecales	P o V	0 – 5 °C en mini nevera	-----

Tomado de: Norma Técnica Ecuatoriana (INEN 2169, 2013) Manejo y Conservación de Muestras

(1) Plástico; (2) Vidrio

2.2.5 ANÁLISIS DE LABORATORIO

Se realizó los análisis fisicoquímicos y microbiológicos con base a la metodología establecida por las Normas Mexicanas, sobre los métodos de ensayo de los parámetros para la determinación de la calidad del agua (Tabla 4), los mismos que permitieron su comparación con la normativa ecuatoriana vigente.

Tabla 4. Parámetros y normas utilizadas para la caracterización del agua.

Parámetros	Unidades	Normas
pH	NMX-AA-008-SCFI-2016
Turbidez	NTU	NMX-AA-038-SCFI-2001
Sólidos Totales (ST)	mg L ⁻¹	NMX-AA-034-SCFI-2015
Alcalinidad	mg L ⁻¹	NMX-AA-036-SCFI-2001
Dureza Total	mg L ⁻¹	NMX-AA-072-SCFI-2001
Cloruros	mg L ⁻¹	NMX-AA-073-SCFI-2001
Oxígeno Disuelto (OD)	mg L ⁻¹	NMX-AA-012-SCFI-2001
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg L ⁻¹	NMX-AA-012-SCFI-2001
Fosfatos	mg L ⁻¹	NMX-AA-029-SCFE-2001
Demanda Química de Oxígeno	mg L ⁻¹	NMX-AA-030/2-SCFI-2012
Coliformes Totales	⁽¹⁾ NMP/ml	Método del Número Más Probable (NMP)
Coliformes Fecales	NMP/ml	Método del Número Más Probable (NMP)

⁽¹⁾ Número Más Probable.

2.3 PARÁMETROS DE EVALUACIÓN

Se presenta los procedimientos aplicados a los parámetros físicos: pH, turbidez y sólidos totales (ST), químicos: nitratos, fosfatos, alcalinidad, dureza, cloruros, oxígeno disuelto (OD), DQO (Demanda Química de Oxígeno) y DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno), y microbiológicos; Coliformes totales, Coliformes fecales.

2.3.1 PARÁMETROS FÍSICOS

2.3.1.1 pH

Se aplicó el método potenciométrico para la valoración del pH, donde se procedió a calibrar el equipo con las soluciones de buffer pH 4 y 7. Seguidamente se tomó 50 mL de muestra en un vaso de precipitación, se introdujo el electrodo para la toma de lecturas.

2.3.1.2 Turbidez

Se procedió a utilizar el equipo Lovinbond T3 210 IR con solución de 20 NTU para calibrar el equipo al encenderlo. Una vez calibrado el Turbidímetro se

colocó en un frasco porta muestras el agua para su respectiva lectura en unidades (NTU).

2.3.1.3 Sólidos Totales

Primero se realizó la preparación de las cápsulas, las mismas que se encontraban en la estufa a una temperatura de 105 °C, con la ayuda de una pinza se las colocó en el desecador para que enfríen. Luego fueron pesadas en una balanza de precisión y se anotaron cada uno de sus pesos. En una probeta de 25 mL se tomó la muestra problema y se las colocó dentro de las cápsulas ya pesadas. En seguida fueron puestas a baño maría por un lapso de 2 horas. Una vez evaporadas las muestras se llevó las cápsulas a la estufa durante 12 horas. Finalmente se retiró las cápsulas de la estufa, se las colocó en el desecador y se las pesó, los resultados se los calculó con la fórmula:

$$mg L^{-1}(ST) = \frac{(PT2 - PT1) \times 1000000}{V}$$

Dónde: PT1 = peso de la cápsula vacía en gramos; PT2 = peso de la cápsula culminado el proceso de secado; V = volumen de la muestra en ml.

2.3.2 PARÁMETROS QUÍMICOS

2.3.2.1 Alcalinidad

En una probeta se midió 25 mL de muestra problema, luego la transferimos a un matraz, se agregó de 2 a 3 gotas de anaranjado de metilo, agitar, y se efectuó la titulación con ácido sulfúrico (H₂SO₄) a 0,05 N.

Se calcularon los resultados con la siguiente fórmula:

$$CaCO_3(mgL^{-1}) = \frac{M * N \times 50000}{ml \text{ de muestra}}$$

Dónde: M = volumen consumido del ácido sulfúrico; N = Normalidad exacta del ácido; ml de muestra = volumen utilizado de muestra problema; 50000 = .50 eq g. x 1000 factor de conversión.

2.3.2.2 Dureza Total

Se procedió a colocar en una probeta 25 mL de muestra problema, luego se vertió a un matraz Erlenmeyer, con una pipeta volumétrica se agregó 2 mL de solución tampón para llevar a pH 10 y 1 mL de cianuro de potasio (KCN), luego agregar una pizca de eriocromo T, se procedió agitar y realizamos la tituló con solución EDTA a 0.02 M. Se aplicó la siguiente fórmula:

$$DT CaCO_3(mgL^{-1}) = \frac{V_1 * M \times 100000}{V}$$

Dónde: V1 = volumen gastado del EDTA en ml; M = molaridad exacta del EDTA; V = volumen de la muestra en ml; 100000 = 100 eq g. x 1000 factor de conversión.

2.3.2.3 Cloruros

Se midió 25 ml de muestra problema en una probeta, luego se trasvaso a un matraz Erlenmeyer, con una pipeta volumétrica se colocó 1 mL de solución indicadora de cromato de potasio (K_2CrO_4), agitar y se titula con la solución valorada de nitrato de plata ($AgNO_3$) a 0,01 N hasta el viraje de amarillo a rojizo.

Se realizó el cálculo con la fórmula siguiente:

$$Cl (mgL^{-1}) = \frac{A * N * 35460}{V}$$

Dónde: A = volumen de $AgNO_3$ utilizados en la titulación en ml; N = normalidad exacta del $AgNO_3$; V = volumen de la muestra en ml; 35460 = 35,450 eq g. x 1000 factor de conversión.

2.3.2.4 Oxígeno Disuelto (OD)

Según lo establecido en la norma NMX-AA-012-SCFI-2001 para la determinación del OD.

- Se añadió dentro de las botellas de Winkler donde contenían cada muestra (300mL), 2 mL de una solución fijadora de oxígeno de sulfato manganoso ($MnSO_4 \cdot H_2O$), y 2 mL de una disolución alcalina de azida sódica (NaN_3), tapar y empezar agitar las botellas, luego dejar en reposo en un lugar oscuro por 15 minutos hasta que sedimente.

- Transcurrido el tiempo, añadir a cada botella de Winkler 2 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4), tapar los frascos y agitar hasta tener una disolución completa.

- En una probeta se colocó 100 mL de solución y se las trasladó a matraces Erlenmeyer cada una, empezamos a titular con el tiosulfato de sodio hasta que la solución se torne un poco pálida que el color inicial, se añade unas gotas de indicador de almidón, agitar un poco y se vuelve azul, se titula nuevamente hasta que la solución se vuelva transparente, y anotar el volumen consumido del tiosulfato de sodio.

Los resultados se obtuvieron con la siguiente fórmula:

$$O_2 \text{ mg } L^{-1} = \frac{\text{ml tiosulfato} \times N \times 8000}{B - R}$$

Dónde: N = normalidad del tiosulfato de sodio; R = volumen de los reactivos añadidos; 8000 = equivalente de oxígeno; B = volumen de la botella

2.3.2.5 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Su procedimiento es igual al Oxígeno Disuelto según lo establecido en la norma NMX-AA-012-SCFI-2001, se trabajó con la variable tiempo, debido que al DBO₅ reposa en un lugar oscuro por 5 días, para su posterior lectura.

El cálculo de resultados se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$O_2 \text{ mg L}^{-1} = \frac{\text{ml tiosulfato} \times N \times 8000}{B - R}$$

Dónde: N = normalidad del tiosulfato de sodio; R = volumen de los reactivos añadidos; 8000 = equivalente de oxígeno; B = volumen de la botella.

Oxígeno final (valor del DBO₅)

$$O_2 \text{ mg L}^{-1} = \frac{\text{ml tiosulfato} \times N \times 8000}{B - R}$$

Para el cálculo final se requiere:

$$O_2 - O_1$$

La misma que se refiere la resta del oxígeno final menos el oxígeno inicial.

2.3.2.6 Fosfatos

Se colocó muestras de agua problema en balones de aforo, se añadió 4 mL de la solución de molibdato de amonio y 0.5 mL de cloruro estannoso, se mezcla bien. Se afora a 100 mL con la muestra problema, se guardó en un lugar oscuro por 5 minutos. Se preparó un blanco con agua destilada y se aplicó el mismo procedimiento. Transcurrido el tiempo se procedió con la lectura de absorbancia a 690 nm.

La fórmula para su cálculo es ecuación de la recta:

$$Y \text{ mg L}^{-1} = mX + b$$

Dónde: Y = absorbancia; m = pendiente de la recta; X = concentración; b = punto de intersección con el eje de las Y.

2.3.2.7 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Se procedió a precalentar el digestor de DQO a 150 °C. Se añadió 2.5 mL de muestra dentro de los tubos de reacción, se cerró inmediatamente para evitar que se escapen vapores, suavemente se invirtieron los tubos varias veces destapando después de cada inversión para liberar presión, se preparó un blanco de reactivos con ayuda de agua destilada.

Se colocó todos los tubos en el digestor previamente calentado a 150 °C por 2 horas. Luego se retiró los tubos del digestor, se los dejó enfriar a

temperatura ambiente. Se calibró a 600 nm el espectrofotómetro y se midió la absorbancia.

Los resultados se obtuvieron con la siguiente fórmula:

$$Y \text{ mg L}^{-1} = mX + b$$

Dónde: Y = absorbancia; m = pendiente de la recta; X = concentración; b = punto de intersección con el eje de las Y.

2.3.3 PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

2.3.3.1 Coliformes Totales

-Se trabajaron con 38 tubos microbiológicos estos fueron enjuagados con agua destilada. En una gradilla con 10 tubos, se colocó 9 ml de agua destilada esto con ayuda del dispensador previamente graduado. En los tubos restantes se colocó los tubos Durham y 10 ml de Caldo Lactosado, se taparon y se llevaron a esterilizar junto con una caja de puntas para micropipeta (1mL).

-Una vez esterilizados se sacó las gradillas con los tubos y se dejó que enfríen a temperatura ambiente, luego esterilizamos la cabina de flujo laminar con alcohol donde posteriormente llevamos los tubos para realizar las respectivas diluciones. Se tomaron 3 tubos con agua destilada donde se realizó las respectivas diluciones de la primera muestra 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , esto con la ayuda de la micropipeta. Luego vertimos 1 mL de las diluciones en los tubos que contenían el Caldo Lactosado ya rotulados. Se realizó 3 repeticiones por cada dilución más un blanco, se aplicó el mismo proceso para las 2 muestras restantes.

-Se llevó a la incubadora a 35 °C por 48 horas. Culminado el tiempo se realizó la lectura de los tubos positivos de cada muestra.

2.3.3.2 Coliformes Fecales

-De cada tubo positivo en Caldo Lactosado de la prueba de coliformes totales, se inoculo con asa a un tubo con Caldo Verde Bilis Brillante, esto se realizó dentro de la cabina de flujo laminar.

-Se colocó en la incubadora a 45 °C durante 24 horas.

-Culminado el tiempo se observó la formación de gas en los tubos Durham con Caldo Verde Bilis Brillante.

-Los tubos con producción de gas son positivos y se tuvo en cuenta para el reporte de Coliformes fecales.

2.4 ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD

Se aplicó el Índice de la Calidad del Agua (ICA) por el método de León aplicado a Centro América a los parámetros ya mencionados.

La evaluación numérica del ICA, con técnicas multiplicativas y ponderadas con la asignación de pesos específicos, se debe a Brown y McClelland (1973), obteniéndose a partir de una media geométrica:

$$ICA = \prod_{i=1}^n [Q_i^{W_i}]$$

Donde W_i son los pesos específicos asignados a cada parámetro (i), y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno. Q_i es la calidad del parámetro (i), en función de su concentración y cuya calificación oscila entre 0 y 100, PI representa la operación multiplicativa de las variables Q elevadas a la W.

Finalmente, el ICA que arroja la ecuación es un número entre 0 y 100 a partir del cual y en función del uso del agua, permite estimar el nivel de contaminación y su clasificación.

La tabla 5, muestra las unidades de las variables y los valores de los pesos específicos (W_i) considerados en la expresión previa.

Tabla 5. Pesos específicos de los parámetros.

Parámetros	(SIMB-Unidad)	Valor de W
Oxígeno Disuelto	(OD-% Sat.)	0,103
Demanda Bioquímica Oxígeno	(DBO-mg/l)	0,096
Demanda Química de Oxígeno	(DQO-mg/l)	0,053
Grado Acidez/Alcalinidad	(pH -)	0,063
Sólidos Suspendidos	(SST-mg/l)	0,033
Coliformes Totales	(ColiT-#/100 ml)	0,083
Coliformes Fecales	(ColiF-#/100 ml)	0,143
Nitratos	(NO ₃ -mg/l)	0,053
Amonios	(NH ₃ -mg/l)	0,043
Fosfatos	(PO ₄ -mg/l)	0,073
Fenoles	(Fenol-ug/l)	0,033
Diferencia Temperatura	(DT-°C)	0,043
Alcalinidad como CaCO ₃	(AlcT-mg/l)	0,055
Dureza como CaCO ₃	(DurT-mg/l)	0,058
Cloruros	(Clor-mg/l)	0,068

Fuente: (León, 1998)

Un aspecto que se consideró, fue la escasez de datos completos en un monitoreo, por lo que, en la estimación de éste ICA, se consideró que al faltar el valor de alguno de los variables, su peso específico se reparte en

forma proporcional entre los restantes, excluyéndolo del operador multiplicativo en el momento de estimar el ICA.

2.4.1 INTERPRETACIÓN DE LA ESCALA

Asociado al valor numérico del ICA se definen 6 rangos de estado de calidad del agua:

- Excelente: E
- Aceptable: A
- Levemente Contaminada: LC
- Contaminada: C
- Fuertemente Contaminada: FC
- Excesivamente Contaminada EC

Según Dinius 1987, determina que en función de esta clasificación y dependiendo del uso al que se destine el agua, se establece los criterios que se presentan a continuación:

Uso Como Agua Potable

- 90-100 E - No requiere purificación para consumo.
- 80-90 A - Purificación menor requerida.
- 70-80 LC - Dudoso su consumo sin purificación.
- 50-70 C - Tratamiento potabilizador necesario.
- 40-50 FC - Dudosa para consumo.
- 0-40 EC - Inaceptable para consumo.

Uso En Agricultura

- 90-100 E - No requiere purificación para riego.
- 70-90 A - Purificación menor para cultivos que requieran de alta calidad de agua.
- 50-70 LC - Utilizable en mayoría de cultivos.
- 30-50 C - Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos.
- 20-30 FC - Uso sólo en cultivos muy resistentes.
- 0-20 EC - Inaceptable para riego.

Uso En Pesca Y Vida Acuática

- 70-100 E - Pesca y vida acuática abundante.
- 60-70 A - Límite para peces muy sensitivos.
- 50-60 LC - Dudosa la pesca sin riesgos de salud.
- 40-50 C - Vida acuática limitada a especies muy resistentes.
- 30-40 FC - Inaceptable para actividad pesquera.
- 0-30 EC - Inaceptable para vida acuática.

Uso Industrial

- 90-100 E - No se requiere purificación.
- 70-90 A - Purificación menor para industrias que requieran alta calidad de agua para operación.
- 50-70 LC - No requiere tratamiento para la mayoría de industrias de operación normal.
- 30-50 C - Tratamiento para mayoría de usos.
- 20-30 FC - Uso restringido.
- 0-20 EC - Inaceptable para cualquier industria.

Uso Recreativo

- 70-100 E - Cualquier tipo de deporte acuático.
- 50-70 A - Restringir los deportes de inmersión, precaución si se ingiere dada la posibilidad de presencia de bacterias.
- 40-50 LC - Dudosa para contacto con el agua.
- 30-40 C - Evitar contacto, sólo con lanchas.
- 20-30 FC - Contaminación visible, evitar cercanía
- 0-20 EC - Inaceptable para recreación.

A continuación se observan las figuras correspondientes a cada Variable (Figuras 4 a 10) con su respectivo valor Q (Valor de Calidad).

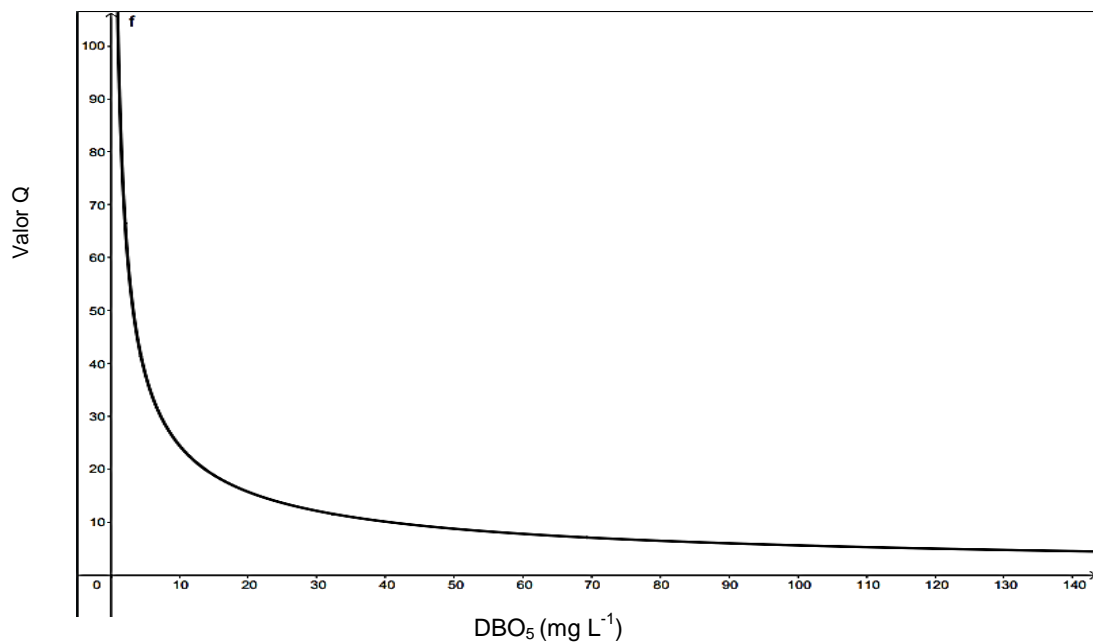


Figura 4. Función de Calidad Demanda Bioquímica de Oxígeno

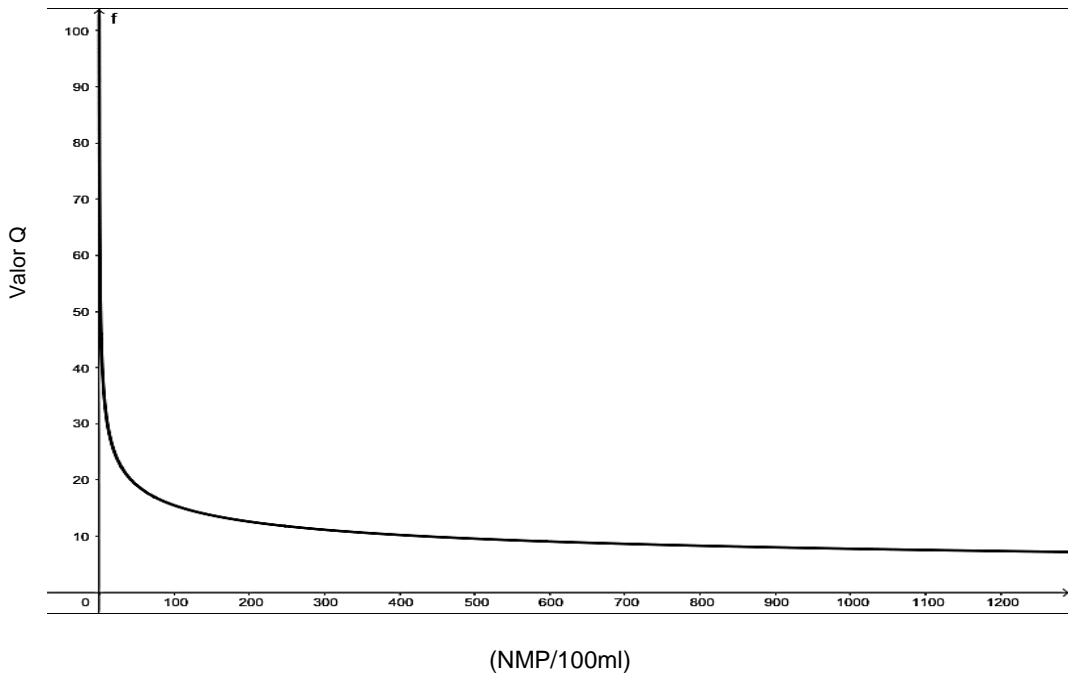


Figura 5. Función de Calidad Coliformes Fecales/Coliformes Totales

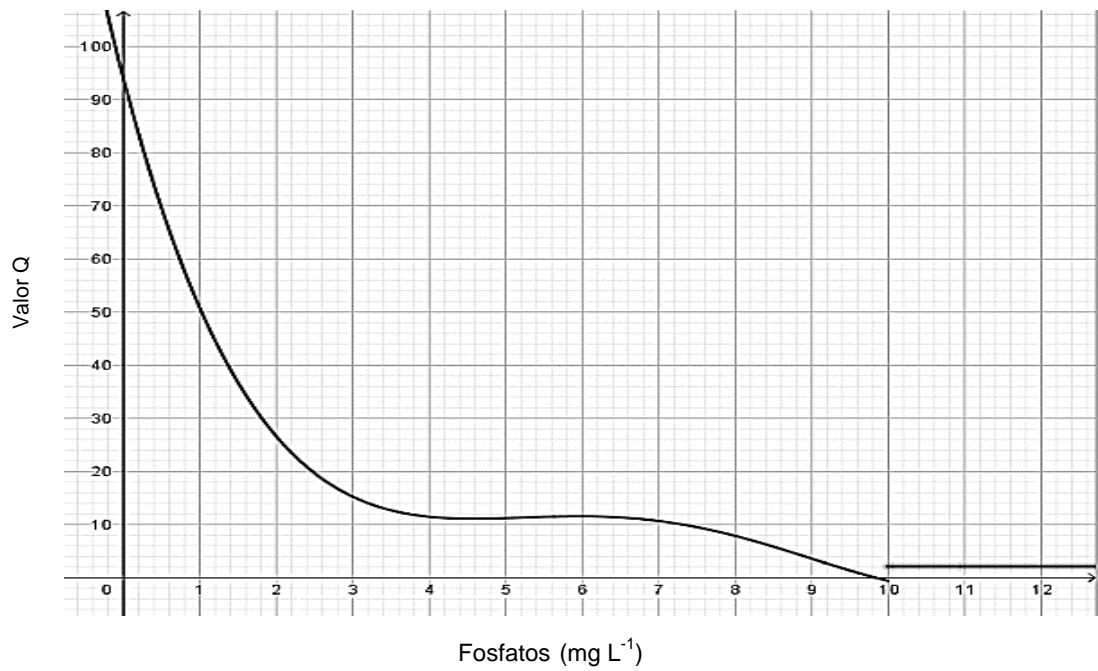


Figura 6. . Función de Calidad Fosfatos

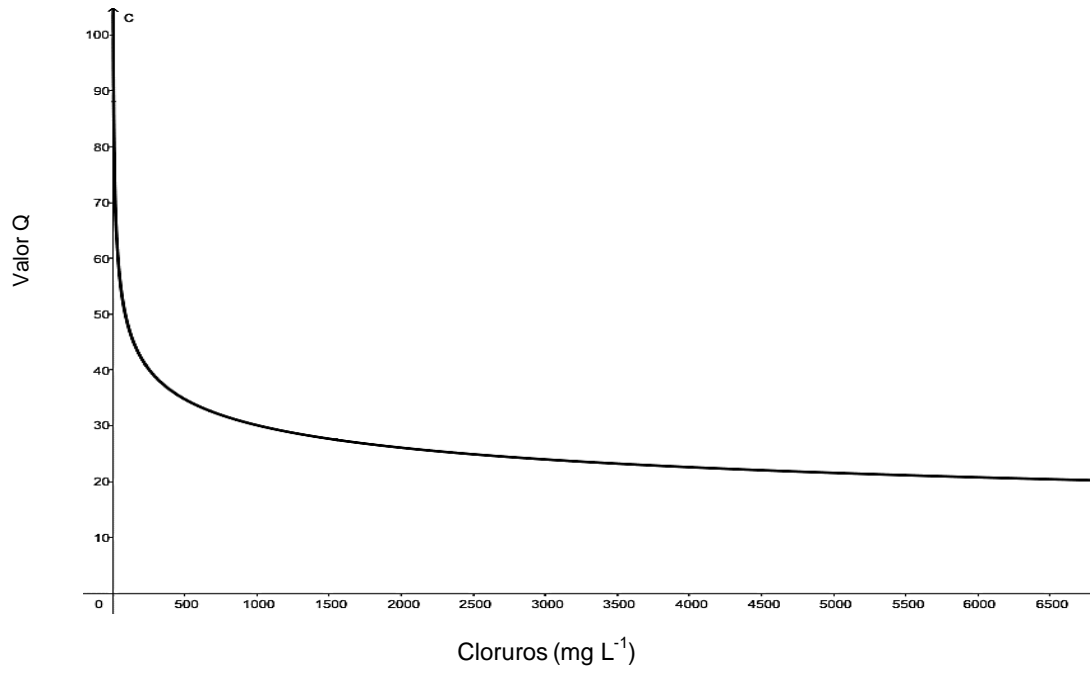


Figura 7. Función de Calidad Cloruros

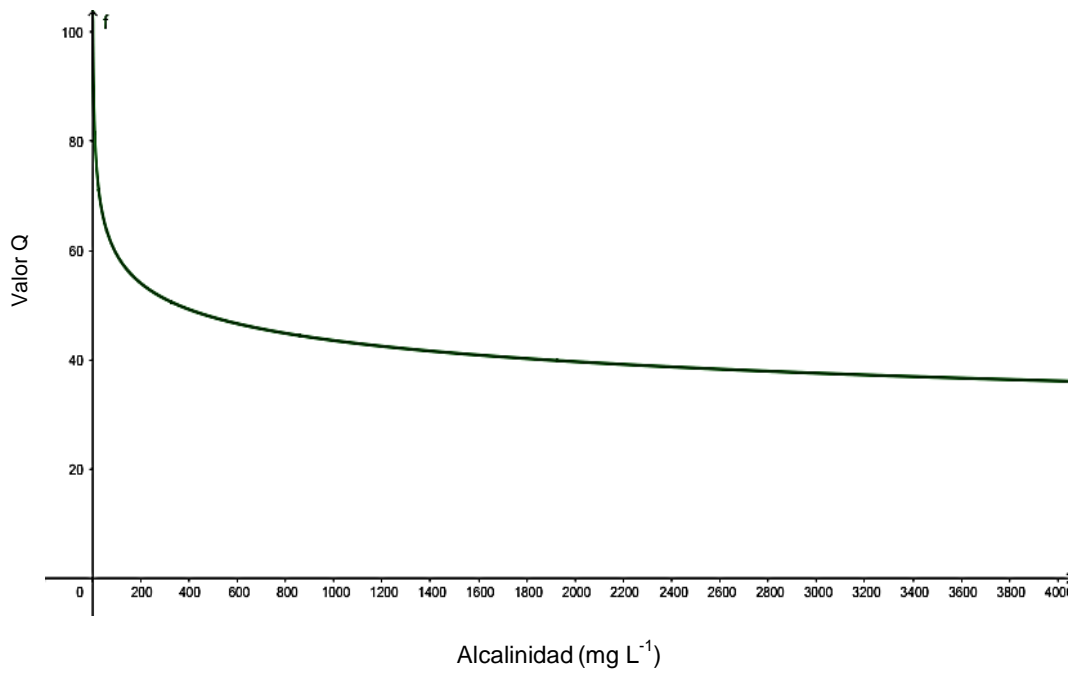
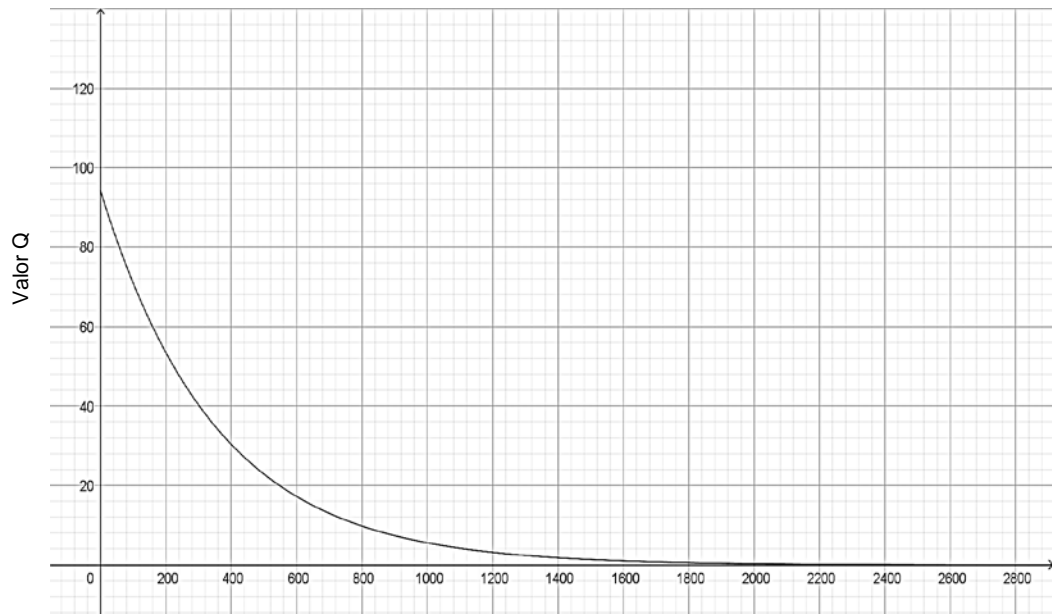
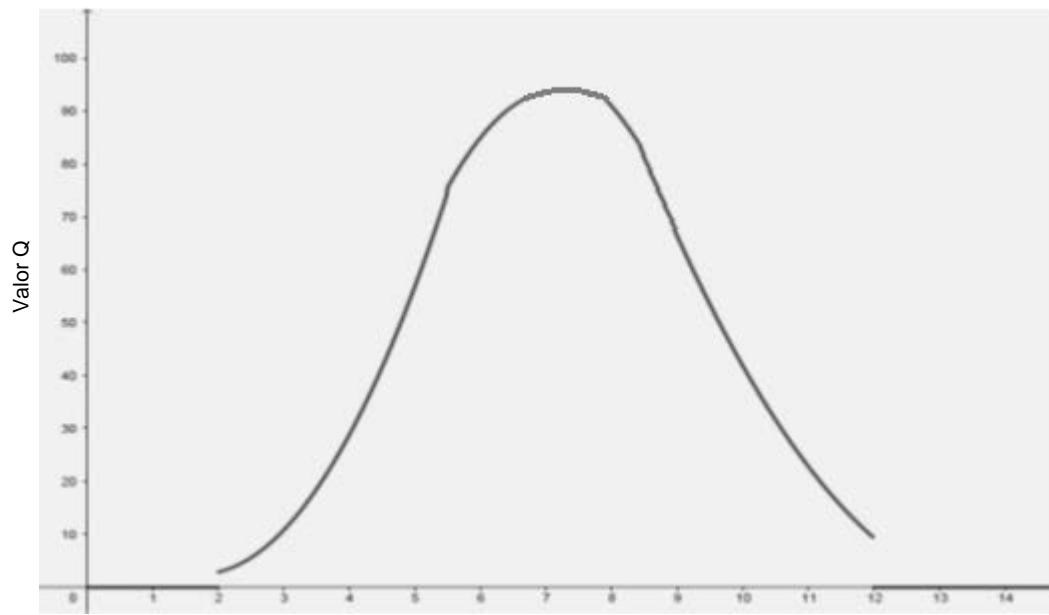


Figura 8. Función de Calidad Alcalinidad



Dureza (mg L⁻¹)
 Figura 9. Función de Calidad Dureza



(Unidades)
 Figura 10. Función de Calidad Potencial Hidrogeno (pH)

3. RESULTADOS

Los resultados obtenidos de cada punto fueron comparados con la normativa ambiental vigente, con la finalidad de cuantificar la calidad del agua del río Verde los cuales se presentan en el Libro VI, Anexo I del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA, 2015), Tablas 2 y 9: Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios; Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos fueron evaluados en los meses de marzo, abril y mayo del 2018, para su caracterización se comparó con la normativa vigente, el cual se muestra en la tabla 6.

El índice de calidad de agua (ICA Método de León) toma en cuenta los parámetros ya mencionados, para dar un estado de calidad de agua en los tres puntos de muestreo, de tal forma que los resultados se encuentren dentro de los criterios de uso en pesca y vida acuática, los resultados del índice se muestra en la tabla 8.

Tabla 6. Resultados de la caracterización fisicoquímica y microbiológica obtenida de marzo-mayo en los tres puntos del Río Verde.

Parámetro	Punto 1			Promedio	Punto 2			Promedio	Punto 3			Promedio
	Marzo	Abril	Mayo		Marzo	Abril	Mayo		Marzo	Abril	Mayo	
pH	5,49	6,24	6,30	6,01	6,48	6,61	6,46	6,52	6,44	6,59	6,58	6,54
Turbidez	47,70	27,50	29,90	35,03	40,80	10,70	6,37	19,29	37,20	12,90	5,84	18,65
Sólidos Totales (ST)	428	344	512	428	222	176	268	222	182	136	228	182
Alcalinidad	103	120	113	112	133	150	130	137,67	163	200	220	194,33
Dureza Total	840	849	128	605,73	24	48	200	90,67	40	58	112	70,13
Cloruros	84,40	114,90	53,90	84,40	11,34	23,40	27,38	20,71	4,26	22,69	24,11	17,02
Oxígeno Disuelto (OD)	1,70	1,80	2,00	1,83	4,60	4,38	6,40	5,13	5,20	5,63	7,50	6,11
DBO ₅	2,40	2,00	2,60	2,33	5,80	6,60	8,00	6,80	4,80	5,06	7,40	5,75
Fosfatos	3,71	3,64	2,67	3,34	0,20	0,16	0,61	0,32	0,11	0,12	0,18	0,14
DQO	246,30	190,28	302,33	246,30	74,94	15,62	134,26	74,94	32,10	12,32	51,87	32,10
Coliformes Totales	2400	1100	2400	1967	240	210	460	303	23	23	21	22
Coliformes Fecales	1100	460	1100	887	93	75	150	106	9	4	7	7

Tabla 7. Valores promedios de los tres puntos tomados en el río y comparación con el TULSMA.

Parámetros	Unidades	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Normativa TULSMA	
					Tabla 2 ⁽²⁾	Tabla 9 ⁽³⁾
pH	----	6,01	6,53	6,53	6,5-9	6-9
Turbidez	NTU	35,03	19,29	18,65	no registra	no registra
Sólidos Totales (ST)	mg L ⁻¹	428	222	182	no registra	1600
Alcalinidad	mg L ⁻¹	112,00	137,67	194,33	no registra	no registra
Dureza Total	mg L ⁻¹	605,73	90,67	70,13	no registra	no registra
Cloruros	mg L ⁻¹	84,40	20,71	17,02	no registra	1000
Oxígeno Disuelto (OD)	mg L ⁻¹	1,83*	5,13*	6,11	no < 6 mg/l	no registra
DBO5	mg L ⁻¹	2,33	6,80	5,75	20	100
Fosfatos	mg L ⁻¹	3,34	0,32	0,14	no registra	no registra
DQO	mg L ⁻¹	246,30*	74,94*	32,10	40	200
Coliformes Totales	NMP/100ml	1967	125	22	no registra	no registra
Coliformes Fecales	NMP/100ml	887	16	7	200	2000

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

⁽¹⁾ Límites máximos permisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y estuarios.

⁽²⁾ Límites máximos permisibles de descarga a un cuerpo de agua dulce.

(*) Parámetros que no cumplen con la Normativa

3.1 ANÁLISIS FÍSICOS

3.1.1 POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)

Los resultados obtenidos en el análisis de pH, están entre un rango de 5,50 y 6,61 unidades de pH, tal como se muestra en la figura 11, el estado de los tres puntos de muestreo tuvo una tendencia ligeramente ácida y neutra. En el punto 1 donde es la descarga en el mes de marzo se presentó pH más bajo de 5,50; a pesar de ello no presenta un riesgo para la vida acuática ya que se encuentra dentro de los rangos establecidos para descargas a un cuerpo de agua dulce (TULSMA, 2015). En el punto 2 y 3 se mantuvieron en promedio dentro del rango neutro 6,52 y 6,54.

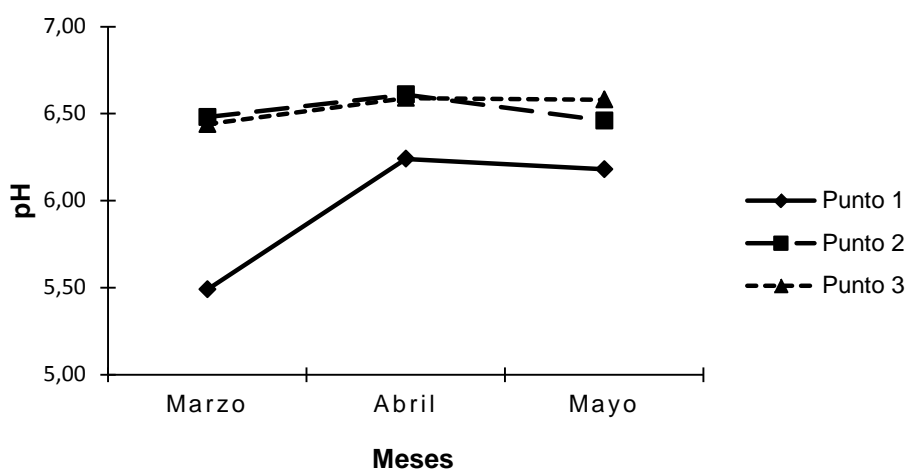


Figura 11. Variación temporal del potencial de Hidrógeno del Río Verde.

3.1.2 TURBIDEZ

Las concentraciones de turbidez pueden variar por la presencia de partículas pequeñas sólidas en suspensión que se relacionan tanto con la época en que se realiza el muestreo como también las actividades que se efectúen, se obtuvieron variaciones de turbiedad entre 5,84 NTU a 47,7 NTU. Como se observa en la figura 12, en el punto 2, los valores varían en el mes de marzo debido a que existe un alza considerable de 40,8 NTU a diferencia de los meses abril y mayo cuya lectura presento valores de 10,7 y 6,37 NTU.

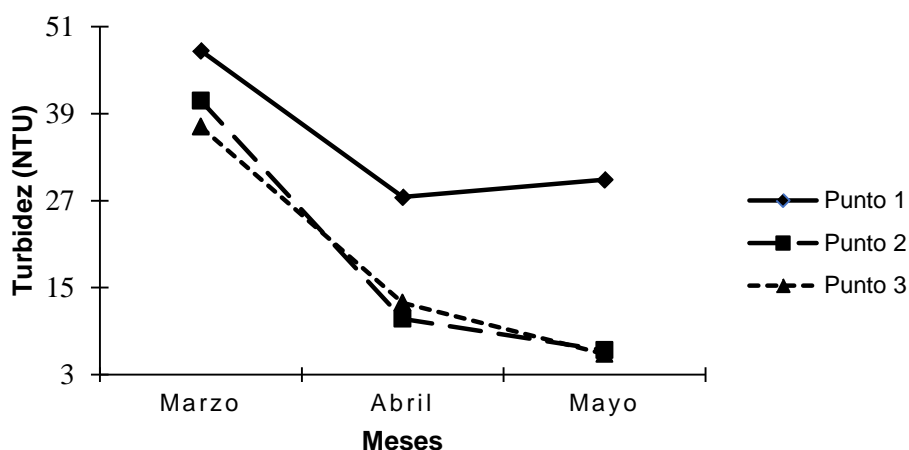


Figura 12. Variación temporal de la turbidez (NTU) en tres puntos del Río Verde.

3.1.3 SÓLIDOS TOTALES

Como se puede observar en la figura 13, la concentración de sólidos totales varía en los tres puntos de muestreo teniendo así, en el punto 1 la máxima concentración es de 512 mg L^{-1} en el mes de mayo, y la más baja es de 344 mg L^{-1} ; a pesar de ello se encuentra dentro de los límites máximos permisibles de vertidos a un cuerpo de agua dulce que es de 1600 mg L^{-1} según la normativa, en el punto 2 la máxima concentración es de 268 mg L^{-1} en el mes de mayo y la más baja es de 176 mg L^{-1} en el mes de abril; y finalmente en el punto 3 se repite la tendencia de los puntos anteriores, siendo el valor más alto en el mes de mayo de 228 mg L^{-1} y la concentración más baja es de 136 mg L^{-1} en el mes de abril. En el TULSMA (tabla 7) no establece valores que determinen el límite máximo permisible para la preservación de la vida acuática.

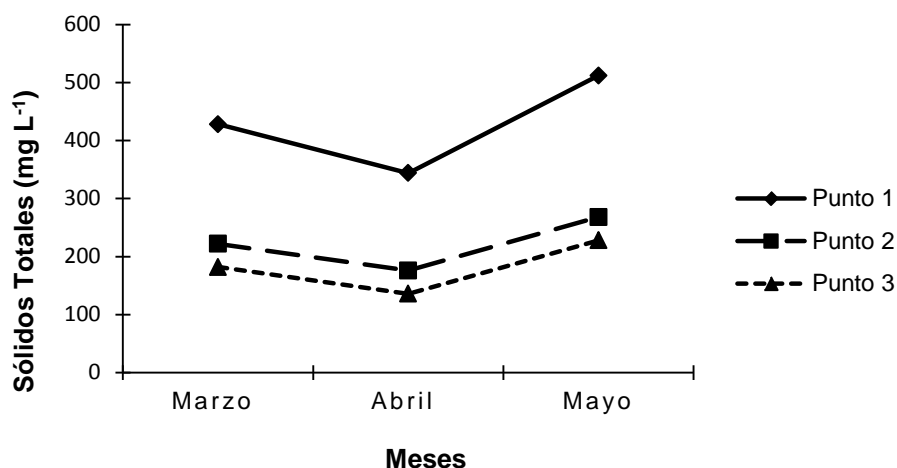


Figura 13. Variación temporal de sólidos totales (mg L⁻¹) en tres puntos del Río Verde.

3.2 ANÁLISIS QUÍMICOS

3.2.1 ALCALINIDAD

En la figura 14, se muestran los resultados de alcalinidad correspondientes a tres puntos de muestreo, en el punto 1, la mayor concentración de alcalinidad se presenta en el mes de abril con 120 mg L⁻¹ y la concentración más baja se presenta en el mes de marzo con 103 mg L⁻¹; en el punto 2, la concentración más alta es de 150 mg L⁻¹ mientras que la más baja es de 130 mg L⁻¹; y finalmente en el punto 3, la concentración más alta es de 220 mg L⁻¹ en el mes de mayo, y la concentración más baja es de 163 mg L⁻¹ en el mes de abril. Dentro del TULSMA no se encuentran determinados criterios de calidad de agua para este parámetro.

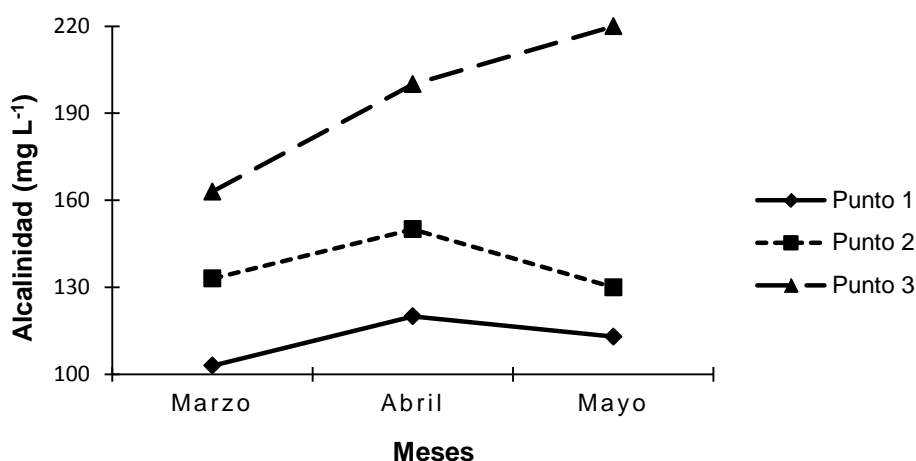


Figura 14. Variación temporal de la alcalinidad (mg L⁻¹) en tres puntos del Río Verde.

3.2.2 DUREZA TOTAL

Las concentraciones de dureza varían según las actividades que se realicen, en la figura 15, en el punto 2 alcanzo una concentración 24 mg L⁻¹ a 200 mg L⁻¹ en los tres meses, esto se debe a que existe una tubería cercana que vierte aguas residuales domesticas cerca del punto de muestreo, en el punto 3, la máxima concentración es de 112 mg L⁻¹ en el mes de mayo, y la más baja 40 mg L⁻¹, (TULSMA, 2015), dentro de los límites máximos permisibles para preservación de la vida acuática no presenta valores para este parámetro.

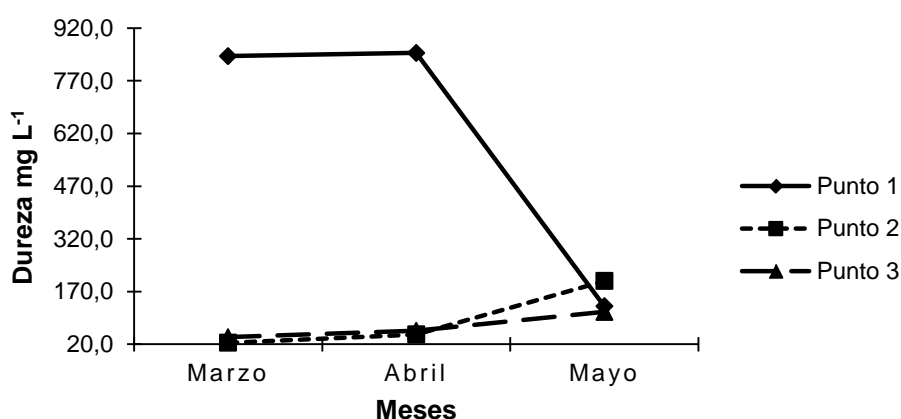


Figura 15. Variación temporal de la dureza total (mg L⁻¹) en tres puntos del Río Verde.

3.2.3 CLORUROS

Como se observa en la figura 16, el rango de cloruros en los tres puntos de muestreo varía considerablemente, en el punto 1 presenta una concentración de 84.46 mg L⁻¹ en el mes de marzo, mientras que en el mes de abril se presenta un ligero incremento de 114.90 mg L⁻¹, y una disminución considerable de 53.90 mg L⁻¹ en el mes mayo, esto debido a que son aguas de desecho donde los cloruros tienden aumentar (Giraldo, 1995). En el punto 2 y 3 existió una concentración de 27.38 y 24.11 mg L⁻¹ en el mes de mayo. Dentro del TULSMA no se establece criterios de calidad para este parámetro.

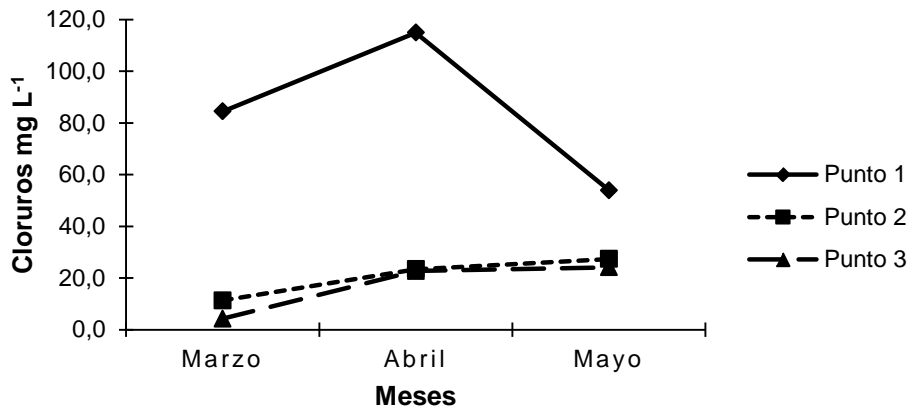


Figura 16. Variación temporal de los cloruros (mg L⁻¹) en tres puntos del Río Verde.

3.2.4 OXÍGENO DISUELTO (OD)

En la figura 17, se observa que en el punto 2 debido a las actividades antropogénicas y a la poca aireación del agua producto de la disminución del cauce del río, se presentaron niveles bajos en el mes de marzo 5,20 mg L⁻¹ y de 4,38 mg L⁻¹ en abril, a medida que el río va recibiendo descargas contaminantes desciende el nivel de oxígeno. Según el TULSMA los niveles de oxígeno disuelto no deben ser menor a 6 mg/l por lo que se considera como agua de calidad baja, donde la vida ribereña empieza a disminuir. Mientras que en el punto 3, su variación es mínima llegando a tener 5,20 mg L⁻¹ en el mes de marzo a 7,50 mg L⁻¹ en el mes de mayo, debido a la reoxigenación en este tramo del río.

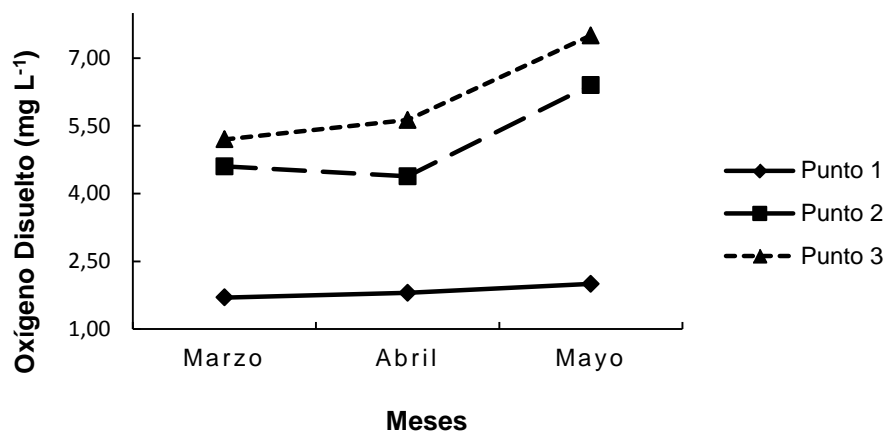


Figura 17. Variación temporal del oxígeno disuelto (mg L⁻¹) en tres puntos del Río Verde.

3.2.5 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO₅)

Se presentó en la figura 18, las concentraciones de DBO₅ en los meses de marzo, abril y mayo, las cuales presentan variaciones entre cada punto, en el punto 2 alcanza una concentración de 8 mg L⁻¹ en el mes de mayo, los valores presentados no figuran un nivel perjudicial según el TULSMA ya que se encuentran dentro de los límites permisibles, tanto para descargas a un cuerpo de agua dulce como es el punto 1, y para la preservación de la vida acuática como el punto 2 y 3.

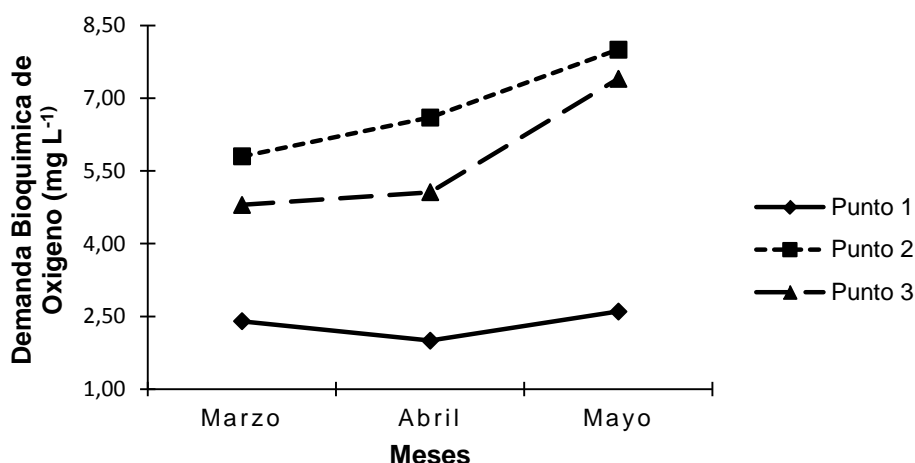


Figura 18. Variación temporal del DBO₅ (mg L⁻¹) en tres puntos del Río Verde.

3.2.6 FOSFATOS

Las concentraciones de fosfatos entre los tres puntos oscilan entre 0,11 y 3,71 mg L⁻¹, en la figura 19, se observa que en el punto 3 se obtiene valores más bajos, de 0,11 mg L⁻¹ en el mes de marzo a 0,18 mg L⁻¹ del mes de mayo siendo consideradas como aguas limpias, en el punto 1 su concentración aumenta a 3,71 mg L⁻¹ en el mes de marzo, llegando a tener una ligera disminución de 2,67 mg L⁻¹ en el mes de mayo, cuyos niveles son propicios de aguas contaminadas.

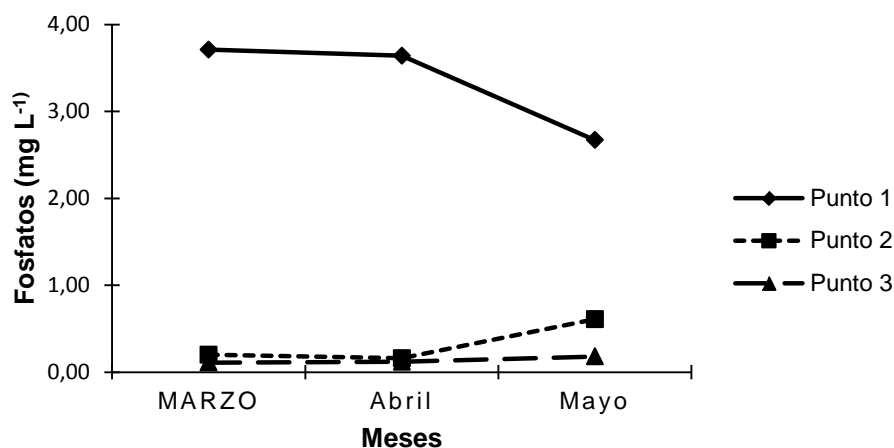


Figura 19. Variación temporal de los fosfatos (mg L⁻¹) en tres puntos del Río Verde.

3.2.7 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

Como se puede observar en la figura 20, en el punto 1, existió un aumento en el mes de marzo de 246.30 mg L⁻¹ y una disminución de 190.28 mg L⁻¹ en el mes de abril y nuevamente aumento a 302.33 mg L⁻¹ en el mes de mayo, dentro de los límites para descargas a un cuerpo de agua dulce es de 200 mg L⁻¹, es decir que en promedio entre los tres meses sobrepasa el límite, debido a que son aguas de descarga que contienen gran cantidad de carga orgánica (Humberto, 1983). En el punto 2 se presentó un aumento de 74,94 a 134,26 mg L⁻¹ de marzo a mayo, lo cual sobrepasa los límites máximos permisibles para la preservación de la vida acuática (Tabla 6) que es de 40 mg L⁻¹, mientras que el punto 3 su variación es mínima en el mes de mayo, a diferencia de los meses marzo y abril que cumplen con la normativa.

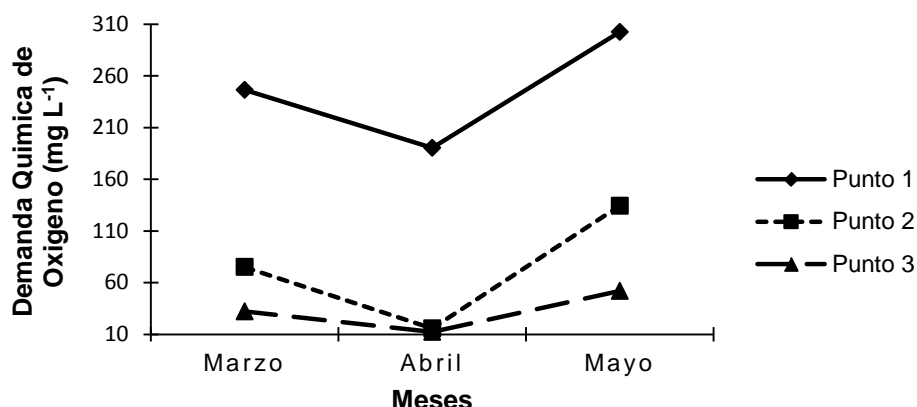


Figura 20. Variación temporal del DQO en tres puntos del Río Verde.

3.3 PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

3.3.1 COLIFORMES TOTALES

Los resultados determinaron la presencia de Coliformes Totales en los tres puntos. Como se observa en la figura 21, en el punto 1, existe una elevada carga microbiana de 1967 bacterias/100 ml de agua, esto debido a las diferentes actividades que se realizan, ya que son aguas residuales domésticas (Fernández, 2017), en el punto 3 presenta una disminución en promedio de 22 NMP/100 ml. Dentro de los límites permisibles no se establece criterios de calidad para este parámetro.

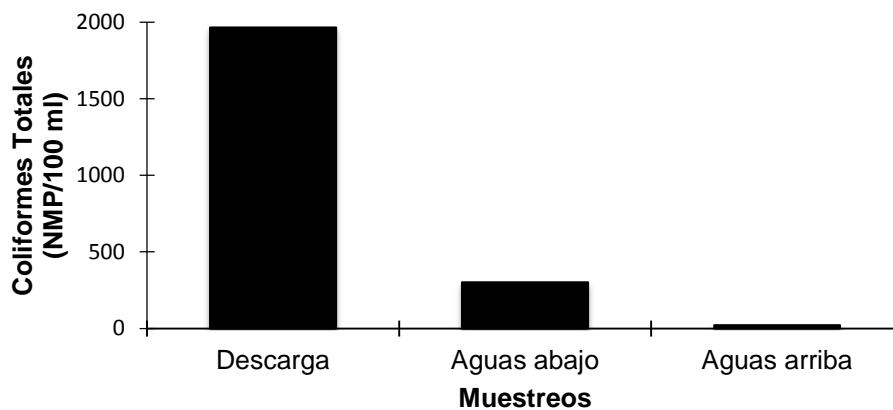


Figura 21. Variación de Coliformes Totales en tres puntos del río Verde.

3.3.2 COLIFORMES FECALES

Los resultados de esta prueba confirmaron la presencia de coliformes fecales en el agua como se muestra en la figura 22, en el punto 1 reflejo una elevación de 887 NMP/100 ml, se considera a la especie *Escherichia coli*, como indicador de contaminación fecal por estar presente en aguas residuales, y en aguas que han sido expuestas a contaminación fecal (Fernández, 2017), en el punto 2 y 3 presenta valores de 106 y 7 NMP/100 ml, el cual se encuentra dentro de los límites permisibles para la preservación de la vida acuática.

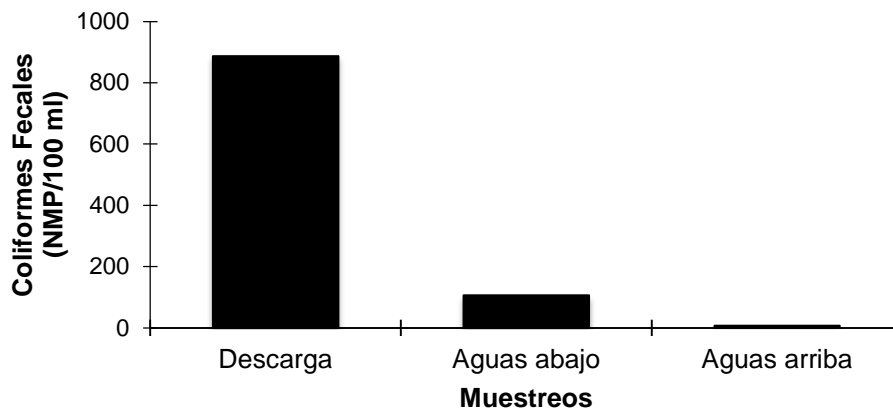


Figura 22. Variación de Coliformes Fecales en tres puntos del río Verde.

3.4 RESULTADOS DEL ÍNDICE

Los resultados de la calidad del agua del Índice de León (tabla 8) nos muestran una calidad de excesivamente contaminada (EC) en el punto 1, esto debido a que son aguas residuales de las viviendas que están cerca del río, además su concentración depende de las actividades que realicen, en el punto 2 la calidad es contaminada porque el río recibe las descargas de forma directa, debido al déficit del sistema de alcantarillado del lugar, lo cual resulta inaceptable para la actividad pesquera, y por último el punto 3 presenta una calidad de levemente contaminada, debido a desechos que son arrojados al río y la poca vegetación del lugar (Pérez, 2016).

Tabla 8. Valores de concentración de parámetros y resultados del ICA.

Parámetro	Resultado			Unidades	Q-valor			Valor W	Valor Corregido	ICA		
	Punto 1	Punto 2	Punto 3		Punto 1	Punto 2	Punto 3			Punto 1	Punto 2	Punto 3
pH	6,01	6,53	6,53	80	90	90	0,063	0,092	7,33	8,25	8,25
Sólidos Suspendidos	----	----	----	mg L ⁻¹	----	----	----	0,033	----	----	----	----
Alcalinidad	112,00	137,00	194,33	mg L ⁻¹	63	61	57	0,055	0,084	5,27	5,10	4,77
Dureza	605,73	90,67	70,13	mg L ⁻¹	18	74	82	0,058	0,087	1,56	6,41	7,11
Cloruros	84,40	20,71	17,02	mg L ⁻¹	51	60	68	0,068	0,097	4,93	5,80	6,57
Oxígeno Disuelto (OD)	1,83	5,13	6,11	mg L ⁻¹	0,0002	0,0005	0,0006	0,103	0,132	0,00003	0,00007	0,00008
DBO5	2,30	6,80	5,75	mg L ⁻¹	68	35	40	0,096	0,125	8,48	4,36	4,99
Amonios	----	----	----	mg L ⁻¹	----	----	----	0,043	----	----	----	----
Nitratos	----	----	----	mg L ⁻¹	----	----	----	0,053	----	----	----	----
Fosfatos	3,34	0,32	0,14	mg L ⁻¹	15	78	86	0,073	0,102	1,53	7,93	8,74
Fenoles	----	----	----	mg L ⁻¹	----	----	----	0,033	----	----	----	----
Diferencia de Temperatura	----	----	----	°C	----	----	----	0,043	----	----	----	----
DQO	246,30	74,94	32,10	mg L ⁻¹	----	----	----	0,053	0,082	----	----	----
Coliformes Totales	1967	303	22	NMP/100 ml	6	11	40	0,083	0,112	0,67	1,23	4,47
Coliformes Fecales	887	106	7	NMP/100 ml	8	15	32	0,143	0,172	1,37	2,58	5,49
Resultado ICA										30	44	51
Calidad										EC	C	LC

3.5 DIAGNÓSTICO

La falta de un sistema de alcantarillado en el cantón Santo Domingo es un problema que afecta a este afluente, en la actualidad la población que vive cerca del cauce, ha ocasionado el deterioro del mismo debido a que lo han convertido en un medio de desagüe, provocando graves inconvenientes de contaminación que afectan la flora y fauna autóctona del lugar (Franco, 2016).

De acuerdo a los resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para evaluar la calidad del agua del río Verde en comparación con la normativa ambiental ecuatoriana (TULSMA, 2015), nos indica que no cumplen los parámetros de oxígeno disuelto (OD) y demanda química de oxígeno (DQO), los cuales sobrepasan los límites máximos permisibles según la normativa, y mediante la aplicación del índice calidad se diagnostica que el río se encuentra contaminado.

3.6 PROPUESTA TECNOLÓGICA

Alternativas de fitorremediación para agua del río Verde, mediante la utilización de la Tatora (*Scirpus californicus tator*) y Caña Guadua (*Guadua angustifolia*).

3.6.1 TOTORA (*Scirpus Californicus Tator*)

Es una planta helófito, es decir, que se adapta a condiciones de saturación de humedad e inundación siempre que el agua no las cubra por completo (Figura 23). Pueden soportar una fuerte limitación en la disponibilidad de oxígeno en el suelo, esta comprende en dos partes una por debajo del nivel de agua y otra aérea (Espinoza, 2016).

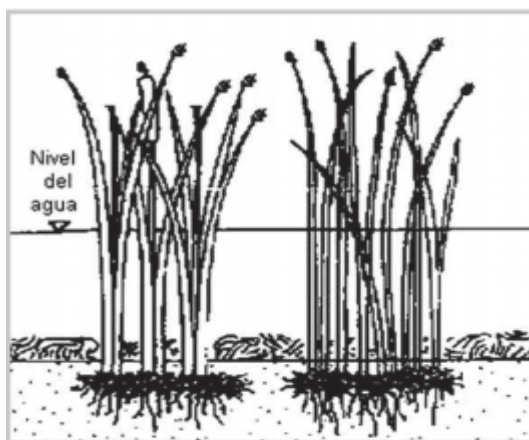


Figura 23. Plantas helófito en medio acuático.

Fuente: (Delgadillo, Camacho, & Pérez, 2010) Planta fitodepuradora.

3.6.1.1 Propiedad depuradora

Se reconoce que el potencial de depuración varía según las estaciones, en verano aumenta la actividad de la planta, tratando diversos factores como remoción de fósforo, fosfatos y nitrógeno. Según Fernández (2016), argumenta que existen mejores resultados en humedales plantados indicando que hay una mayor remoción de indicadores fecales y bacterias en verano que en invierno. Es necesario recalcar que los humedales tienen una alta eficiencia de remoción de DBO y DQO, como también en la fijación de metales pesados y coliformes fecales.

3.6.1.2 Usos

Según Delgadillo y Pérez (2010) la totora cumple varias funciones dentro del ecosistema entre ellas:

- Servir de filtro para mejorar los procesos físicos de separación de partículas.
- Asimilación de nutrientes (nitrógeno y fósforo) y retirar metales del medio en que se encuentren.
- Actuar como soporte para el desarrollo de biopelículas de microorganismos que actúan purificando el agua mediante procesos aerobios de degradación.
- Transportar grandes cantidades de oxígeno desde los tallos hasta sus raíces, donde es usado por los microorganismos

3.6.1.3 Hábitat

Las plantas helófitas tienen un gran rango de adaptación como son:

- Temperatura media óptima de 16 a 27 °C
- pH: tolera un alto rango que oscile entre 4 y 9.
- Prospera muy bien en medios acuáticos de profundidad somera

3.6.1.4 Diseño del humedal

En el punto 1 se propone el diseño de un humedal artificial (Figura 24) como solución a los problemas socio ambientales que ocasiona las descargas directas de aguas residuales domésticas a un cuerpo de agua dulce, mejorando los criterios de calidad de agua del Río Verde, con el fin de mitigar la contaminación presente en dicho afluente, gracias a la capacidad de depuración que tiene la totora, ayudando así a la sobrevivencia de la vida acuática y silvestre presente en el lugar.

Según Arias (2013) el sistema se caracteriza de la siguiente manera:

- Una membrana impermeable para evitar filtraciones en el suelo.
- Una cama ya sea de tierra o arena y grava, plantada con *Scirpus californicus tator*.
- Una entrada en la parte superior de un extremo donde ingresa el agua en forma permanente.
- El agua residual se trata a medida que fluye lateralmente a través de un medio poroso.
- Una salida que desemboca en el cuerpo de agua, asegurando la reducción de la contaminación.

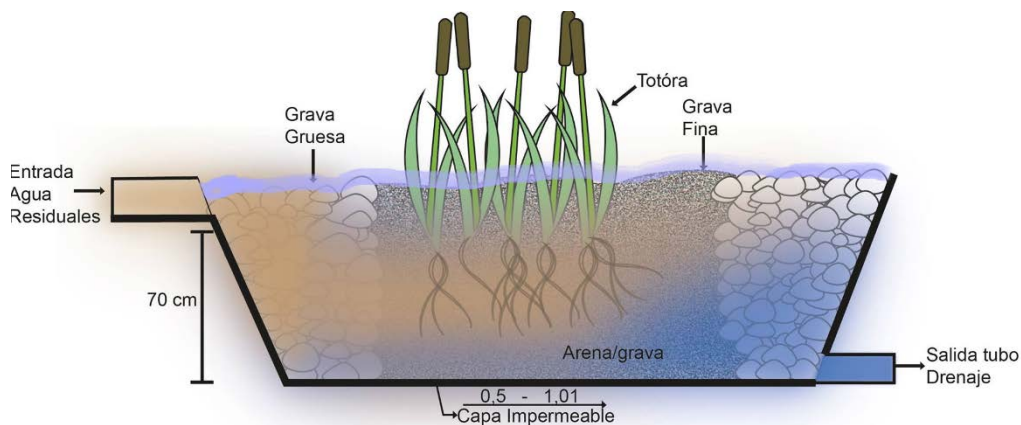


Figura 24. Perfil del humedal artificial subsuperficial utilizando *Scirpus californicus tator*

Fuente: (Arias, 2013), modificado por Montalvan, 2018

3.6.1.5 Dimensiones del humedal

El sistema contará con área de 140 m², contendrá una profundidad total de 0,7 m, con una pendiente de 0,5 % a 1 %. El sistema de recogida consiste en un tubo de drenaje cribado rodeado con grava, el diámetro de la grava tanto de ingreso como de salida oscila entre 50 mm a 100 mm. En la zona de plantación se colocara arena y grava fina entre 3 mm y 32 mm (Fernández J. , 2016).

3.6.2 CAÑA GUADUA (*Guadua Angustifolia*)

Se encuentra en estado natural en Colombia, Ecuador y Venezuela, en donde forma colonias dominantes conocidas como “guadales” se concentran principalmente en la región andina, entre los 0 y 2000 msnm; se los encuentra principalmente a la orilla de ríos y quebradas, en los bosques montanos medio y bajo y en los valles interandinos (Umaña, 2009).

3.6.2.1 Beneficios

- Ayuda en la conservación y recuperación del suelo gracias a su sistema radicular entretrejido y a la cantidad de rizomas que posee, evitando la erosión.
- Posee abundante follaje que actúa como un medio de protección para el suelo.
- Ayuda en la regulación de caudales debido a que absorben grandes volúmenes de agua en la época lluviosa y nuevamente la regresa al caudal del río durante épocas de sequía.
- Aportan sombra para evitar la pérdida de agua por evaporación.
- Contribuye a la conservación y mejoramiento en la calidad del aire.
- Los guaduales propician la existencia y sostenibilidad de flora y fauna.

3.6.2.2 Hábitat

- Es una planta que se desarrolla muy bien en climas cálidos y húmedos
- Altura de 900 – 1600 m.s.n.m.
- Temperatura de 20° C – 26°C
- Precipitación: 1.800 – 2.500 mm
- Humedad relativa: de 75%- 80%

En el punto 3 se propone la siembra de caña guadua debido a las diversas bondades que brindan este tipo de plántulas, una de ellas es la regulación del caudal ya que la guadua funciona como una bomba de almacenamiento de agua al mantener el caudal en época seca y lluviosa, además protege al suelo de las erosiones y a la vida acuática gracias a su sistemas radicular, la siembra se la realizara en ambos lados del afluente a 2 metros de distancia de la orilla, de tal forma que se vean menos densos, con el fin de que sus raíces protejan mejor el suelo.

Según Umaña (2009) hace referencia a la capacidad de la guadua para limpiar de manera provechosa la contaminación de aguas residuales, ya que tiene una afinidad natural para absorber nitrógeno, fósforo y metales pesados.

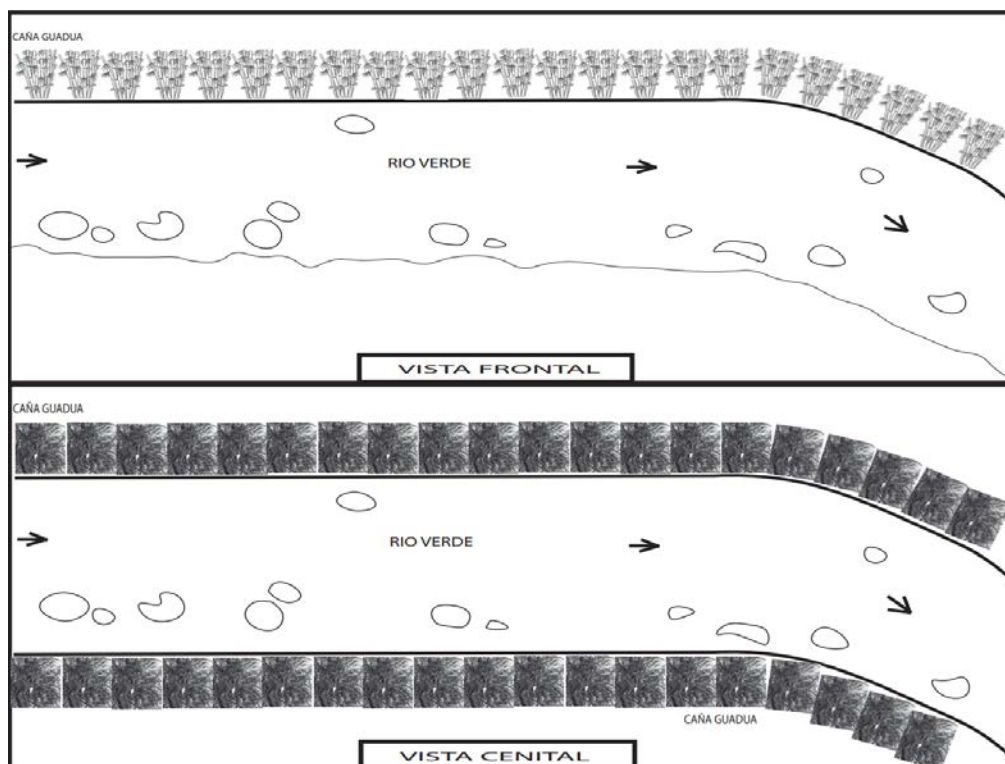


Figura 25. Sistema de depuración en el punto 3 del Río Verde.
Fuente: (Palma, 2017) modificado por Montalvan, 2018.

3.7 ANÁLISIS ECONÓMICO

Para mitigar la contaminación del Río Verde mediante la implementación de tecnologías, se tiene los siguientes valores los cuales tienden a variar. A continuación se presenta los costos proyectados y su inversión total (Tabla 9).

Tabla 9. Costos de aplicación de propuesta tecnológica

Detalle	Cantidad	Valor Unitario (\$)	Valor Total (\$)
Mano de obra	25	20,00	500,00
Retroexcavadora	1	500,00	500,00
Arena (Volqueta)	1	80,00	80,00
Grava (Volqueta)	1	100,00	100,00
Tubos pvc	12	3,00	36,00
Geomembrana (m ²)	140	6,00	840,00
Plántulas <i>Scirpus californicus tator</i>	150	0,35	52,50
Plántulas <i>Guadua angustifolia</i>	150	0,30	45,00
Otros Materiales	1	200,00	200,00
Imprevistos	1	500,00	500,00
Total			2853,50

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La identificación de las fuentes puntuales de contaminación en el Río Verde permitió obtener una representación clara de los tipos de contaminación que se encuentra en el cuerpo hídrico y las afectaciones hacia el entorno.

Con los resultados obtenidos de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del Río Verde comparado con la normativa ambiental ecuatoriana TULSMA se puede concluir que el agua no cumple con los límites máximos permisibles en los parámetros de DQO y OD.

El comportamiento temporal de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del Río Verde, es heterogénea debido a la variación de las precipitaciones que se presentaron en los tres meses de muestreo.

Se planteó alternativas de fitorremediación para mitigar la contaminación del río, mejorando la calidad del cuerpo de agua. En el punto 1 la utilización del *Scirpus californicus tator* ya que posee una alta eficiencia de remoción de DBO y DQO, así como también en la fijación de metales pesados y coliformes fecales, además de la eliminación de otros contaminantes que perturban la concentración de OD el cual es de vital importancia para la vida acuática. En el punto 3 la reforestación con la *Guadua angustifolia*, para mantener el caudal del agua y proteger los suelos. Cabe mencionar que la aplicación de estas tecnologías es de bajo costo a comparación de otras tecnologías que resultan ser más costosas, además su operación y mantenimiento son fáciles de llevar a cabo.

Se recomienda socializar los resultados obtenidos a las autoridades competentes para que se ponga en práctica mejorar las aguas residuales para ser descargadas a un cuerpo receptor.

Realizar análisis fisicoquímicos y microbiológicos en época seca donde el caudal del río disminuye es una opción para constatar si los contaminantes varían o se mantienen.

REFERENCIAS

- Arias, C. (2013). *Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales* (Vol. 013). Colombia. Obtenido de file:///C:/Users/User/Downloads/Humedales_artificiales_para_el_tratamiento_de_agua.pdf
- Batista, Y. (2013). *Banco Mundial*. Obtenido de Las aguas residuales de Latinoamérica vuelven a los ríos sin ser tratadas: <http://www.bancomundial.org/es/news/feature/2014/01/02/rios-de-latinoamerica-contaminados>
- Canelos, H. (04 de noviembre de 2015). La Hora. *El clima de Santo Domingo*. Obtenido de <https://lahora.com.ec/noticia/1101881416/el-clima-de-santo-domingo>
- Carrión. (2011). *Defensoria del pueblo del Ecuador*. Obtenido de El agua como un derecho humano y como un derecho de la naturaleza: <http://repositorio.dpe.gob.ec/bitstream/39000/119/1/IT-005-EL%AGUA%20COMO%20UNDERECHO%20HUMANO.pdf>
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. (2005). *Silvicultura y manejo sostenible de la guadua*. Obtenido de <http://www.bosquesflegt.gov.co/sites/default/files/publicaciones/silvicultura%20y%20manejo%20sostenible%20de%20guadales.pdf>
- Delgadillo, O., Camacho, A., & Pérez, L. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Bolivia. Obtenido de file:///C:/Users/Downloads/depuracion_de_aguas_residuales_por_medio_de_humedales_artificiales.pdf
- Díaz, D. (2017). Aumenta contaminación del agua en América Latina. *Teorema Ambiental*. Obtenido de <http://www.teorema.com.mx/agua/aumenta-contaminación-del-agua-america-latina/>
- Espinoza, A. (2016). *Escenarios Ambientales* (Vol. 01). Bolivia. Obtenido de file:///C:/User/Downloads/usos%20de%20la%20Titora.pdf
- FAO. (1997). *Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos*. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/W2598s00.htm>

- Fernández. (2017). Determinación de coliformes totales y fecales en aguas de uso tecnológico para las centrifugas. *Redalyc*, 51(2). Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/2231/223154251011.pdf>
- Fernández y Mortier. (2010). *Evaluación del consumo de agua en Latinoamérica*. Buenos Aires. Obtenido de https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/31367666/01_Capitulo_01.pdf
- Fernández, J. (2016). *Humedales artificiales para depuración (Capítulo 6)*. Madrid. Obtenido de <https://www.fundacionglobalnature.org/macrophytes/documentacion/Cap%EDtulos%20Manual/Cap%EDtulos%206.pdf>
- Franco, A. (2016). *Programa de derecho y miembro GAPI*. Obtenido de El problema de los vertidos: <http://www.icesi.edu.co/el-problema-de-los-vertidos-con-el-agua-sucia-hasta-el-cuello/>
- Frers, C. (2017). *Waste*. Obtenido de Humedales Artificiales: <http://waste.ideal.es/humedalesartificiales.htm>
- GAD Provincial Santo Domingo de los Tsáchilas. (2018). Obtenido de <http://www.gptsachila.gob.ec/index.php/la-provincia/datos-generales>
- Giraldo, G. (1995). *Manual de análisis de aguas*. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/50540/1/manualdeanalisideaguas.pdf>
- Google Earth. (2018).
- Hidalgo, J. y. (2005). Reientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas. *Redalyc*. Obtenido de <http://www.redalyc.org/html/299/29900103/>
- Humberto, M. (1983). *Estudio de algunos parametros fisicoquímicos y biológicos en el río medellin y sus principales afluentes*. Obtenido de http://www.ephemeroptera-galactica.com/pubs/pub_m/pubmatthiasu1983p106.pdf
- INEC. (2016). *Estadísticas de información ambiental económica en Gobiernos Descentralizados Municipales*. Obtenido de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2015/Documento_Tecnico-Gestion_de_Agua_y_Alcantarillado_2015.pdf

- INEN 2169. (2013). *Norma Técnica Ecuatoriana*. Obtenido de Manejo y Conservación de Muestras: <http://sut.trabajo.gob.ec/publico/Normativa%20T%C3%A9cnica%20INEN/NTE%20INEN%202169%20-%20AGUA.%20%20CALIDAD%20DEL%20AGUA.%20%20MUESTREO.%20%20MANEJO%20Y%20CONSERVACI%C3%93N%20DE%20MUESTRAS.pdf>
- León. (1998). *Índices de Calidad del Agua*. Obtenido de [file:///C:/Users/User/Downloads/Indices%20de%20calidad%20del%20agua%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/Indices%20de%20calidad%20del%20agua%20(1).pdf)
- Mojarro, D. (2016). *Tips para la toma de muestras*. Obtenido de <http://www.microlab industrial.com/blog/tips-para-la-toma-de-muestras-de-agua-potable>
- OMS. (2016). *Organización mundial de la salud*. Obtenido de *Uso de aguas residuales*: http://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/es/
- Palma, A. (2017). *Evaluación de la calidad del agua del Río El Camal del Cantón la Concordia y propuesta de mitigación*. *Universidad Tecnológica Equinoccial (Tesis de pregrado)*. Ecuador.
- Pérez, P. (2016). *Análisis de la calidad de agua de los ríos, Nagsiche y Pugmacunchi, pertenecientes a la subcuenca del río Patate, de la provincia de Cotopaxi*. (Tesis de pregrado). *Universidad Nacional del Chimborazo*. Ecuador. Obtenido de <file:///C:/Users/User/Downloads/UNACH-ING-AMB-2016-0008.pdf>
- Santiago, L., Izquierdo, E., & Menéndez, C. (2017). *Aplicación del índice de calidad del agua en el río Portoviejo, Ecuador*. *SCIELO*.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2013 - 2017). *Agenda Zonal zona 4 - Pacífico*. Obtenido de <http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/11/Agenda-zona-4.pdf>
- TULSMA. (2015). *Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente*. Obtenido de <file:///C:/Users/User/Documents/ecu155128.pdf>
- Ubica Ecuador. (2018). Obtenido de <https://www.ubica.ec//explore/osm/santo domingo/1109022828/#!/?reflat=-0.26491&reflng=-79.15178&ref=UPC%20Los%20Unificados>

Umaña, C. (2009). *Bambu Guadua: un recurso ecológico* (Vol. 22). Colombia. Obtenido de file://C:/Users/User/Downloads/Dialnet-BambuGuadua-4835838.pdf

Utreras, A. (2016). Informe jurídico sobre las infracciones, sanciones y responsabilidades de la contaminación del agua en la ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento de agua, frente a los objetivos del buen vivir (tesis de pregrado). *Universidad Regional Autónoma de los Andes*. Ecuador. Obtenido de Universidad Autónoma Regional de los Andes.

Velasco. (2016). 30 ríos de Santo Domingo tienen un alto nivel de contaminación. *El Comercio*. Obtenido de <http://www.elcomercio.com/actualidad/rios-santodomingotsachilas-contaminacion-denuncia-ministeriodelambiente.html>