



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

**Sede Santo Domingo**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS  
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS  
NATURALES**

Informe de propuesta tecnológica para obtener el título de:  
**INGENIERO AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES**

**DISEÑO DE UN SISTEMA ALTERNATIVO DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS SERVIDAS EN LA COMUNA SAN GABRIEL DEL BABA**

**Autor**

**BRAYAN OMAR TAMAYO BOSQUEZ**

**Directora**

Ing. MARÍA LORENA CADME ARÉVALO, *Ms.C.*

Santo Domingo de los Tsáchilas – Ecuador

Diciembre – 2017

**DISEÑO DE UN SISTEMA ALTERNATIVO DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS SERVIDAS EN LA COMUNA SAN GABRIEL DEL BABA**

Ing. María Lorena Cadme, *Ms.C*

**DIRECTORA**

---

**APROBADO**

Ing. Marco Antonio Jácome Rivera, *Ms.C*

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

---

Ing. Judith García G, *Ms.C*

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

Dr. Mario Fernández M, *Ms.C*

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

Santo Domingo,.....de..... de 2018

Autor: **BRAYAN OMAR TAMAYO BOSQUEZ**

Institución: **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

Título: **DISEÑO DE UN SISTEMA ALTERNATIVO DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS EN LA  
COMUNA SAN GABRIEL DEL BABA**

Fecha: **DICIEMBRE, 2017**

El contenido del presente trabajo está bajo la responsabilidad del autor y no ha sido plagiado.



Brayan Omar Tamayo Bosquez  
C.I. 1719276907

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**  
**Sede Santo Domingo**

**INFORME DEL DIRECTOR**

Santo Domingo, 11 de diciembre del 2017

Señor Licenciado:

Marco Jácome, MsC.

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

Presente.

De mis consideraciones.-

Mediante la presente tengo a bien informar que el trabajo escrito de titulación realizado por el señor: *BRAYAN OMAR TAMAYO BOSQUEZ*, cuyo título es *DISEÑO DE UN SISTEMA ALTERNATIVO DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS EN LA COMUNA SAN GABRIEL DEL BABA*; ha sido elaborado bajo mi supervisión y revisado en todas sus partes, *el mismo que no ha sido plagiado*, por lo cual autorizo su respectiva presentación.

Particular que informo para fines pertinentes.

Atentamente,



Ing. María Lorena Cadme, Ms.C.

**DIRECTOR**

# *Dedicatoria*

A mi madre Miriam Yolanda Bosques Roca y mi padre Ernesto Víctor Hugo Tamayo, quienes con gran esfuerzo me han apoyado en todas las etapas y proyectos de mi vida he inculcaron en mí, sentimientos de valor, nobleza y deseos de lucha constante por alcanzar mis sueños. A ellos, mil gracias por siempre.

A mi hermano Alexis Tamayo, a quien amo y respeto. A mi hijo Mathias Tamayo que con sus inquietudes me han recordado mi infancia y me han enseñado a valorar la familia.

A mis abuelos: Jacinto Bosques, Maruja Roca, Flor María Villafuerte y Ernesto Tamayo (+), seres de gran importancia en mi formación como ser humano.

*Brayan*

# *Agradecimiento*

A la Universidad Tecnológica Equinoccial por abrir sus puerta y permitir que su personal docente imparta conocimientos en beneficio de la población y el desarrollo de e Santo Domingo de Los Tsáchilas.

A mis maestros, quienes día a día sembraron en mí, la semilla de la curiosidad y los deseos de continuar adelante hacia mi meta profesional.

A las Ings. Miriam Recalde, Ms.C. y Karina Robles, Ms.C., por todo el apoyo brindado durante mis estudios universitarios y el proceso de ejecución de mi trabajo investigativo.

A la Ing. María Lorena Cadme, Ms.C. por su compromiso con cada uno de nosotros que compartimos la jornada académica, especialmente, por todo el cariño prodigado a mi persona, por sus consejos académicos y personales, por el apoyo incondicional en la realización de este trabajo investigativo y la realización de proyectos personales.

A mis compañeros, con quienes día a día compartimos la dura jornada académica y entre risas aprendimos a valorar el conocimiento y la fortaleza de seguir adelante hacia nuestros sueños.

*Brayan*

## FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

### PROYECTO DE TITULACIÓN

| DATOS DE CONTACTO    |                                  |
|----------------------|----------------------------------|
| CÉDULA DE IDENTIDAD: | 1719276907                       |
| APELLIDO Y NOMBRES:  | Brayan Omar Tamayo Bosquez       |
| DIRECCIÓN:           | Ejército Ecuatoriano y Sarahurco |
| EMAIL:               | brayan_tama2992@hotmail.com      |
| TELÉFONO FIJO:       | (02) 2759975                     |
| TELÉFONO MÓVIL:      | 0994532904                       |

| DATOS DE LA OBRA                             |  |
|--|--|
| TÍTULO:                                      | Diseño de un sistema alternativo de tratamiento de aguas servidas en la comuna San Gabriel del Baba  |
| AUTOR O AUTORES:                             | Brayan Omar Tamayo Bosquez   |
| FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN: | Diciembre 2017   |
| DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:         | María Lorena Cadme Arévalo, <i>Ing. Msc</i>  |
| PROGRAMA                                     | <b>PREGRADO</b> ● <b>POSGRADO</b>  |
| TÍTULO POR EL QUE OPTA:                      | Ingeniero Ambiental y Manejo de Riesgos Naturales  |
| RESUMEN: Mínimo 180 y máximo 250 palabras    | El trabajo investigativo se realizó en la comunidad San Gabriel del Río Baba, perteneciente a la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas. Se planteó como objetivo: diseñar un sistema alternativo de tratamiento de aguas servidas. Se determinó el caudal del río y la identificación de impactos ambientales en el área de estudio, se realizó un estudio de análisis físico, químico y microbiológico del agua del río Sin Nombre, se comparó los resultados con los límites máximos permisibles en el TULAS. Se determinó que oxígeno disuelto, coliformes fecales y totales no cumplen con la normativa ecuatoriana. La valoración del impacto reporto afectación a la calidad del agua superficial, al suelo (desechos sólidos y erosión) y la consecuente afectación a las condiciones de vida (salud y empleo). Se propone un sistema alternativa de tratamiento de |

|                         |  |
|-------------------------|--|
|                         | aguas servidas en la comuna San Gabriel del Baba en el que se incluye la utilización de Jacinto de agua ( <i>Eichhora crassipes</i> ) en un humedal superficial y aprovechamiento de residuos vegetales en la fabricación de vermicompost.   |
| <b>PALABRAS CLAVES:</b> | Aguas residuales, impacto ambiental, TULAS, humedal superficial, Jacinto de agua   |
| <b>ABSTRACT:</b>        | The research work was carried out in the San Gabriel del Río Baba community, which belongs to the province of Santo Domingo de los Tsáchilas. The objective was to design an alternative wastewater treatment system. The flow of the river and the identification of environmental impacts in the study area were determined, a physical, chemical and microbiological analysis study of the water of the Sin Nombre (no name) river was carried out, and the results were compared with the maximum permissible limits in the TULAS. It was determined that dissolved oxygen, fecal and total coliforms do not comply with Ecuadorian regulations. The assessment of the impact reported affectation in the quality of surface water, soil (solid waste and erosion) and the consequent impact on living conditions (health and employment). An alternative wastewater treatment system is proposed in the San Gabriel del Baba district, which includes the use of water hyacinth ( <i>Eichhora crassipes</i> ) in a superficial wetland and the use of vegetable waste in the manufacture of vermicompost. |
| <b>KEYWORDS</b>         | Wastewater, environmental impact, TULAS, surface wetland, water hyacinth   |

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



BRAYAN OMAR TAMAYO BOSQUEZ  
C.I. 1719276907



## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **BRAYAN OMAR TAMAYO BOSQUEZ**, CI. No. 1719276907 .autor/a del proyecto titulado: **Diseño de un sistema alternativo de tratamiento de aguas servidas en la comuna San Gabriel del Baba**, previo a la obtención del título de **INGENIERO 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, 18 de diciembre de 2017



BRAYAN OMAR TAMAYO BOSQUEZ

C.I. 1719276907

## ÍNDICE DE CONTENIDO

| <b>Contenido</b>   | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| Portada.....   | I           |
| Sustentación y aprobación de los integrantes del tribunal..... | II          |
| Responsabilidad del autor.....                                 | III         |
| Aprobación del director.....                                   | IV          |
| Dedicatoria.....   | V           |
| Agradecimiento.....  | VI          |
| Formulario de biblioteca.....                                  | VII         |
| Declaración y Autorización.....                                | IX          |
| Índice de contenido.....                                       | X           |
| Índice de tablas.....  | XI          |
| Índice de figuras.....   | XII         |
| Índice de anexos.....  | XIV         |
| I. INTRODUCCIÓN.....   | 1           |
| II. CONTENIDO TÉCNICO.....                                     | 4           |
| 2.1. Localización.....   | 5           |
| 2.2. Metodología.....  | 6           |
| 2.3. Parámetros de evaluación.....                             | 6           |
| III. RESULTADOS.....   | 11          |
| Diagnóstico.....   | 24          |
| Propuesta Tecnológica.....                                     | 30          |
| Análisis económico.....  | 45          |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....                            | 48          |
| REFERENCIAS.....   | 50          |

## ÍNDICE DE TABLAS

|    |   |    |
|----|---|----|
| 1  | Ubicación de los puntos de muestreo.....  | 6  |
| 2  | Criterios de valoración de impactos ambientales.....  | 10 |
| 3  | Escala de valoración de la severidad del impacto.....   | 10 |
| 4  | Comparación entre límites máximos permisibles del TULAS para<br>descarga en cuerpos de agua dulce.....                          | 25 |
| 5  | Parámetros de medición del caudal del río Sin Nombre.....   | 26 |
| 6  | Matriz de impacto ambiental de la zona objeto de estudio mediante la<br>aplicación de la matriz de Leopold.....                 | 28 |
| 7  | Criterios de diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales<br>domésticas con Jacinto de agua .....                      | 35 |
| 8  | Eficiencias de remoción de las especies de macrófitas de mayor uso en<br>la biorremediación de aguas residuales .....           | 38 |
| 9  | Eficiencias de remoción de las especies de macrófitas de mayor uso en<br>la biorremediación de aguas domésticas .....           | 39 |
| 10 | Eficiencia de macrófitas de mayor uso en la biorremediación de aguas<br>domésticas para uso en la digestibilidad de cerdos..... | 41 |
| 11 | Concentración de macro y micronutrientes en mg/l presentes en<br>muestras de Jacinto de agua.....                               | 42 |
| 12 | Porcentaje de rendimiento de remoción de contaminantes en la fosa<br>séptica por parámetros de interés.....                     | 44 |
| 13 | Análisis económico para la implementación de la propuesta tecnológica.  | 47 |
| 14 | Análisis económico para la ejecución del plan de manejo del humedal y<br>limpieza de la fosa séptica.....                       | 48 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|    |   |    |
|----|---|----|
| 1  | Localización geográfica de la comuna San Gabriel del Baba.....  | 6  |
| 2  | Variación (espacio temporal) del pH presentes en el río Sin Nombre localizado en la comuna San Gabriel del Baba en relación a la normativa ecuatoriana.....   | 12 |
| 3  | Variación (espacio temporal) de la temperatura presentes en el río Sin Nombre localizado en la comuna San Gabriel del Baba en relación a la normativa ecuatoriana. ....   | 13 |
| 4  | Variación (espacio temporal) de la turbidez presentes en el río Sin Nombre localizado en la comuna San Gabriel del Baba en relación a la normativa ecuatoriana.....   | 14 |
| 5  | Variación (espacio temporal) del DBO <sub>5</sub> presentes en el río Sin Nombre localizado en la comuna San Gabriel del Baba en relación a la normativa ecuatoriana .....  | 15 |
| 6  | Variación (espacio temporal) de Sólidos Suspendidos presentes en el río Sin Nombre localizado en la comuna San Gabriel del Baba en relación a la normativa ecuatoriana .....                                      | 16 |
| 7  | Variación (espacio temporal) de nitratos presentes en el río Sin Nombre localizado en la comuna San Gabriel del Baba en relación a la normativa ecuatoriana.....  | 17 |
| 8  | Análisis comparativo entre el Límite Máximo Permisible de la normativa ecuatoriana y la variación de nitratos respecto al tiempo presentes en el río Sin Nombre localizado en la comuna San Gabriel del Baba..... | 17 |
| 9  | Variación (espacio temporal) de fosfatos presentes en el río Sin Nombre localizado en la comuna San Gabriel del Baba en relación a la normativa ecuatoriana .....   | 18 |
| 10 | Variación (espacio temporal) del DBO <sub>5</sub> presentes en el río Sin Nombre localizado en la comuna San Gabriel del Baba en relación a la normativa ecuatoriana .....  | 19 |
| 11 | Análisis comparativo entre el Límite Máximo Permisible de la normativa ecuatoriana y la variación de DBO <sub>5</sub> respecto al tiempo del estero sin Nombre localizado en la comuna San Gabriel del Baba.....  | 20 |

|    |  |    |
|----|--|----|
| 12 | Variación (espacio temporal) del DQO presentes en el río Sin Nombre localizado en la comuna San Gabriel del Baba en relación a la normativa ecuatoriana. ....                  | 21 |
| 13 | Variación (espacio temporal) del OD presentes en el río Sin Nombre localizado en la comuna San Gabriel del Baba en relación a la normativa ecuatoriana. ....                   | 22 |
| 14 | Variación (espacio temporal) de coliformes totales presentes en el río Sin Nombre localizado en la comuna San Gabriel del Baba en relación a la normativa ecuatoriana. ....    | 23 |
| 15 | Variación (espacio temporal) de coliformes suspendidos presentes en el río Sin Nombre localizado en la comuna San Gabriel del Baba en relación a la normativa ecuatoriana .... | 24 |
| 16 | Variación (espacio temporal) del caudal del río Sin Nombre localizado en la comuna San Gabriel del Baba. ....  | 26 |
| 17 | Actividades de mayor impacto ambiental hacia el río Sin Nombre localizado en la comuna San Gabriel del Baba .....  | 29 |
| 18 | Impacto ambiental al Rio Sin Nombre. Comuna San Gabriel del Baba..   | 30 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|   |   |    |
|---|---|----|
| 1 | Sistema alternativo de tratamiento de aguas residuales. Comuna San Gabriel Del Baba.....  | 57 |
| 2 | Sistema alternativo de tratamiento de aguas residuales. Comuna San Gabriel Del Baba.....  | 58 |
| 3 | Humedal de Flujo Libre o Superficial (HFL). Sistema alternativo de tratamiento de aguas residuales de la Comuna San Gabriel del Baba...                                 | 59 |
| 4 | Área de Lombricultura. Sistema alternativo de tratamiento de aguas residuales de la Comuna San Gabriel del Baba.....  | 60 |
| 5 | Resumen de criterios de calidad admisibles para descarga a un cuerpo de agua dulce, consumo humano, preservación de la flora y fauna en aguas dulce y uso agrícola..... | 61 |
| 6 | Resultados de los análisis de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos.....   | 63 |

## I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, el aumento de la población y las actividades del hombre influyen de forma directa en la calidad y cantidad del agua. En muchos países la basura que producen vierte al agua sin ningún tipo de tratamiento afectando los ríos, mares y quebradas (Rosales, 2000). El Ecuador, es un país con suficiente agua a nivel nacional sin embargo el agua es mal distribuida y por ende los recursos se agotan (EMAPS, 2014). Además, el crecimiento poblacional y los cambios climáticos aceleran el crecimiento de aguas (García, 2016) y liberación de aguas negras (Da Ros, 1995).

Se denominan aguas servidas a aquéllas que resultan del uso doméstico o industrial, otras denominaciones son: aguas residuales, aguas negras o aguas cloacales, en general por haber sido utilizadas en procesos de transformación y/o limpieza, estas aguas constituyen un residuo, algo que no sirve para el usuario directo, en muchas ocasiones están formadas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado e incluyen, a veces las aguas de lluvia y las infiltraciones del terreno, estas aguas residuales presentan composiciones muy variadas y son generadas principalmente por las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general, de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas (Kadlec & Knight, 1996).

Actualmente, la importancia de la calidad del agua ha tenido un lento desarrollo (Oswald, 2011). En el Ecuador, a partir del 2001 se reconoce al agua como origen de enfermedades infecciosas y se da énfasis al saneamiento y con ello al tratamiento de las aguas residuales en pequeñas y medianas comunidades, para tratar de disminuir la contaminación de los cauces naturales y se promueven sistemas convencionales de tratamiento, los cuales son desechados por sus elevados costes de construcción y complejo mantenimiento (SENACYT & UTPL, 2010).

El cantón Santo Domingo mantiene una población de 368.013 habitantes (INEC, 2010) con un consumo total de unos dos mil litros por segundo de agua, de los cuales solo se da tratamiento a un 40 % (EPMAPA, 2014), una amplia red de drenaje (ríos,

esteros) y resultados de investigaciones han evidenciado un alto grado de contaminación (Diario La Hora, 2013). Actualmente, mantiene una población rural de 97.138 habitantes (INEC, 2010), de los cuales, 2020 personas habitan la comuna San Gabriel del Baba, sin acceso a los servicios de primera necesidad y plantas de tratamiento de agua potable por lo que se ven obligados a utilizar fosas sépticas y liberar las aguas servidas sin tratamiento previo a los afluentes que provocan enfermedades a las comunidades asentadas aguas abajo que se abastecen de este recurso, ya que reciben la descarga directa de las aguas residuales producidas por los moradores.

A la presente fecha se ha informado que el estero Sin Nombre, el cual desemboca en el río Baba, durante su recorrido por una propiedad localizada en el recinto San Gabriel del Baba, es alimentado por una fosa séptica y un sistema de alcantarillado, lo que ha generado la preocupación de sus moradores, quienes consideran que el agua ha sido contaminada y puede generar graves afecciones a sus habitantes. Esta situación ha motivado la respectiva denuncia ante el Ministerio del Ambiente, institución que ha realizado la inspección al predio y ha confirmado la veracidad de la denuncia, por lo que es necesario realizar un estudio que determine las características físicas químicas de este afluente.

Por tanto, es prioritario generar proyectos para atenuar esta problemática, garantizando la descontaminación ambiental y la salud pública (Bermeo & Santín, 2010). En este sentido, la presente investigación aporta de alguna manera a reducir la contaminación del río Sin Nombre por aguas servidas con inadecuado manejo y tratamiento de la comuna San Gabriel del Baba.

Se realizó recopilación bibliográfica que conllevó al análisis, selección y diseño de dos sistemas alternativo de tratamientos naturales, eficientes, fácil acceso y aplicables en poblaciones rurales con menos de 5000 habitantes. En este estudio se identifica la problemática ambiental existente y la selección de la tecnología aplicable en sistemas de tratamiento natural para aguas servidas y se analizaron las siguientes variables: características físicas, químicas, biológicas y microbiológicas del agua de la zona objeto de estudio y análisis comparativo con la normativa



ecuatoriana para descarga en cuerpos de agua dulce, para lo cual se obtuvo información de fuentes primarias (trabajo de campo y laboratorio) y secundarias (recopilación bibliográfica y resultados de investigaciones publicados por diversos autores en archivos electrónicos y material impreso), que permitieron realizar el análisis, discusión de resultados, conclusiones, recomendaciones y diseño de la propuesta.

Se ha planteado como objetivo general “Proponer un sistema alternativo de tratamiento de aguas servidas en la comuna San Gabriel del Baba” y como objetivos específicos: a) Determinar la calidad del agua del río sin nombre mediante análisis físicos, químicos, biológicos y microbiológicos, b) Seleccionar sistemas alternativos de tratamiento de agua servida y, c) Diseñar una propuesta de sistemas alternativos de tratamiento de aguas servidas.

## II. CONTENIDO TÉCNICO

El recurso hídrico es un elemento primordial para la vida y el desarrollo socioeconómico (Medina, 2002). “Los ríos, riachuelos, arroyos y quebradas son ecosistemas acuáticos de aguas corrientes o lóaticas, asociados comúnmente a lugares de erosión, transporte y sedimentación de materiales” (Roldán y Ramírez, (2008), razón por lo cual la mayor parte de este, se encuentra con algún grado de contaminación (Medina, 2002). La contaminación de estos sistemas se da principalmente por las descargas industriales, municipales y agrícolas, las mismas que son vertidos directamente hacia los sistemas hídricos sin ningún tipo de tratamiento o con un tratamiento deficiente (PNUMA, 2001).

Actualmente, el 20% de los municipios del Ecuador aun realizan un mal manejo de sus desechos con insuficientes criterios técnicos (MAE, 2010) y un gran porcentaje de comunidades urbanas y rurales con poblaciones el menores a 5000 habitantes descargan las aguas servidas directamente a los cauces naturales, contaminando este recurso, el mismo que aguas abajo, es utilizado como fuente de abastecimiento y sustento alimenticio de las poblaciones colindantes, por lo que el porcentaje de enfermedades de origen hídrico es cada vez mayor poniendo en riesgo la salud de sus habitantes (SENACYT & UTPL, 2010).

Layana (2013), indica que para determinar si un cuerpo de agua está experimentando problemas de contaminación es imprescindible realizar los pertinentes estudios de calidad del agua, que por lo general emplean análisis fisicoquímicos. Además según Garbagnati et al (2005), es importante realizar un monitoreo constante de los niveles de contaminación, estableciendo un punto estratégico de muestreo para la determinación de las concentraciones de los contaminantes presentes que pudieren afectar de manera directa la calidad de agua de los recursos hídricos y, según Gutiérrez (2010), es relevante realizar estudios que permitan la evaluación y el análisis hidrológico de las variables ambientales en el tiempo, para establecer la dinámica de los ambientes acuáticos, hacer su caracterización y administrarlos en forma sustentable.

Es necesario entonces, realizar un estudio de los indicadores físicos y químicos del estero Sin Nombre para determinar la calidad del agua, ya que al momento no existen estudios técnicos relevantes que indiquen el grado de contaminación y los tipos de contaminantes que son emitidos directamente hacia este cuerpo de agua, siendo esto una limitante para la implementación de estrategias eficientes que permitan mejorar la calidad del agua del estero Sin Nombre.

### **2.1. Localización**

Esta investigación se realizó en el recinto San Gabriel del Baba, ubicado al margen derecho de la vía "Aventura", es decir, a 11 km del centro de la ciudad de Santo Domingo". Es una zona dedicada a la actividad agrícola y ganadera, con presencia de paisajes y balnearios que están siendo promovidos con fines turísticos para promover su desarrollo socioeconómico. No mantiene un sistema de alcantarillado, las aguas servidas son dirigidas a un reservorio con inadecuado manejo, carece de una planta de tratamiento de aguas residuales y existe un informe preliminar de personal del Ministerio del Ambiente que reporta la contaminación por aguas servidas del estero Sin Nombre.

Se encuentra a 458 metros de altura, en las coordenadas: 0°18'18.20" de latitud y 79°09'15.04" de longitud. Corresponde a la zona climática lluviosa subtropical rodeada de un bosque tropical, a una altura promedio de 600 msnm y una temperatura media de 23 °C. La precipitación promedio anual oscila entre los 500 a 5.000 mm/año y la humedad media mensual alcanza el 90.9% (Antequera Baiget, 2012). En su territorio se encuentra el estero Sin Nombre que desemboca en el río Baba, el cual es considerado como un recurso hídrico de singular importancia para la provincia ya que alimenta varios ríos de los diferentes sectores: el Esfuerzo, Luz de América y Patria Pilar hasta unirse con el río Quevedo y río Toachi grande en la provincia de Los Ríos, lo que lo convierte en una fuente de uso y consumo para las comunidades.



Figura 1. Localización geográfica de la comuna San Gabriel del Baba

Fuente: Google Earth. Localizado en: <https://www.freemaptools.com/area-calculator.htm> y Mapa del GAD Municipal de Santo Domingo de los Tsáchilas

## 2.2. Metodología

**2.2.1. Análisis físico, químico, biológico y microbiológico del agua del estero Sin Nombre.** Se identificó los puntos de muestreo, frecuencia de toma de muestras y las condiciones de muestreo fundamentado en criterios técnicos, tales como: facilidad de acceso (antes y después de los puntos de descarga al río) para la toma de muestras y su traslado hacia las instalaciones del laboratorio para realizar los análisis de las muestras tomadas.

Tabla 1. Ubicación de los puntos de muestreo

| Puntos | Ubicación                        | Coordenadas |             |              |
|--------|----------------------------------|-------------|-------------|--------------|
|        |                                  | Altura (m)  | Latitud     | Longitud     |
| 1      | Tubería de desfogue al estero SN | 457         | 0°18'18.15" | 79°09'22.39" |
| 2      | Unión de dos esteros             | 452         | 0°18'25.65" | 79°09'25.00" |
| 3      | Desembocadura al río Baba        | 450         | 0°18'29.75" | 79°09'47.02" |

Se determinó la variación espacio temporal en época seca (junio a agosto del 2017) de la composición del agua, para lo cual, se realizó la toma de muestras en los tres puntos de muestreo, cada 15 días durante 3 meses, con un total de 18 muestras.

La selección de los materiales destinados para la toma de muestras de agua fueron seleccionados de acuerdo a las especificaciones de (INTA, 2011): material inerte a

la solución a recolectar y envases limpios con tapa hermética, compatible con el parámetro a realizar y con su respectiva identificación. Las muestras fueron preservadas en un equipo de refrigeración a una temperatura promedio de 4°C, evitando de esta manera, que las muestras deterioren su composición física, química y microbiológica durante su traslado hasta el laboratorio de la Universidad Tecnológica Equinoccial sede en Santo Domingo de Los Tsáchilas donde se realizaron los respectivos análisis.

La selección de los parámetros de análisis se fundamentó en las principales características de las aguas servidas señaladas por (Bermeo & Santín, 2010) y los Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, & WEF, 2005) y se determinó los parámetros físicos, químicos y biológicos: pH, temperatura, Turbidez, sólidos totales, sólidos suspendidos, Demanda Química de Oxígeno (DQO<sub>5</sub>), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), Oxígeno disuelto, nitratos, fosfatos, coliformes totales y coliformes fecales.

El análisis de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos se realizó de acuerdo al procedimiento metodológico aplicado en el Laboratorio de Química de la Universidad Tecnológica Equinoccial, sede en Santo domingo de Los Tsáchilas.

Se realizó una comparación de los resultados de los parámetros analizados en este trabajo investigativo con las normativa ecuatoriana, estipulada en el Texto Unificado de Legislación Secundaria para el Medio Ambiente (TULSMA), Libro VI, Anexo I, Tabla 12: 100, que consta en el Registro Oficial (Edición Especial No. 270) del 13 de febrero del 2015, el Registro Oficial 387, Edición Especial No. 097-A, expedido el 4 de noviembre del 2015 referente a la Norma de Calidad Ambiental y de descarga de Efluentes del Recurso Agua y, los Límites máximos permisibles Anexo A, Ordenanza 213, para descarga en cuerpos de agua dulce.

Para la elaboración de la propuesta se ha realizado la recopilación bibliográfica de investigaciones realizadas en los últimos años para remediar aguas contaminadas (Silva, Torres, & Madera, 2008), especialmente, en el terreno por métodos naturales

(SENACYT & UTPL, 2010) en áreas rurales con poblaciones menores a 5000 habitantes (Arango, 2004) (Bermeo & Santín, 2010), entre otros.

**2.2.2. Medición del caudal del estero Sin Nombre.** Se realizó la medición del caudal en la época seca. Se aplicó el método velocidad/superficie utilizada por (Encino & Rojas, 2015).

El método Velocidad/Superficie está basado principalmente en la ecuación de continuidad, donde se evalúa que el caudal es el producto de la velocidad por el área que ocupa el fluido dentro del canal, aplicando la siguiente formula:

$$Q = V * A$$

Q = Caudal (m<sup>3</sup>/S)

V = Velocidad

A = Área (m<sup>2</sup>)

Para obtener la velocidad se estableció 2 transectos con una distancia de 10 metros (entre ambas). Se midió el ancho del río Sin Nombre, se establecieron intervalos, se determinó la profundidad y se seleccionó el espacio específico para que flote el objeto flotador y recorra aguas arriba en el transecto trazado. Además, se tomó el tiempo que llevo recorrer la distancia entre transectos.

### **2.2.3. Valoración del impacto ambiental**

Se aplicó la metodología *in situ* establecida por (García Lastra, 2009), (Castillo, y otros, 2011), con algunas modificaciones. La investigación requirió las siguientes actividades:

- **Reconocimiento y diagnóstico del área de estudio.** Se visitó a la comunidad para realizar el reconocimiento de las inmediaciones del estero sin Nombre localizado en la comuna San Gabriel del Baba y, su desembocadura en el río Baba. Se diagnosticó la situación actual del área objeto de estudio y se socializó el proyecto de investigación al líder y pobladores del recinto San Gabriel de Baba.

- **Evaluación de Impacto Ambiental.** Existen diversos métodos para la evaluación del impacto sobre el medio ambiente o sobre alguno de sus factores (Conesa, 2010), el método de Leopold es el más utilizado, el cual consiste en un cuadro de doble entrada en donde las filas son los factores ambientales que pueden ser afectados y en las columnas la causa de los posibles impactos.

Se aplicó la metodología de (Peña Merdalet, 2016), (Verd, 2000), (Rodríguez-Tapia & Morales-Novelo, 2012) y (Riofrío Páz, 2016). Se mantuvo dialogo previo con los moradores del sectores, se accedió a informe elaborado por el Ministerio el Ambiente en el que se reporta que el rio Sin Nombre es alimentado por una fosa séptica que se encuentra localizada en una de las propiedades cercanas al mismo y se aplicó el método de observación directa.

La información recabada fue ingresada a una matriz de identificación de impactos, la cual se fundamenta en el análisis y evaluación de la interrelación entre los componentes ambientales y las acciones antropogénicas, la cual permitió identificar todas las acciones (situadas en la parte superior de la matriz) que tiene lugar en el área de estudio. Adicionalmente, se diseñó la Matriz de Leopold en la que se analizó y valoró los criterios de magnitud (intensidad, extensión y duración) e importancia (reversibilidad, riesgo y extensión) (Tabla 2) y se consideró la escala de valoración de la severidad de impacto (Tabla 3).

**Determinación de la magnitud.** Se realizó una sumatoria acumulada de los valores de las variables intensidad (I), extensión (E) y duración (D). Puede ser negativa o positiva según la actividad y su afectación al medio ambiente. Los pesos ponderados son los siguientes: 1) Peso del criterio de intensidad (I): 0,40; 2) Peso del criterio de extensión (E): 0,40; 3) Peso del criterio de duración (D): 0,20. Se aplicó la siguiente fórmula:

$$M = (0,40I) + (0,40E) + (0,20 D)$$

**Determinación de la Importancia.** Se realizó una sumatoria acumulada de los valores de las variables extensión (E), reversibilidad (R) y riesgo (G). Los pesos ponderados son los siguientes: 1) Peso del criterio de extensión (E): 0,30; 2) Peso del

criterio de reversibilidad (R): 0,20; 3) Peso del criterio de riesgo (G): 0,50. Se aplicó la siguiente fórmula:

$$I = (0,30E) + (0,20R) + (0,50G)$$

Tabla 2. Criterios de valoración de impactos ambientales

| Variable            | Carácter | Valor | Variable               | Carácter | Valor |
|---------------------|----------|-------|------------------------|----------|-------|
| <b>Magnitud (M)</b> |          |       | <b>Importancia (I)</b> |          |       |
| Intensidad<br>(I)   | Alta     | 3     | Reversibilidad<br>(G)  | Alta     | 3     |
|                     | Moderada | 2     |                        | Moderada | 2     |
|                     | Baja     | 1     |                        | Baja     | 1     |
| Extensión<br>(E)    | Alta     | 3     | Riesgo<br>(R)          | Alta     | 3     |
|                     | Moderada | 2     |                        | Moderada | 2     |
|                     | Baja     | 1     |                        | Baja     | 1     |
| Duración<br>(D)     | Alta     | 3     | Extensión<br>(E)       | Alta     | 3     |
|                     | Moderada | 2     |                        | Moderada | 2     |
|                     | Baja     | 1     |                        | Baja     | 1     |

**Cálculo final de la valoración del impacto ambiental.** Se realizó la multiplicación entre la Magnitud y la Importancia. El resultado se comparó con la tabla N° 3 para establecer la severidad del impacto y se realizó la representación gráfica.

Tabla 3. Escala de valoración de la severidad del impacto

| Escala de valores estimados | Severidad del impacto |
|-----------------------------|-----------------------|
| 1,0 – 3,0                   | Leve                  |
| 3,1 – 6,0                   | Moderado              |
| 6,1 – 9,0                   | Severo                |



### III. RESULTADOS

#### 3.1. Parámetros físicos-químicos.

##### **Potencial de Hidrógeno (pH)**

Se ha determinado valores (unidades de pH) mínimos y máximos que oscilan entre 6,19 (muestra 1 del 15/06/2017) y 7,10 (muestra 3 del 30/06/2017 y muestra 2 del 30/08/2017). De manera general se observa una tendencia que mantiene un estado ligeramente ácido con valores menores a 7, sin embargo, el punto 3 presento valores mayores a 7 (ligeramente alcalino) con valores de 7,07 y 7,08 en las muestras 2 y 3 del 15/08/2017 (Figura 2). Esta figura permite establecer que máximo valor del pH se localizó en el punto 3 con un descenso en la muestra del 30 de julio y 30 de agosto del 2017.

El análisis comparativo con la normativa del TULSMA (Registro Oficial 387. Edición Especial No. 097-A) indica que el pH del agua en los puntos monitoreados durante todo el proceso investigativo se encuentra en los rangos permisibles de 6 a 9.

La concentración del ión Hidrógeno, es un parámetro de calidad de importancia para agua natural. Se aceptan pH de 6,8 y 7,2 para las aguas de consumo humano (Sotil & Flores, 2016).

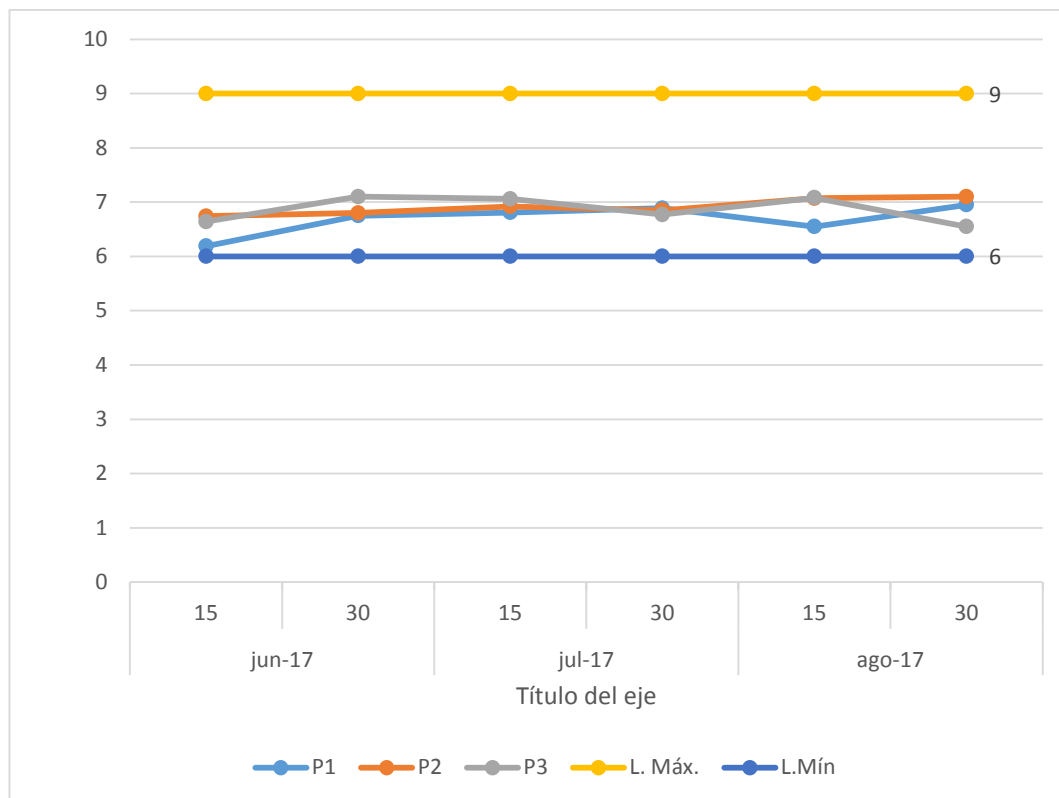


Figura 2. Variación (espacio temporal) del pH presentes en el río Sin Nombre localizado en la comuna San Gabriel del Baba en relación a la normativa ecuatoriana.

### Temperatura

En la tabla 5 se observa que la temperatura varió en valores que oscilan de 21 °C a 36,9°C. Mantuvo la menor temperatura en los tres puntos de muestreo el 30 de julio del 2017 y levemente superior al límite máximo permisible en los puntos 1 y 2 en el muestreo realizado el 15/07, 15 y 30/08 del 2017. De manera general, mantienen un valor promedio de 32,8°C, lo cual refiere que cumple con los niveles establecidos como límite máximo permitido por la Norma Ecuatoriana que establece un valor de < 35 °C (Fig. 3). De acuerdo a (Deniz, 2010) los niveles permisibles en las normas ambientales reporta que facilitan el desarrollo de los microorganismos existentes.

La temperatura en el agua es un factor importante en la determinación de los solutos, ya que influye en la salinidad y las reacciones químicas, sobre todo las de origen orgánico (Valencia, 2007). La temperatura óptima de funcionamiento para actividad biológica está en un rango de 25°C a 35°C (Metcalf & Eddy, 2003). Influye en el

aumento del pH, afecta los procesos físicos, los procesos químicos (equilibrio de ionización o concentración de amoníaco, velocidades de reacción) y los procesos biológicos (tasa metabólica, descomposición de materia orgánica) y por lo tanto, repercute en el efecto de los agentes contaminantes (Villa, 2011).

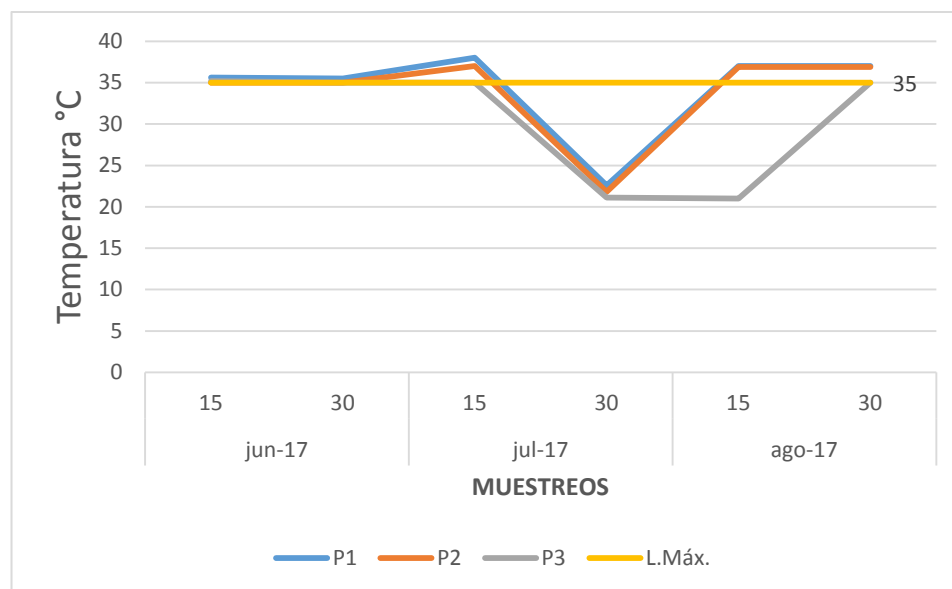


Figura 3. Variación (espacio temporal) de la temperatura presentes en el río Sin Nombre localizado en la comuna San Gabriel del Baba en relación a la normativa ecuatoriana.

### Turbiedad

El análisis del parámetro Turbiedad varió en valores mínimos de 2,5 y un máximo de 89 NTU (tabla 5). Los resultados demuestran que las muestras tomadas en el punto 1 mantienen los valores más altos (36,55; 37,2; 38,2; 46,74; 63,9 y 89 UTN) en relación a los resultados de los otros puntos analizados en todo el periodo de estudio (Fig. 4).

No se ha reportado en la normativa ecuatoriana para la turbidez un límite máximo permisible (LMP) para la descarga a un cuerpo de agua dulce, sin embargo los valores promedios obtenidos en los puntos 1 (51,9), puntos 2 (2,38) y punto 3 (3,39) de acuerdo al análisis comparativo con los valores del TULSMA refieren que está por debajo del LMP para agua de riego (100NTU). Se debe considerar además que el

punto 1 supera los valores máximo establecidos para agua de consumo humano (5 NTU) en relación al punto 2 y 3 que se encuentran en condiciones aceptables.

Los valores obtenidos pueden deberse a la baja concentración de sólidos y el casi inexistente arrastre de material que pudiere provocar alta turbidez en el agua.

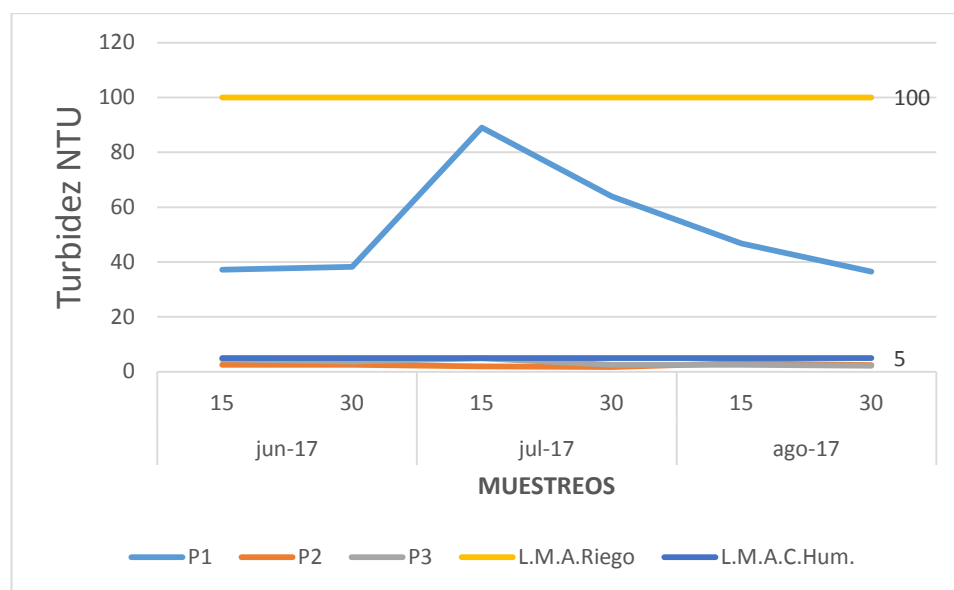


Figura 4. Variación (espacio temporal) de la turbidez presentes en el río Sin Nombre localizado en la comuna San Gabriel del Baba en relación a la normativa ecuatoriana.

### Sólidos Totales

La concentración de sólidos totales vario en las muestras analizadas en niveles de  $400 \text{ mg.L}^{-1}$  a  $800 \text{ mg.L}^{-1}$  En el punto 1. Notándose que el punto 3 se encuentra en valores de  $100 \text{ mg.L}^{-1}$  a  $200 \text{ mg.L}^{-1}$  y el punto 2 de  $300 \text{ mg.L}^{-1}$  a  $400 \text{ mg.L}^{-1}$  (Figura 5).

El análisis comparativo de los resultados obtenidos refieren que cumple con los límites máximos permisibles establecidos en los criterios de calidad para descarga de Efluentes del Recurso Agua ( $1600 \text{ mg.L}^{-1}$ ), agua para riego ( $1000 \text{ mg.L}^{-1}$ ) y consumo humano ( $1000 \text{ mg.L}^{-1}$ ).

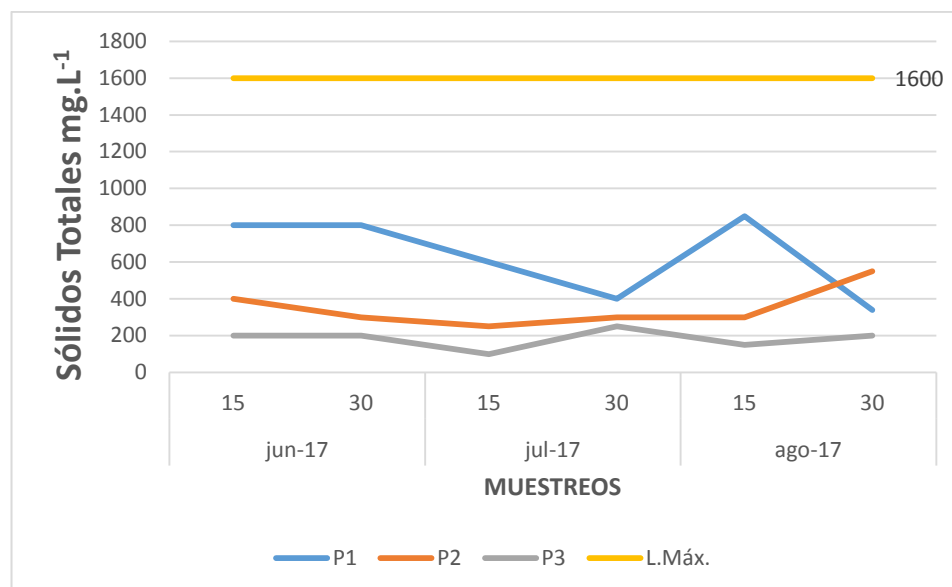


Figura 5. Variación (espacio temporal) del DBO<sub>5</sub> presentes en el río Sin Nombre localizado en la comuna San Gabriel del Baba en relación a la normativa ecuatoriana.

Es necesario referir que los sólidos promueven algunos efectos negativos sobre los medios hídricos receptores, tales como: disminución en la fotosíntesis por el aumento de la turbidez del agua, deposiciones sobre los vegetales y branquias de los peces, pudiendo provocar asfixia por colmatación de las mismas; formación de depósitos por sedimentación en el fondo de los medios receptores, favoreciendo la aparición de condiciones anaerobias o aumentos de la salinidad e incrementos de la presión osmótica (Deniz, 2010).

### Sólidos Suspendidos

Durante el periodo investigativo la concentración de sólidos suspendidos varió en las muestras analizadas de 100 mg.L<sup>-1</sup> a 700 mg.L<sup>-1</sup>. Como se muestra en la figura 6 se observa que el punto 3 presentó resultados que oscilan de 90 mg.L<sup>-1</sup> a 166 mg.L<sup>-1</sup>. Notándose un ligero incremento en el punto 2 de 200 mg.L<sup>-1</sup> a 290 mg.L<sup>-1</sup> y un valor de 455 mg.L<sup>-1</sup> en la muestra del 30/08/2017. De igual manera se observó que en el punto 1 presentó un valor inicial de 600 mg.L<sup>-1</sup> que fue disminuyendo hasta 350 mg.L<sup>-1</sup> el 30/07/2017 y 255 el 30/08/2017. El mayor valor obtenido correspondió a 667 mg.L<sup>-1</sup> en la muestra tomada el 15/08/2017.

El análisis realizado entre los resultados obtenidos y la normativa ambiental ecuatoriana, refieren que no cumple con el límite máximo permisible establecidos en los criterios de calidad para descarga de Efluentes del Recurso Agua ( $100 \text{ mg.L}^{-1}$ )

Dentro de los sólidos en suspensión se encuentran los sólidos sedimentables, que decantan por su propio peso y los no sedimentables (Deniz, 2010), los cuales, al igual que en el caso anterior, producen deterioro en los ecosistemas hídricos.

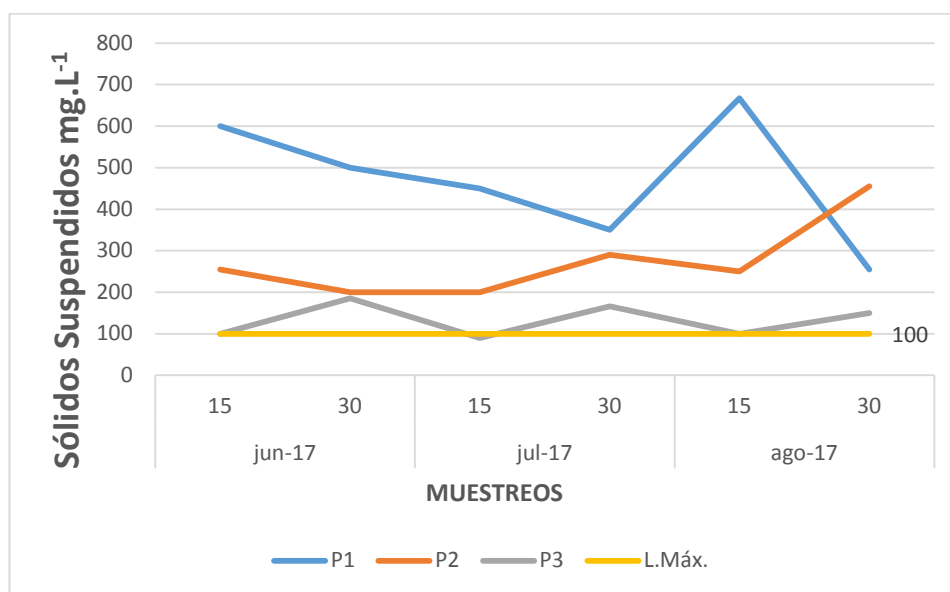


Figura 6. Variación (espacio temporal) de Sólidos Suspendedos presentes en el río Sin Nombre localizado en la comuna San Gabriel del Baba en relación a la normativa ecuatoriana.

### Nitratos

En las figuras 7 y 8 se puede observar que los nitratos tienen una concentración que oscila entre  $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$  y  $0,42 \text{ mg.L}^{-1}$ , notándose los valores más altos el 30 de agosto del 2017 en los tres puntos muestreados. En la comparación realizada con los valores de nitratos establecidos en el TULSMA se establece que los resultados reportados en este parámetro indican que se encuentran muy por debajo al límite máximo permisible.

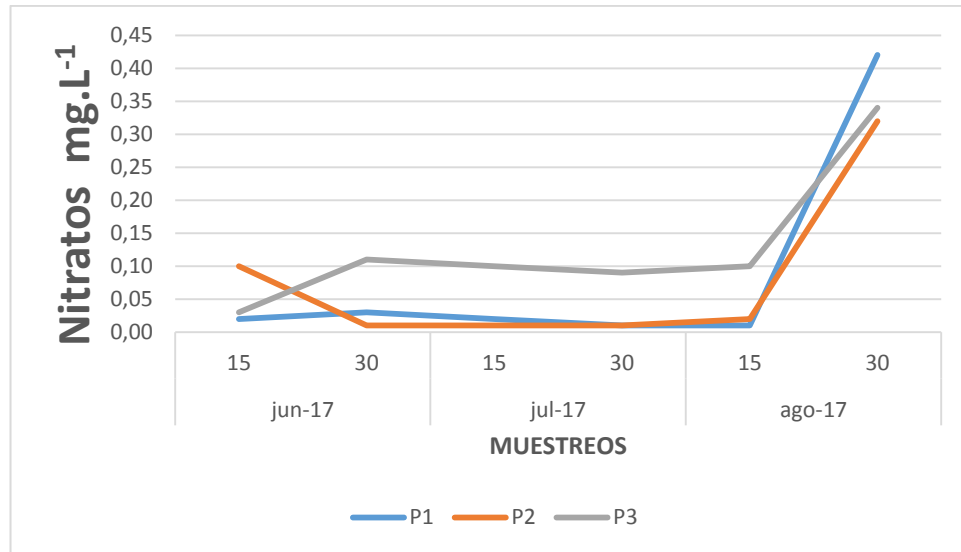


Figura 7. Variación (espacio temporal) de nitratos presentes en el río Sin Nombre localizado en la comuna San Gabriel del Baba en relación a la normativa ecuatoriana.

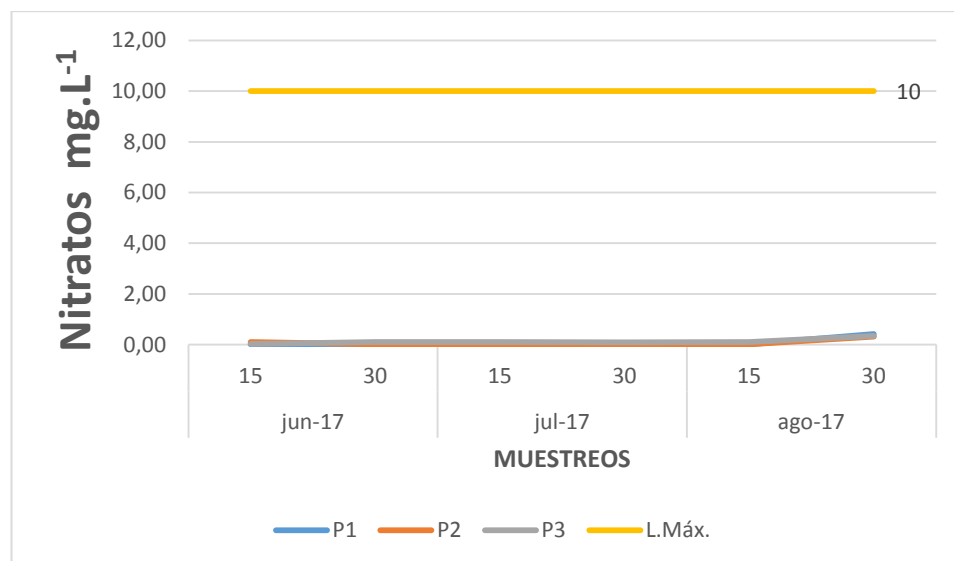


Figura 8. Analisis comparativo entre el Límite Máximo Permissible de la normativa ecuatoriana y la variación de nitratos respecto al tiempo presentes en el río Sin Nombre localizado en la comuna San Gabriel del Baba.

El nitrato es la forma principal del nitrógeno que se encuentra en las aguas naturales. El nitrógeno por reducción bacteriana o química se transforma en nitratos que son potencialmente tóxicos. Pueden encontrarse en las aguas procedentes de las rocas que lo contengan o por oxidación bacteriana de las materias orgánicas,

principalmente de las eliminadas por los animales. La concentración de nitratos tiende a aumentar como consecuencia del incremento del uso de fertilizantes y del aumento de la población (Valencia, 2007). La predominancia de nitrógeno como nitrato dentro de las aguas residuales indica estabilización del desecho orgánico (Metcalf & Eddy, 2003).

### Fosfatos

Los fosfatos forman parte de los nutrientes necesarios para el crecimiento de microorganismos. La estructura química más abundante de los fosfatos es el ortofosfato (Metcalf & Eddy, 2003). Los rangos encontrados para fosfatos (figura 9) oscilan entre  $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$  a  $6,65 \text{ mg.L}^{-1}$ , Los resultados reportan que el punto 1 presenta leves incrementos desde el 15 e junio hasta el 30 de agosto del 2017, observándose que los valores obtenidos se encuentran dentro de los límites máximos permisibles en la normativa establecida en el TULSMA del 5 de noviembre del 2017. Los valores altos conllevan a un impacto sobre la actividad biológica de este río.

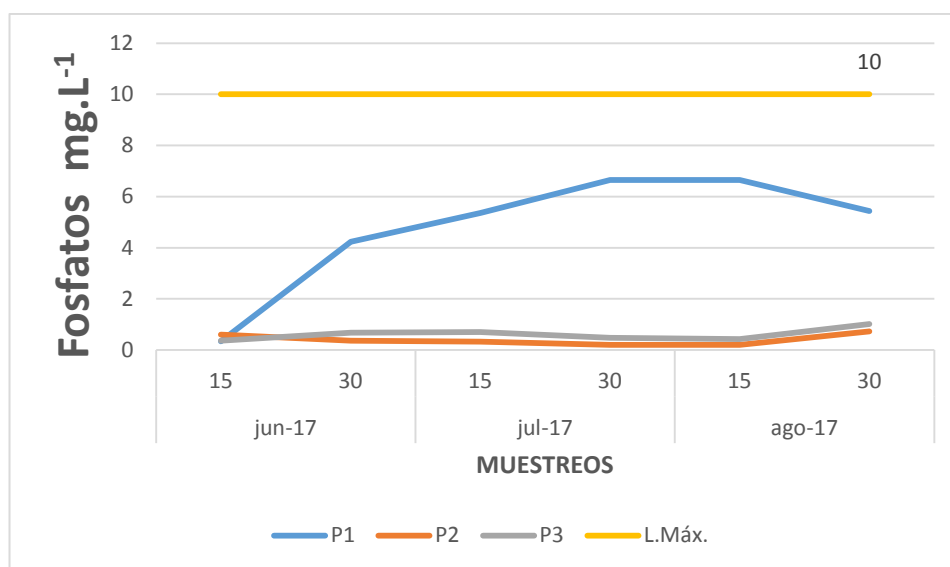


Figura 9. Variación (espacio temporal) de fosfatos presentes en el río Sin Nombre localizado en la comuna San Gabriel del Baba en relación a la normativa ecuatoriana.

El fósforo se encuentra como fosfato. Es esencial para el crecimiento de los organismos. Los valores más usuales en el agua, se encuentran por debajo de  $0,94 \text{ mg.L}^{-1}$  (Valencia, 2007).



### 3.2. Parámetros biológicos

#### Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

La concentración de DBO<sub>5</sub> alcanzo valores entre 1,84 mg.L<sup>-1</sup> a 7,57 mg.L<sup>-1</sup> durante toda la fase de estudio. Las muestras del punto 1 presentan resultados superiores que oscilan de 4,05 a 7,57 mg.L<sup>-1</sup> a los obtenidos en los puntos 2 y 3 (figuras 10 y 11). Sin embargo, éstas se encuentran en valores inferiores a los límites máximos permisibles (100 mg.L<sup>-1</sup>) establecidos en el TULAS del 4 de noviembre del 2015 para la descarga a afluentes de agua dulce y superiores a 2 mg.L<sup>-1</sup> por lo que no son aptas como agua para consumo humano.

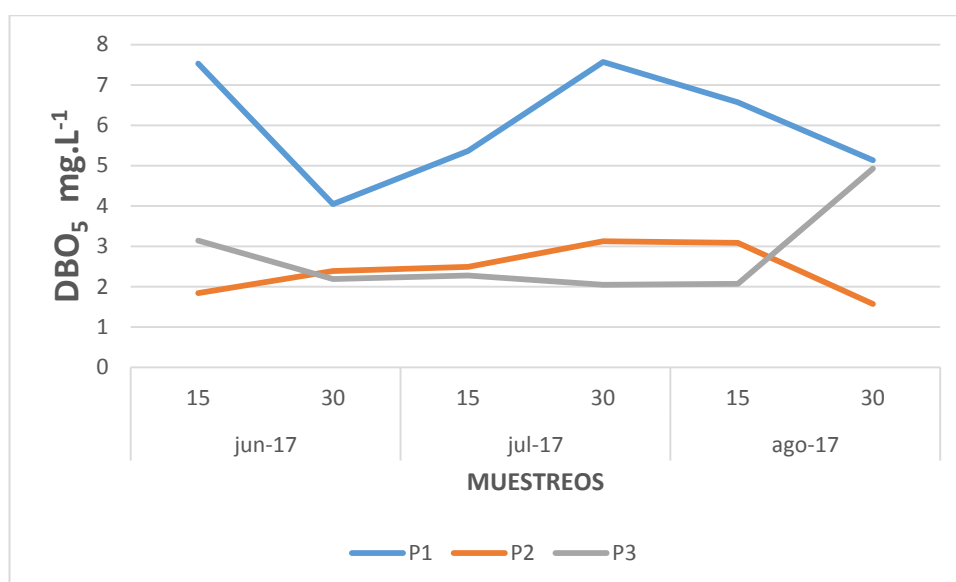


Figura 10. Variación (espacio temporal) del DBO<sub>5</sub> presentes en el río Sin Nombre localizado en la comuna San Gabriel del Baba en relación a la normativa ecuatoriana.

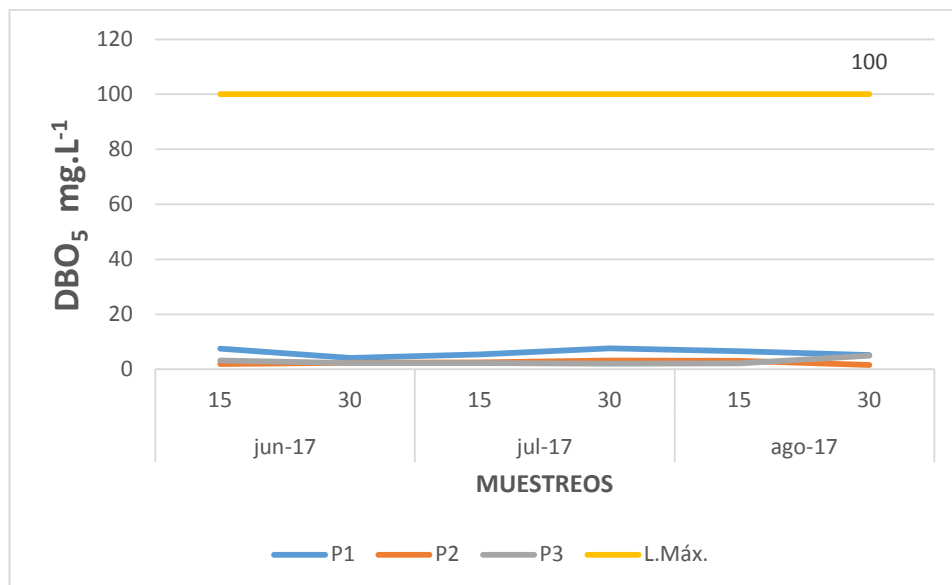


Figura 11. Analisis comparativo entre el Límite Máximo Permissible de la normativa ecuatoriana y la variación de DBO<sub>5</sub> respecto al tiempo del estero sin Nombre localizado en la comuna San Gabriel del Baba.

Si se considera que DBO<sub>5</sub> es la cantidad de Oxígeno Disuelto (mg O<sub>2</sub>/L) necesario para oxidar biológicamente la materia orgánica del agua (Deniz, 2010), los resultados obtenidos informan una limitada demanda biológica de oxígeno y una baja oxidación de compuestos orgánicos en la oscuridad a 20°C durante 5 días, lo que puede deberse a la escasa cantidad de materia orgánica existente en la zona estudiada. Sin embargo, (Carvalho, Prazeres, & Rivas, 2012) refiere que el rango de valores típicos se encuentra entre los 0,6 g.L<sup>-1</sup> y 60 g.L<sup>-1</sup>, por lo que el DBO<sub>5</sub> en la zona estudiada se encuentra en los parámetros aceptados.

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

El DQO es una de las medidas estándar para la determinación de los niveles de contaminación de un efluente (Ramalho, 1993). En esta investigación, los valores encontrados para el parámetro demanda química de oxígeno (DQO) (figura 12) variaron entre 22,5 mg.L<sup>-1</sup> y 322,1 mg.L<sup>-1</sup>. Además, se puede observar que en el punto 1 durante todo el periodo de investigación mantuvo valores de: 157,32; 219,44; 229,94; 300,66 y 322,1 mg.L<sup>-1</sup>. El día 15/06/2017 en el punto 1 y 3 se mantuvieron valores extremadamente bajos de 22,5 mg.L<sup>-1</sup> y 25,5 mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente, así como, en el día 30/07/2017 (38,69 mg.L<sup>-1</sup>) y el 15/08/2017 (36,49 mg.L<sup>-1</sup>).

Al analizar los resultados obtenidos con el límite máximo permisible establecido en la normativa ecuatoriana para descarga a un cuerpo de agua dulce ( $200 \text{ mg.L}^{-1}$ ), se observa que el punto 2 presentó valores permisibles y el punto 3 se mantuvo en rangos aceptables en las muestras tomadas desde el 30/06/2017 y 15/07/2017, sin embargo, fueron incrementándose a partir del 30/07/2017 hasta el 30/08/2017. Es necesario indicar que las muestras tomadas en el punto 1 del 15/07/2017 en adelante se encuentran por encima del límite máximo permisible.

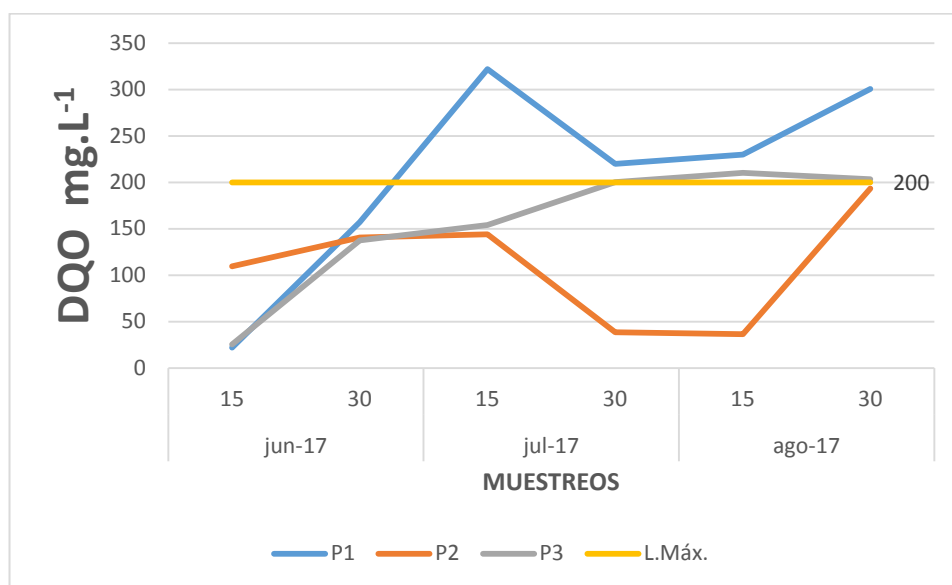


Figura 12. Variación (espacio temporal) del DQO presentes en el río Sin Nombre localizado en la comuna San Gabriel del Baba en relación a la normativa ecuatoriana.

Es necesario recordar que el DQO es la cantidad de oxígeno ( $\text{mg O}^2/\text{L}$ ) necesaria para oxidar los componentes del agua recurriendo a reacciones químicas (Deniz, 2010). Por lo general, presentan valores superiores a la DBO, porque oxida toda la materia orgánica tanto de origen biológico como de origen sintético (Villa, 2011). Los resultados obtenidos demuestran que existe una adecuada oxidación.

### Oxígeno Disuelto (OD).

Los rangos para oxígeno disuelto obtenidos en los puntos de muestreo oscilaron de  $0,32 \text{ mg.L}^{-1}$  a  $3,9 \text{ mg.L}^{-1}$  (figura 13) y se observa que existe interacción entre los factores temporales y espaciales. Según la Normativa Vigente se encuentra en valores menores a  $6 \text{ mg.L}^{-1}$ , por lo tanto, no cumple con el LMP para descarga a un cuerpo de agua dulce, ni con los criterios de calidad para consumo (humano y doméstico) y la preservación de la flora y fauna. De acuerdo a (Valencia, 2007), se pueden aceptar valores aceptables a partir de  $8 \text{ mg.L}^{-1}$ .

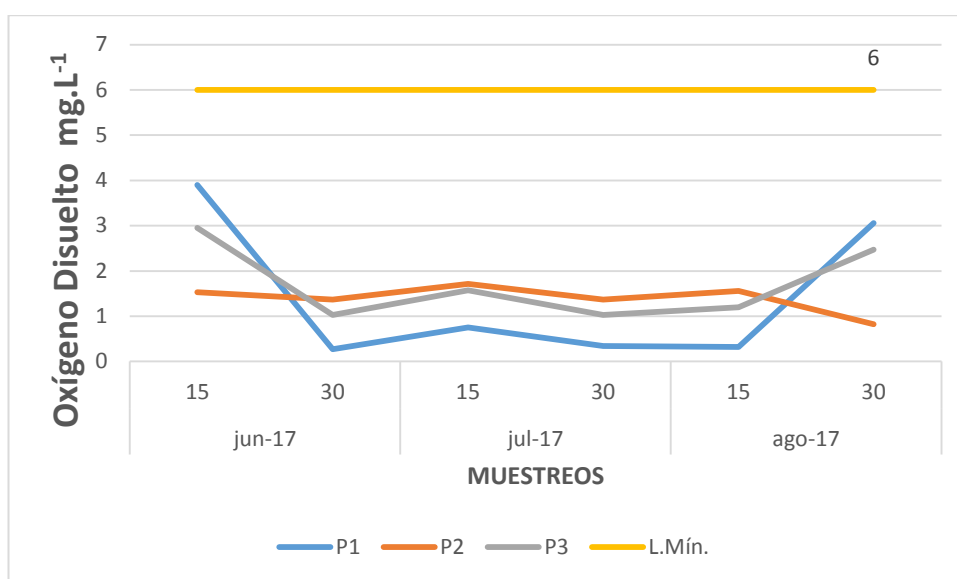


Figura 13. Variación (espacio temporal) del OD presentes en el río Sin Nombre localizado en la comuna San Gabriel del Baba en relación a la normativa ecuatoriana.

El Oxígeno Disuelto es fundamental para la respiración de los organismos aerobios presentes en el agua (Deniz, 2010) y, garantiza la sobrevivencia de los peces y otros organismos de vida acuática. La baja concentración de OD puede ser un indicador de que el agua tiene una alta carga orgánica provocada por aguas residuales que afecta el proceso de fotosíntesis, muerte y degradación de las algas. La concentración de oxígeno en el agua, depende de la presión que tenga en la atmósfera y de la temperatura del agua. Se asume que la concentración de OD a  $25^{\circ}\text{C}$  es de  $8,32 \text{ mg.L}^{-1}$  (Sotil & Flores, 2016).

### 3.3. Parámetros Microbiológicos.

#### Coliformes Totales.

En este estudio, los resultados obtenidos en la concentración de coliformes totales refieren un valor de  $2400 \text{ mg.L}^{-1}$  en los diferentes puntos de muestreo (figura 14). El análisis comparativo de los resultados obtenidos con los establecidos en la normativa ecuatoriana reportan que se encuentra por encima a los límites máximos permisibles establecidos para la descarga a un cuerpo de agua dulces.

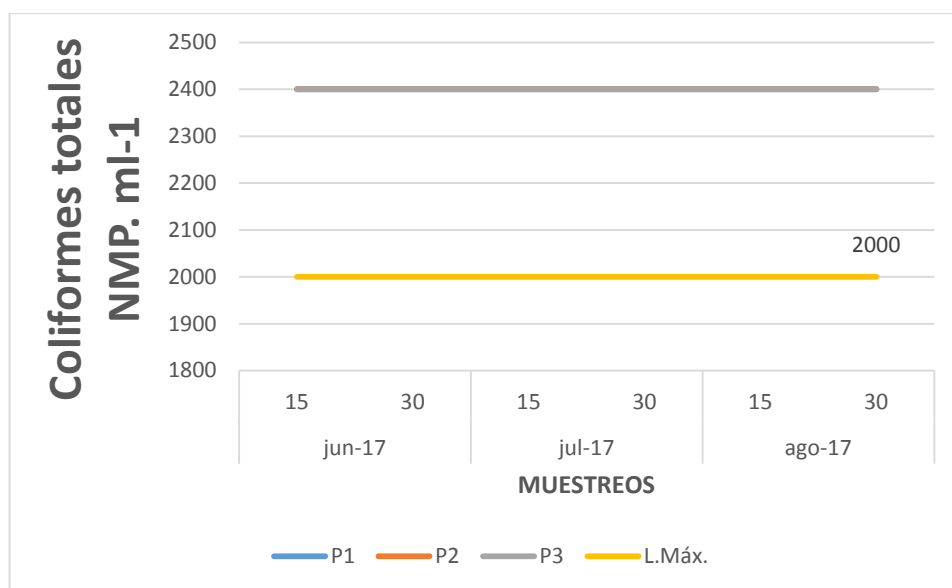


Figura 14. Variación (espacio temporal) de coliformes totales presentes en el río Sin Nombre localizado en la comuna San Gabriel del Baba en relación a la normativa ecuatoriana.

La presencia de bacterias colifórmicas (valores altos en el parámetro Coliformes Totales) se asocia de manera directa con los desechos (heces) de humanos y animales (domésticos y silvestres), expresadas en Unidades Formadoras de Colonia en 100 mL demuestra problema (UFC/100mL), ya que pueden desarrollar microorganismos patógenos que producen cólera (Sotil & Flores, 2016).

### Coliformes fecales.

Como se puede observar en la figura 15, al igual que en los resultados obtenidos en la concentración de coliformes totales, los rangos obtenidos para coliformes fecales refieren un valor de  $2400 \text{ mg.L}^{-1}$  en los diferentes puntos de muestreo, lo cual indica que la calidad del agua se encuentra por encima los límites máximos permisibles establecidos para la descarga a un cuerpo de aguas.

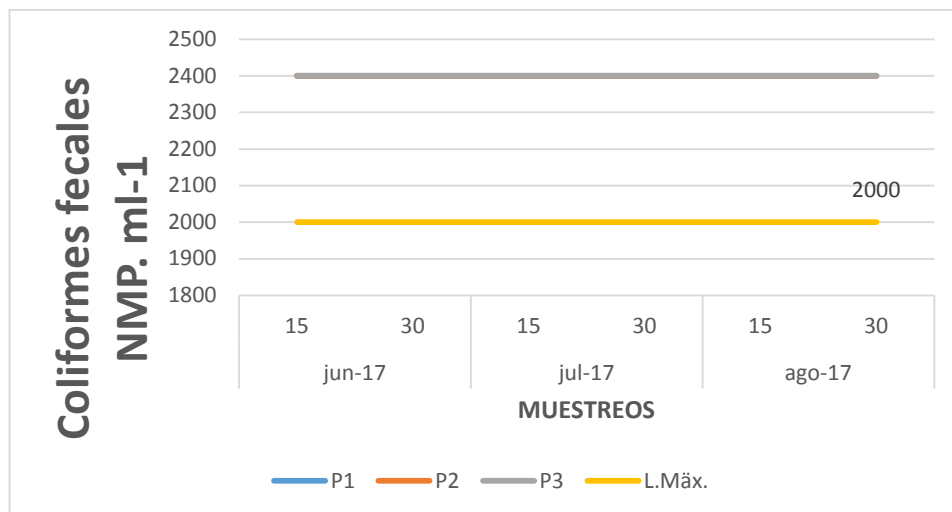


Figura 15. Variación (espacio temporal) de coliformes suspendidos presentes en el río Sin Nombre localizado en la comuna San Gabriel del Baba en relación a la normativa ecuatoriana.

### 3.4. Comparación entre límites máximos permisibles del TULAS y resultados de los análisis.

Como se observa en la tabla 1, una vez realizada la comparación de los resultados obtenidos con la normativa Ecuatoriana se reporta que los parámetros pH, temperatura, sólidos totales, fosfatos, nitratos,  $\text{DBO}_5$ , DQO se encuentran en los rangos permisibles. Parámetros importantes como turbiedad (Punto 1), sólidos suspendidos, Oxígeno Disuelto, Coliformes fecales y Coliformes totales no cumplen con la norma y exceden los límites permisibles. Es necesario referir que el parámetro turbiedad no presenta valores en la normativa, por lo que se estudió para contar con datos referenciales para estudios posteriores.

Tabla 4. Comparación entre límite máximo permisible del TULAS para descarga en cuerpos de agua dulce y resultados de los análisis.

| TULAS, LIBRO VI. ANEXO         |                      |                    |  | Resultados del laboratorio (medias) |         |         |                              |
|--------------------------------|----------------------|--------------------|--|-------------------------------------|---------|---------|------------------------------|
| Parámetros                     | Expresados como      | Unidades           | Límite Máx. Permissible                                | Punto 1                             | Punto 2 | Punto 3 | CUMPLE                       |
| Potencial de Hidrógeno         | pH                   |                    | 6 – 9**  | 6,69                                | 6,91    | 6,87    | SI                           |
| Temperatura*                   | °C                   |                    | <35  | 34,3                                | 33,8    | 30,4    | SI                           |
| Turbiedad                      |                      | UTN                | -  | 51,9                                | 2,38    | 3,39    | <b>P. 1 NO</b><br>P.2 y 3 SI |
| Sólidos Totales                |                      | mg.L <sup>-1</sup> | 1600***  | 632                                 | 350     | 183     | SI                           |
| Sólidos Suspendidos            |                      | mg.L <sup>-1</sup> | 100***   | 470                                 | 275     | 132     | <b>NO</b>                    |
| Fosfatos                       |                      | mg.L <sup>-1</sup> | 10*  | 4,78                                | 0,4     | 0,61    | SI                           |
| Nitratos                       |                      | mg/l               | 10*  | 0,09                                | 0,08    | 0,13    | SI                           |
| Demanda Biológica de Oxígeno 5 | D.B.O <sub>5</sub> . | mg.L <sup>-1</sup> | 100  | 6,04                                | 2,42    | 2,78    | SI                           |
| Demanda Química de Oxígeno     | D.Q.O                | mg.L <sup>-1</sup> | 200**  | 209                                 | 111     | 155     | SI                           |
| Oxígeno disuelto*              |                      | mg.L <sup>-1</sup> | No menor al 80% y no menor a 6 mg.L <sup>-1</sup><br>* | 1,44                                | 1,39    | 1,71    | <b>NO</b>                    |
| Coliformes fecales             | NO <sub>3</sub>      | NMP/100ml          | 2000   | 2400                                | 2400    | 2400    | <b>NO</b>                    |
| Coliformes totales             | NMP                  | NMP/100ml          | 2000   | 2400                                | 2400    | 2400    | <b>NO</b>                    |

Fuente: (\* TULSMA. R.O.E.E. No. 270-Feb-2015); (\*\* TULSMA R.O.E.E. No. 387-Nov-2015); (\*\*\*) TULSMA. Límites máximos permisibles Anexo A, Ordenanza 213, para descarga en cuerpos de agua dulce)

### 3.5. Caudal del río.

Se entiende por caudal al volumen de agua que fluye por unidad de tiempo en el momento de la extracción de la muestra (Valencia, 2007). A continuación se detalla los valores promedios del caudal del río Sin Nombre durante los meses Junio, Julio y Agosto del 2017 (tabla 2).

Tabla 5. Valores promedios del caudal del río Sin Nombre durante los meses Junio, Julio y Agosto del 2017.

| Parámetro       | Unidades          | punto 1 | punto 2  | punto 3 |
|-----------------|-------------------|---------|----------|---------|
| Velocidad Media | m/s               | 0.49    | 0.41     | 0.30    |
| Profundidad (p) | m                 | 0.165   | 0.22     | 0.215   |
| Ancho           | m                 | 1.80    | 3.41     | 4.80    |
| Caudal          | m <sup>3</sup> /s | 0.14553 | 0.307582 | 0.3096  |

En este trabajo investigativo se determinó que el caudal de los esteros y ríos Sin Nombres disminuyó durante los meses de junio a agosto del 2017.



Figura 16. Variación (espacio temporal) del caudal del río Sin Nombre localizado en la comuna San Gabriel del Baba.



### **3.6. Identificación de impactos ambientales en el área de estudio**

La identificación de impactos ambientales en zona colindante a río Sin Nombre localizado en la comuna San Gabriel del Baba se ejecutó mediante la aplicación de la matriz de Leopold, en el que se realizó el análisis y evaluación de la interrelación entre componentes ambientales y acciones antropogénicas más impactantes. Se seleccionó un número apropiado de las características ambientales de acuerdo a los subcomponentes considerados. Se obtuvo los resultados enunciados en la tabla 3 y 4.

Tabla 6. Matriz de impacto ambiental de la zona objeto de estudio mediante la aplicación de la matriz de Leopold

|                            |                         | MATRIZ DE LEOPOLD PARA EVALUACION DE IMPACTOS AMBIENTALES |                       |     |        |              |       |      |             |     |       |                     |     |      |            |   |      |              |     |      |              |   |      |         |         |                   |
|----------------------------|-------------------------|---|-----------------------|-----|--------|--------------|-------|------|-------------|-----|-------|---------------------|-----|------|------------|---|------|--------------|-----|------|--------------|---|------|---------|---------|-------------------|
|                            |                         | ESCALA DE VALORES ESTIMADOS                               | SEVERIDAD DEL IMPACTO |     |        |              |       |      |             |     |       |                     |     |      |            |   |      |              |     |      |              |   |      |         |         |                   |
|                            |                         | 1,0 – 3,0   | Leve                  |     |        |              |       |      |             |     |       |                     |     |      |            |   |      |              |     |      |              |   |      |         |         |                   |
|                            |                         | 3,1 – 6,0   | Moderado              |     |        |              |       |      |             |     |       |                     |     |      |            |   |      |              |     |      |              |   |      |         |         |                   |
|                            |                         | 6,1 – 9,0   | Severo                |     |        |              |       |      |             |     |       |                     |     |      |            |   |      |              |     |      |              |   |      |         |         |                   |
| Componente Ambiental       | Subcomponente Ambiental | Impacto Ambiental   | FOSA SÉPTICA          |     |        | AGROQUÍMICOS |       |      | MONOCULTIVO |     |       | P. TERRENO AGRÍCOLA |     |      | STRUCCION. |   |      | V. ANTROPOG. |     |      | POS. DESECH. |   |      | IMPACTO |         | TOTAL DE IMPACTOS |
|                            |                         |   | M                     | I   | TOT.   | M            | I     | TOT. | M           | I   | TOT.  | M                   | I   | TOT. | M          | I | TOT. | T            | T   | TOT. | T            | T | TOT. | +       | -       |                   |
| ABIÓTICO                   | Aire                    | Calidad del aire  | -2,4                  | 2   | -4,8   | -1           | 2,3   | -2,3 | -1          | 1,4 | -1,4  | -1                  | 1,4 | -1,4 | -1         | 1 | -1   | -1           | 1,4 | -1   | -2           | 1 | -2   | 0       | 7       | -14,7             |
|                            |                         | Nivel sonoro  | -1,4                  | 2   | -2,8   | -1           | 1     | -1   | -1          | 1,4 | -1,4  | -1                  | 1,4 | -1,4 | -1         | 1 | -1   | -1           | 1,4 | -1   | -1           | 1 | -1   | 0       | 7       | -10,2             |
|                            | Suelo                   | Calidad del suelo   | -3                    | 2   | -6     | -1,2         | 1     | -1,2 | -1,4        | 1,2 | -1,68 | -2,4                | 2   | -4,8 | -1         | 1 | -1   | -1           | 1,2 | -1   | -2           | 2 | -4   | 0       | 7       | -19,88            |
|                            | Agua                    | Calidad del Agua superficial                              | -3                    | 3   | -9     | -1           | 1,7   | -1,7 | -1          | 1,8 | -1,8  | -2,8                | 1,2 | -3,4 | -1         | 1 | -1   | -3           | 2,4 | -7   | -2           | 2 | -4   | 0       | 7       | -27,9             |
|                            |                         | Calidad del Agua Subterránea                              | -2,6                  | 1,8 | -4,68  | -1           | 2     | -2   | -1          | 1,2 | -1,2  | -1                  | 1   | -1   | -1         | 1 | -1   | -1           | 1,2 | -1   | -1           | 1 | -1   | 0       | 7       | -12,28            |
| BIÓTICO                    | Flora                   | Cobertura Vegetal   | -2,6                  | 2   | -5,2   | -1,2         | 1,5   | -1,8 | -1,4        | 1,6 | -2,24 | -1,4                | 1,2 | -1,7 | -1         | 1 | -1   | -2           | 1,2 | -2   | -2           | 2 | -5   | 0       | 7       | -18,64            |
|                            | Fauna                   | Presencia de especies                                     | -3                    | 2   | -6     | -1,8         | 2     | -3,6 | -1,4        | 1,2 | -1,68 | -1,4                | 1,2 | -1,7 | -1         | 1 | -1   | -2           | 2,4 | -6   | -2           | 2 | -5   | 0       | 7       | -24,52            |
| ANTRÓPICO                  | Medio perceptual        | Paisaje   | -2,4                  | 1,8 | -4,32  | -1           | 1     | -1   | -1,6        | 1,6 | -2,56 | -1,4                | 1,2 | -1,7 | -1         | 1 | -1   | -2           | 1,2 | -2   | -2           | 2 | -4   | 0       | 7       | -16,48            |
|                            | Humanos                 | Nivel de seguridad y salud                                | -2,6                  | 2,2 | -5,72  | -1           | 2     | -2   | -1,4        | 1,6 | -2,24 | -1                  | 1,2 | -1,2 | -1         | 1 | -1   | -2           | 2,4 | -6   | -2           | 2 | -3   | 0       | 7       | -21,12            |
| SUMA DE IMPACTOS POSITIVOS |                         |   | 0                     |     | 0      |              | 0     |      | 0           |     | 0     |                     | 0   |      | 0          |   | 0    |              | 0   |      | 0            |   | 0    |         |         |                   |
| SUMA DE IMPACTOS NEGATIVOS |                         |   | 9                     |     | 9      |              | 9     |      | 9           |     | 9     |                     | 9   |      | 9          |   | 9    |              | 9   |      | 9            |   | 9    |         |         |                   |
| TOTAL DE IMPACTOS          |                         |   | -23                   |     | -48,52 |              | -16,2 |      | -16,2       |     | -18,2 |                     | -9  |      | -28        |   | -29  |              |     |      |              |   |      |         | -165,72 |                   |

M = Magnitud I = Impacto

Los resultados reportan que las actividades que generan mayor impacto ambiental se deben principalmente al direccionamiento del agua de la fosa séptica al río, así como, la disposición de desechos en zonas aledañas que durante el periodo de invierno son arrastrados por la corriente y las actividades antropogénicas de la población de manera directa en el río (Figura 17).

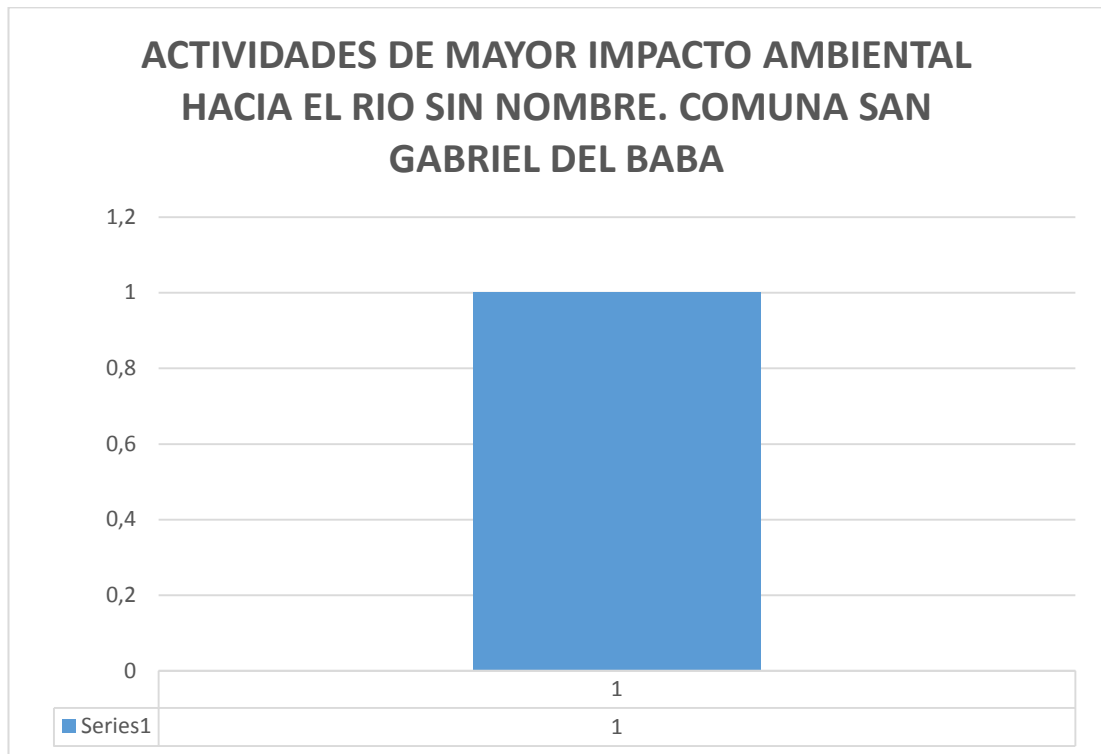


Figura 17. Actividades de mayor impacto ambiental hacia el río Sin Nombre localizado en la comuna San Gabriel del Baba

Se observa además (Figura 18) que las actividades analizadas generan mayor impacto a la calidad del agua superficial, preservación de las especies de fauna acuática y a la salud humana.

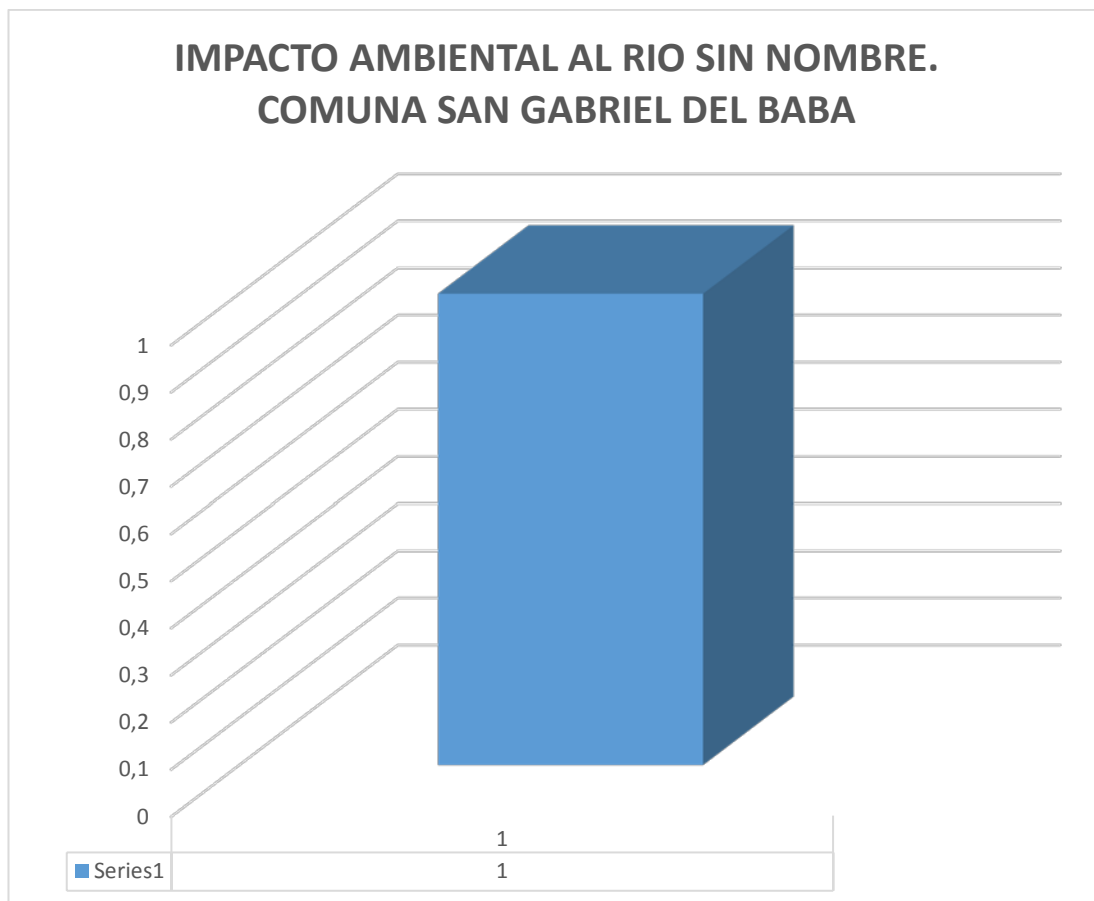


Figura 18. Impacto ambiental al Río Sin Nombre. Comuna San Gabriel del Baba

### 3.7. Propuesta metodológica

**Tema: Diseño de un sistema alternativo de tratamiento de aguas servidas en la comuna San Gabriel Del Baba mediante la utilización del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*)**

En la actualidad, la población mundial es cuatro veces mayor que hace 100 años, mientras que el consumo de agua se ha multiplicado por 9 y la necesidad de agua industrial por 40 (Arango, 2004). Este crecimiento acelerado de la población, especialmente en países en vía de desarrollo; la contaminación de los cuerpos de agua superficial y subterránea; la distribución desigual del recurso hídrico, los graves

períodos secos han forzado a buscar nuevas fuentes de abastecimiento para satisfacer la demanda del recurso hídrico (Silva, Torres, & Madera, 2008).

Actualmente existen numerosas alternativas de tratamiento de aguas residuales, sin embargo, la deficiente operación y mantenimiento y su baja adaptación al medio han ocasionado que estas fracasen y sean abandonadas, repercutiendo en grandes pérdidas para los municipios, juntas parroquiales, etc. (Bermeo & Santín, 2010). Ante la imperante necesidad que tiene la población, en especial las pequeñas comunidades de los países en desarrollo, de disponer continua y eficientemente de agua potable, es necesario recurrir al estudio y planteamiento de nuevas alternativas de saneamiento y potabilización del agua (Arango, 2004).

Por tanto, el tratamiento de aguas residuales por métodos naturales se presenta como una alternativa tecnológica sostenible para las comunidades con poblaciones menores a 5000 habitantes, con bajos costos de construcción, operación y mantenimiento que pueden ser asumidos por los Municipios pequeños y con pocos recursos para dotar de infraestructura sanitaria a las comunidades. Este tratamiento presenta algunos beneficios, tales como: alta eficiencia, facilidad en la operación y mantenimiento, bajos costos energéticos, baja producción de fangos y el aprovechamiento final de los efluentes de este tipo de tratamiento, que no solo representan una fuente de agua, sino también una fuente de entrada de nutrientes con beneficios ambientales y económicos, lo que los convierte en una alternativa viable que cada vez es más considerada a nivel mundial (SENACYT & UTPL, 2010).

Dentro de los métodos naturales generalmente se diferencian dos grandes grupos: los métodos de aplicación sobre el terreno y los métodos acuáticos. Los métodos de aplicación en el terreno se caracterizan por la aplicación controlada de agua residual sobre la superficie de un terreno, para alcanzar un grado determinado de tratamiento a través de procesos físicos, químicos y biológicos (Crites & Tchobanoglous, 2000). Por otra parte, dentro de los métodos acuáticos se incluyen aquéllos cuya acción principal de depuración se ejerce en el seno del medio acuático, participando en el proceso plantas emergentes y microorganismos. Los principales tipos de sistemas de tratamiento para aguas residuales en el terreno incluyen: infiltración rápida,

infiltración lenta, escorrentía superficial y, entre los métodos acuáticos constan los humedales de flujo superficial o flujo subsuperficial.

Los humedales son conocidos como “wetland” (Noyola, Morgan-Sagastume, & Güereca, 2013), en el cual se realiza un trabajo combinado de plantas-microorganismos-sustrato (Romero-Aguilar, Sánchez-Salina, & Ortíz-Hernández, 2009) mediante la ejecución de procesos físicos y bioquímicos como consecuencia de bajas tasas de filtración que generan la formación de una biocapa sobre la superficie del lecho, la cual es responsable de remover y/o retener los agentes patógenos (Arango, 2004).

Las plantas aportan a las raíces y rizomas el oxígeno atmosférico captado por las hojas, permitiendo que los microorganismos presentes en la rizósfera y los organismos que se encuentran en los intersticios del medio granular actúen en el tratamiento de las aguas residuales (Noyola, Morgan-Sagastume, & Güereca, 2013).

No requiere suministro de energía adicional, por lo que se los considera como ecosistemas de muy amplio uso en el tratamiento de aguas residuales (Romero-Aguilar, Sánchez-Salina, & Ortíz-Hernández, 2009). Por su característica de aplicación de manera segura, confiable, estética, eficiente y económica (Romero-Aguilar, Sánchez-Salina, & Ortíz-Hernández, 2009), es una alternativa muy utilizado desde la antigüedad para el tratamiento de aguas para uso urbano, el cual actualmente utiliza nuevos materiales que reemplazan a los usados en los medios granulares tradicionales, mejorando así su competencia frente a otras alternativas de tratamiento (Arango, 2004). Su objetivo es la separación de partículas y microorganismos objetables en el agua, que no han sido retenidos mediante otros procesos (Arboleda Valencia, 2000).

La remoción de contaminantes es eficiente y no se invierte en el suministro de energía adicional para su funcionamiento. Como se ha mencionado anteriormente, el funcionamiento de estos sistemas de tratamiento se basa en la actividad combinada de plantas, microorganismos y sustrato, que en conjunto propician una depuración eficiente, por lo tanto, el uso de plantas con capacidad para reducir o mitigar la

concentración de contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en el agua, mediante procesos bioquímicos asociados a su sistema radicular (Jaramillo & Flores, 2012) y la actividad de los microorganismos que habitan de manera asociada a sus raíces, es una tecnología poderosa para elaborar sistemas que permitan la recuperación de aguas afectados por contaminantes (Montaño, 2015).

La selección y diseño de la propuesta tecnológica se realizó de acuerdo a la metodología establecida por (Bermeo & Santín, 2010) y las alternativas de tratamientos naturales de aguas residuales domésticas para comunidades menores a 5000 habitantes propuesta por (SENACYT & UTPL, 2010), con algunas modificaciones. Dependió de algunos criterios: nivel de calidad que se desea en el agua tratada de acuerdo al objetivo del tratamiento, características del terreno, factores ambientales y, costos (construcción, operación y mantenimiento), los cuales permitieron realizar un análisis comparativo entre las diferentes alternativas y seleccionar las más convenientes, por lo que en este trabajo investigativo se propone un sistema alternativo de tratamiento de aguas servidas en la comuna San Gabriel del Baba.

El sistema alternativo de tratamiento de aguas servidas propuesto para la comuna San Gabriel del Baba se compone de dos fases: 1) establecimiento de un humedal de flujo libre o superficial con la utilización de macrófitas flotantes (*Eichhornia crassipes*) y, 2) aprovechamiento del material vegetal utilizado en el humedal para alimento de cerdos y producción de vermicompost; 3) aprovechamiento de lodos de la fosa séptica como materia prima para el proceso de obtención de vermicompost.

### **1) Humedal de flujo libre o superficial (HFL)**

De acuerdo a (SENACYT & UTPL, 2010), adaptado de EPA, 2000, el HFL es un tratamiento efectivo que minimiza la necesidad de equipos (mecánicos, electricidad y monitoreo permanente), es adecuado para el tratamiento de aguas residuales de pequeñas poblaciones, mantiene menor coste (construcción, operación y mantenimiento), soporta de manera eficiente las variaciones de caudal, proporcionan una adición valiosa al “espacio verde” de la comunidad, incluye la incorporación de

hábitat de vida silvestre, no producen lodos residuales y facilita la reutilización del agua.

Refiere además, que mantiene algunas desventajas: las necesidades de terreno pueden ser grandes, para remoción de nitrógeno o fósforo, en climas fríos las bajas temperaturas reducen la tasa de remoción de DBO y de las reacciones biológicas responsables de la nitrificación y desnitrificación, aumento de tamaño del humedal, proliferación de mosquitos y otros insectos y, limitación de pendiente del terreno inferior al 5 %.

La superficie necesaria para una población de 1000 h-e oscila entre los 3 y 5 m<sup>2</sup>/h-e en función del tipo de humedal o combinación de humedales, con un costo de instalación aproximado entre \$ 400 a \$ 500 (Ministero de Agricultura, alimentación y Medio Ambiente del Gobierno de España, 2017).

- **Uso de macrófitas en el tratamiento de aguas residuales**

Los tratamientos de aguas residuales que involucran macrófitas flotantes han demostrado ser eficientes en la remediación de aguas con contenidos de nutrientes, materia orgánica y sustancias tóxicas como arsénico, zinc, cadmio, cobre, plomo, cromo, y mercurio. Su importancia radica en su aptitud para ser empleados en núcleos rurales debido a su bajo consumo de energía convencional y la practicidad en el montaje y operación de los sistemas (Martelo & Lara, 2012). Las macrófitas flotantes comprenden un amplio y variado grupo de plantas, entre las que se destacan el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), lechuga de agua (*Pistia stratiotes*), salvinia (*Salvinia Spp.*), redondita de agua (*Hydrocotyle ranunculoides*), y algunas especies de lentejas de agua (*Lemna Spp.*, *Spirodella Spp.*) (Sáenz, y otros, 2008). Su morfología difiere dependiendo de la especie.

Es necesario considerar que los sistemas con macrófitas flotantes tienen algunas limitaciones, entre ellas, la más importante es la capacidad limitada de acumular biomasa, por lo que es necesario hacer retiros periódicos de las mismas para partir el



crecimiento de las plantas emergentes y optimizar la captura de algunos componentes del agua residual (Fernández J. , 2017).

Algunas plantas pueden ser cosechadas fácilmente, y una vez cosechadas proveer algún recurso económico (Fox & Harvey, 1973). En la literatura se han señalado posibles usos para la biomasa, tales como la incorporación como fertilizante en la tierra o compost, la manufactura de cartón, la producción de combustibles, o también el uso como material absorbente de colorantes y metales pesados (Celis, Junod, & Sandoval, 2005).

En la tabla 5 se informa los criterios de diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas con Jacinto de agua.

Tabla 7. Criterios de diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas con Jacinto de agua

| Criterio                               | Tipo de sistemas Aerobios |               |               |
|--|---------------------------|---------------|---------------|
|  | Sin aireación             | Sin aireación | Con aireación |
| Tipo de afluente                       | Primario                  | Secundario    | Primario      |
| DBO afluente, mg/l                     | 130 -180                  |               |               |
| Carga orgánica, kg DBO/ha.d            | 40 -80                    |               |               |
| DBO <sub>5</sub>                       | < 30                      | < 10          | < 15          |
| SS                                     | < 30                      | < 10          | < 15          |
| NT                                     | < 30                      | < 5           | < 15          |
| Profundidad, m                         | 0,5 – 0,8                 | 0,6 – 0,9     | 0,9 – 1,4     |
| Tiempo de retención, d                 | 10 – 36                   | 6 – 18        | 4 – 8         |
| Carga hidráulica, m <sup>3</sup> /ha.d | < 200                     | < 800         | 550 – 1000    |
| Frecuencia de cosecha                  | Anual                     | 2 veces x mes | Mensual       |

Fuente: (Martelo & Lara, 2012).

**Jacinto de agua** (*Eichhornia crassipes* C. Martius Solmn-Laubach). Es una especie introducida en países tropicales por la belleza de su flor con fines ornamentales. Su capacidad reproductiva, su adaptabilidad, los requerimientos nutricionales (Potasio,

Nitrógeno, Fósforo, traza de metales y materia orgánica) y la resistencia a ambientes adversos la convirtieron en una especie imposible de erradicar, con un control sumamente difícil y un costo de manejo ecológico y económico muy alto, por lo que se han realizado diferentes estudios para su erradicación, sin embargo, los procesos y metodologías aplicadas no han sido totalmente satisfactorios. Esto motivó a buscar usos alternativos como la fabricación de papel, abono orgánico, tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales, inclusive usos medicinales por sus propiedades: febrífugas, expectorantes y anti inflamatorias.

Por otra parte, el Jacinto de agua puede ser sometido a digestión anaerobia para producir metano; a compostaje para disposición posterior sobre el suelo; a secado al aire y disposición en un relleno sanitario; a incineración; o puede regarse y ararse para mejoramiento del suelo (Chassany de Casabianca, 1985).

Esta especie, de acuerdo con los reportes de la literatura, alcanza reducciones de  $\text{DBO}_5$  en el orden de 95 %, y hasta 90,2 % para la DQO. En el caso de los sólidos suspendidos se registran disminuciones con valores que se encuentran en el rango de 21 % y 91 %. En cuanto al fósforo total y nitrógeno total, se alcanzaron máximas remociones de 91,7 % y 98,5 % respectivamente, siendo este último, el contaminante con mayor remoción. Los metales también han sido objeto de remoción, encontrándose porcentajes de máxima remoción desde 85 % hasta 95 % para el hierro, cobre, zinc, cadmio y cromo (Martelo & Lara, 2012)

La producción de biomasa en sistemas de cosecha integrados, puede variar en una media que oscila entre 40,5 a 47 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> DW (30,6 – 35,2 g DW m<sup>2</sup> día<sup>-1</sup> durante todo el período de producción. El mejor sistema (producción anual de 69,5 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) alcanzó una biomasa *in situ* de 13 kg WW m<sup>-2</sup> al comienzo del verano y 33 kg WW m<sup>-2</sup> en el final del verano (Chassany de Casabianca, 1985).

Por ello, en la presente propuesta se recomienda coleccionar las plantas más pequeñas que se están floreciendo para ayudar en los procesos reproductivos, cosecharlo cada dos meses y utilizarlo en la preparación de vermicompost para uso en trabajos de reforestación.

En la tabla 6 se presenta la eficiencia de remoción (%) de las especies de macrófitas de mayor uso en trabajos de biorremediación de aguas residuales, en el cual se puede observar que *Eichhornia crassipes* presenta mejores resultados, por lo que ha sido seleccionada en esta propuesta.

En la tabla 7 se reporta la remoción de contaminantes por las plantas o lagunas en la que se demuestra que el Jacinto de agua es más eficiente, alcanzando remociones de hasta 70% en DBO con cargas orgánicas de 510 kg/m<sup>2</sup>.d y tan solo 1 día de tiempo de remoción (Rodríguez & Díaz, 2017).

Tabla 8. Eficiencias de remoción de las especies de macrófitas de mayor uso en la biorremediación de aguas residuales

| <b>Porcentaje de remoción</b>             |             |                |           |                |                    |           |               |               |             |           |           |           |           |
|---|-------------|----------------|-----------|----------------|--------------------|-----------|---------------|---------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>Especie</b>                            | <b>DBO</b>  | <b>DQO</b>     | <b>SS</b> | <b>P total</b> | <b>N<br/>Total</b> | <b>As</b> | <b>Fe</b>     | <b>Mn</b>     | <b>Pb</b>   | <b>Cu</b> | <b>Cr</b> | <b>Cd</b> | <b>Zn</b> |
| Eichhornia crassipes<br>(jacinto de agua) | 37-<br>95,1 | 72,6-<br>90,25 | 21-<br>92 | 42,3-<br>98,5  | 72,4-<br>91,7      | 80        | 78,6-<br>90,1 |               |             | 86-95     | 60-89     | 40-85     | 48-95     |
| Pistia stratiotes<br>(lechuga de agua)    | 57-<br>91,9 | 70,7-<br>93,47 | 80,6      | 25-<br>64,2    | 51,7-<br>87,6      |           | 78,3-<br>95   | 86,8-<br>98,4 | 90-<br>99,7 | 68-97,3   | 64-99,6   | 63-87     | 82-9      |
| Lemma minor (lenteja<br>de agua)          | 94,4        |                |           | 67             | 89                 | 5         | 78,47         | 95,20         | 98,55       | 77-90,41  | 96,94     |           | 97,56     |
| Lemma gibba (lenteja<br>de agua)          | 50-<br>95,7 | 64,7           | 30-<br>92 |                |                    |           | 54,4          |               |             |           |           |           |           |

Fuente: (Martelo &amp; Lara, 2012)

Tabla 9. Eficiencias de remoción de las especies de macrófitas de mayor uso en la biorremediación de aguas domésticas

| Porcentaje de remoción de contaminantes en aguas domésticas |     |     |     |    |     |    |    |     |     |    |                    |                   |
|---|-----|-----|-----|----|-----|----|----|-----|-----|----|--------------------|-------------------|
| Especie   | CO  | TR  | DBO |    | NTK |    | PT |     | SST |    | CF                 |                   |
|   |     |     | A   | E  | A   | E  | A  | E   | A   | E  | A                  | E97               |
| <i>Eichhornia crassipes</i> (Jacinto de agua)               | 200 | 3   | 141 | 15 | 29  | 8  | 5  | 1,2 | 209 | 35 | $1,10 \times 10^7$ | $1,3 \times 10^5$ |
|   | 340 | 1,5 | 120 | 16 | 24  | 14 | 4  | 1,5 | 96  | 32 |                    |                   |
|   | 510 | 1   | 121 | 36 | 25  | 15 | 6  | 2,4 | 92  | 12 | $1,7 \times 10^7$  | $1,1 \times 10^6$ |
| <i>Pistia stratiotes</i> (lechuga de agua)                  | 97  | 4   | 94  | 18 | 29  | 8  |    |     |     |    |                    |                   |
| <i>Lemma minor</i> (lenteja de agua)                        | 61  | 6,2 | 92  | 27 | 21  | 7  |    |     |     |    |                    |                   |
| Azolla  | 61  | 6,2 | 92  | 28 | 21  | 10 | 2  | 0,8 |     |    |                    |                   |

Fuente: (Rodríguez & Díaz, 2017).

Leyenda: CO = carga orgánica (kg DBO/ha.d); TR = tiempo de retención (días); DBO = demanda bioquímica de oxígeno (mg/l); NTK = nitrógeno total Kjeldal (mg/l); SST = sólidos suspendidos totales (mg/l); CF = coliformes fecales (NMP/100 ml); A = afluente; E = efluente

## 2) Aprovechamiento del material vegetal de *Eichhornia crassipes*

- **Aprovechamiento para alimento de cerdos**

Con el fin de integrar el sistema alternativo de tratamiento de aguas servidas en la comuna San Gabriel del Baba se promoverá el uso de las plantas de Jacinto de agua que serán removidas del humedal para la alimentación de cerdos, ya que presenta óptimos resultados de digestibilidad y como complemento de la dieta de estos animales, según se demuestra en la tabla 8, elaborada por (Rodríguez & Díaz, 2017), en la cual se refiere que existe relación entre la remoción de contaminantes y el tamaño de las plantas, así como de su sistema radicular

Tabla 10. Eficiencia de macrófitas de mayor uso en la biorremediación de aguas domésticas para uso en la digestibilidad de cerdos

| Especie  | Humedad<br>% | Proteína<br>(peso<br>seco)<br>% | Velocidad de<br>crecimiento<br>(g/m <sup>2</sup> .d) (peso<br>húmedo) | Rendimiento (T/Ha.año) (peso<br>húmedo) |        | Digestibilidad en cerdos en<br>crecimiento |           |
|--|--------------|---------------------------------|---|---|--------|--|-----------|
|  |              |                                 |   | Proteína                                | Planta | Materia<br>orgánica                        | Nitrógeno |
| <i>Eichhornia crassipes</i><br>(Jacinto de agua) | 95           | 25                              | 487   | 22                                      | 88     | 82,8                                       | 70,8      |
| <i>Pistia stratiotes</i> (lechuga de<br>agua)    | 95           | 27                              | 290   | 13,2                                    | 53     | 79,9                                       | 65,10     |
| <i>Lemna minor</i> (lenteja de<br>agua)          | 95           | 30                              | 123   | 6,6                                     | 22     | 76,9                                       | 63,7      |
| <i>Azolla filiculoides</i> (helecho<br>mosquito) | 95           | 29                              | 178   | 9,3                                     | 32     | 73,9                                       | 51,2      |

Fuente: (Rodríguez &amp; Díaz, 2017).

- **Aprovechamiento para la producción de Vermicompost**

En la presente propuesta, se ha considerado dirigir las aguas localizadas en la fosa séptica de la comunidad a un Humedal de flujo libre o superficial (HFL), cuya construcción se fundamenta de acuerdo a la metodología propuesta por (Bermeo & Santín, 2010) y (SENACYT & UTPL, 2010), con algunas modificaciones. En este humedal, las plantas macrófitas realizarán actividad fitorremediadora y disminuirán el porcentaje de contaminantes presentes en la misma (ver tabla 2) para ser redirigidas (alimentar) al río Sin Nombre.

De acuerdo a reportes publicados, el Jacinto de agua puede ser aprovechado para la producción de abono orgánico por su composición de macro y micronutrientes (López, 2012) y se ha producido un compost denominado “Nutribora” (NB), el cual ha sido elaborado con mezcla de tejido de *Eichhornia crassipes*, estiércol de ganado vacuno y suelo de morichales, promoviendo el uso de 80t·ha<sup>-1</sup> para alcanzar considerables incrementos en la producción de tomate, pimentón, así como, de otros cultivos de hortalizas y plantas ornamentales (Rodríguez R., Marcano C., & Montaña, 2004) y (Rodríguez, Marcano, & Montaña, 2005). Ver tabla 9.

Tabla 11. Concentración de macro y micronutrientes en mg/l presentes en muestras de Jacinto de agua

| Porción | % de peso seco |      |      |      |      | Concentración (mg/l) |       |        |      |
|---------|----------------|------|------|------|------|----------------------|-------|--------|------|
|         | N              | P    | K    | Ca   | Mg   | Zn                   | Cu    | Fe     | Ma   |
| Tallos  | 1,44           | 0,44 | 2,57 | 1,44 | 0,47 | 121                  | 30,5  | 1004,5 | 83   |
| Finos   | 1,4            | 0,09 | 6,35 | 1,93 | 0,49 | 35                   | 22,75 | 67     | 61,8 |

Fuente: Proyecto industrial del Jacinto de agua para la producción de Base de Compost Orgánico (2002). Tomado de (López, 2012).

En el presente trabajo se propone que las plantas macrófitas utilizadas en el trabajo de fitorremediación deberán ser cosechadas cada dos meses y trasladados a un área asignada para lombricultura, en el cual, será tratada por *Eisenia fetida* (lombriz roja californiana o lombriz de tierra) en un proceso de conversión a humus de lombriz que será utilizado en la producción de especies forestales dirigidas a la reforestación de las riberas del río Sin Nombre.



Las lombrices serán colectadas en zonas agrícolas localizadas de la comuna. Las camas o lechos asignadas a la lombricultura serán construida en medidas de 1,0 de ancho x 1,5 metros de largo x 1,75 cm de alto. Se procurara mantener un desnivel de 2 cm por cada metro de largo del lecho o cama y una fosa de 1m<sup>3</sup> (1m x 1m x 1m) para coleccionar hasta 1000 litros de lixiviados de lombriz. Para su construcción se utilizara material de la zona (caña guadua, madera, adobe, caña brava, alambre, estaca, entre otros) y las orillas de la cama mantendrán una hilera o surco de tierra que evitara el desborde y perdida del agua.

La cama deberá ser cubierta a lo largo y ancho por un plástico negro para aislar el vermicompost del suelo y evitar el escape de las lombrices hacia el subsuelo, así como, en la fosa para evitar la pérdida de los lixiviados.

Se añadirán diferente capas de residuos de cosecha y estiércol (ganado y aves), de acuerdo a la disponibilidad de la materia prima considerada en esta propuesta, según se indica a continuación:

Capa 1. Colocar de 5 cm a 7 cm de residuos de cosecha

Capa 2. Añadir no más de 5 cm de tierra negra, composta

Capa 3. Añadir 5 cm de excreta de animales o lodos de la fosa séptica

Capa 4. Incrementar de 5 cm a 7 cm de residuos de cosecha

Capa 5. Añadir 5 a 7 cm del material vegetal (Jacinto de agua) coleccionado en el humedal

Capa 6. Esparcir pie de cría de lombriz californiana

Capa 7. Añadir de 5 a 7 cm de residuos de cosecha, desperdicios orgánicos o el material del humedal. Deben ser bien picados y ubicados sobre la cepa de lombrices para facilitar su degradación.

Además, debe considerarse las siguientes indicaciones:

- Los residuos de cosecha, los desperdicios orgánicos deben ser añadidos cada 4 o 7 días, dependiendo del grosor que tengan y la voracidad de las lombrices para degradarlo. En el caso del material coleccionado en el humedal se añadirá cada 6 meses,

- El riego no muy abundante, debe hacerse una vez aplicada la comida o cada tres o cuatro días, manteniendo una humedad entre un 50 % a un 80%.
- Las camas deben ser cubiertas con una malla sombra para que no produzca deshidratación del vermicompost y por las noches (clima frío) se debe cubrir con plástico para conservar el calor generado durante el día.
- Los lixiviados será dirigidos a la caja de lixiviados.

- **Aprovechamiento de lodos como abono orgánico para especies forestales**

La fosa séptica es un dispositivo para llevar a cabo un tratamiento primario de las aguas residuales. En una fase inicial se separa la materia sólida del agua mediante procesos de decantación y flotación, y posteriormente los lodos sedimentados en el fondo se mineralizan gracias a las reacciones anaerobias que se producen en él. A continuación se detalla el rendimiento (% de eliminación) de algunos parámetros de importancia para determinar la calidad de agua (Escuela de Alcaldes Diputación de Valencia, 2017).

Tabla 12. Porcentaje de rendimiento de remoción de contaminantes en la fosa séptica por parámetros de interés

| <b>Parámetro</b>      | <b>Rendimiento (% de eliminación)</b> |
|-----------------------|---------------------------------------|
| DQ0                   | 30 - 60                               |
| DB0 <sub>5</sub>      | 40                                    |
| Sólidos en suspensión | 50 - 90                               |
| N                     | 0 - 60                                |
| P                     | 0 - 75                                |
| Coliformes fecales    | 10 - 90                               |

Fuente: (Escuela de Alcaldes Diputación de Valencia, 2017).

En el presente caso, los lodos de la fosa séptica deberán ser retirados cada seis meses y trasladados al área asignada para la producción de vermicompost, a fin de ser incluidos en el proceso.

El material orgánico será utilizado en la producción y siembra de especies forestales nativas en las riberas del río Sin Nombre. El área reforestada permitirá contar en un

tiempo futuro con una zona boscosa para disfrute y esparcimiento de la comunidad local y de sectores aledaños, contribuyendo además a la producción de oxígeno, bioconservación de las especies de la zona, y disminuir el impacto al planeta.

### **3.7.1. Ventajas y desventajas de los sistemas alternativos propuestos**

Los tratamientos naturales tienen muchas ventajas relacionadas con la aplicación de plantas de tratamiento convencionales, en cuanto a costos de construcción, operación, mantenimiento, consumo energético, etc. (SENACYT & UTPL, 2010).

### **3.7.2. Compromiso de las entidades de gobierno local y la comunidad**

Para ejecutar acciones que garanticen la preservación de los recursos acuáticos se requiere el aporte de la ciudadanía y las comunidades locales como actores importantes de la gestión participativa de manera conjunta con los programas preventivos planteados por la sociedad civil y grupos de usuarios con reconocimiento jurídico: asociaciones, gobiernos locales, ministerios, ONG y empresas privadas (FAO, 2006).

En este caso, las entidades de gobierno local y la comunidad debe asumir el compromiso cultural y socioambiental de implementar la propuesta planteada y realizar el mantenimiento respectivo al Humedal de flujo libre o superficial (HFL) mediante la eliminación de las especies desarrolladas y muertas, evitando con ello la generación de contaminación por materia orgánica en estado de putrefacción, el consecuente taponamiento de los filtros de ingreso y salida del agua, así como, el incremento de la población de mosquitos.

En este sentido, se realizó una charla en la que se socializó los resultados de la investigación y se motivó el cambio de cultura para la protección y conservación del río y la salud humana de la población

### **3.5.1. Análisis Económico**

Para la técnica planteada en la metodología los costes de financiación, implementación, operación y mantenimiento se estima que son bajos en relación a otras tecnologías que resultan ser costosas, por su efectividad, simplicidad por no

requerir personal altamente capacitado. Para la ejecución de la presente propuesta se ha estimado un costo total de \$ 926,71 en el que se incluye labores de capacitación y cinco años de mantenimiento del humedal, desglosados en la tablas de costos (tabla 10 y tabla 11) enunciadas a continuación:

Tabla 13. Análisis económico para la implementación de la propuesta tecnológica.

| <b>Humedal<br/>Subsuperficial</b>  |              |               |                 |                      |
|--|--------------|---------------|-----------------|----------------------|
| <b>Descripción</b>   | <b>Cant.</b> | <b>Unidad</b> | <b>V.U (\$)</b> | <b>V.T.<br/>(\$)</b> |
| Asesoría técnica   | 1            | unidad        |                 | 230,00               |
| Mano de obra   | 2            | manual        | 150,00          | 300,00               |
| Plántulas  | 500          | unidad        | 0,20            | 100,00               |
| Retroexcavadora  | 3            | hora          | 60,00           | 180,00               |
| Tubería de 6''   | 9            | unidad        | 8,10            | 72,90                |
| Cemento  | 24           | unidad        | 8,50            | 204,00               |
| Arena  | 1            | volquetada    | 75,00           | 75,00                |
| Ripio  | 1            | volquetada    | 85,00           | 85,00                |
| Hierro   | 2            | qq            | 49,50           | 99,00                |
| Zaran  | 60           | metros        | 2,00            | 120,00               |
| Preparación manual del terreno para lombricultura                              | 1            | unidad        | 100,00          | 100,00               |
| Plástico negro (lombricultura)   | 3            | metro         | 1,25            | 4,75                 |
| Material de la zona para la construcción de la infraestructura (lombricultura) |              |               | 100,00          | 100,00               |
| <b>Subtotal</b>  |              |               |                 | <b>1670,65</b>       |
| 10% imprevistos  |              |               |                 | 167,06               |
| <b>Total inversión</b>   |              |               |                 | <b>1837,71</b>       |

Tabla 14. Análisis económico para la ejecución del plan de manejo del humedal y limpieza de la fosa séptica

| Plan de manejo  |   | Unidades | Costo de implementación<br>\$ | Cant. | Total<br>\$    |
|---|---|----------|-------------------------------|-------|----------------|
| Actividad   | Recursos                                  |          |                               |       |                |
| <b>Capacitación y fortalecimiento de la gestión comunitaria</b> | Alquiler de Proyector y uso de computador | Unidad   | 50,00                         | 1     | 50,00          |
|   | Material de papelería,                    | resma    | 4,00                          | 1     | 4,00           |
|   | Movilización                              | Vehículo | 35,00                         | 1     | 35,00          |
| <b>Limpieza y mantenimiento anual 6 veces/año x 5 años</b>      | Manual                                    | Contrato | 4500,00                       | 1     | 4500,00        |
| <b>Limpieza de la fosa séptica (2 veces x año x 5 años)</b>     | Manual                                    | Contrato | 1500,00                       | 1     | 1500,00        |
| <b>Total</b>  |   |          |                               |       | <b>6089,00</b> |

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES:

- El pH, la temperatura y turbiedad del agua del río sin Nombre se mantienen en los niveles aceptables, de acuerdo a los valores establecidos en la legislación ambiental ecuatoriana. Los sólidos suspendidos, oxígeno disuelto, coliformes fecales y coliformes totales no cumplen con los límites máximos permisibles por el TULSMA.
- El caudal, ancho y la profundidad del río Sin Nombre presentaron un ligero incremento durante los meses de junio, julio y agosto del 2017, con descensos moderados en la velocidad media.
- La valoración de impacto ambiental en la zona de estudio identificó afectación a la calidad del agua superficial, especies bioacuáticas y la salud humana, las cuales son originadas principalmente por el direccionamiento de la fosa séptica al río, la disposición de desechos en zonas aledañas y la actividad humana que realiza la población en el río.
- Se diseñó un sistema alternativo de tratamiento de aguas servidas en la comuna San Gabriel del Baba, consistente en un Humedal de flujo libre o superficial (HFL) mediante la utilización del Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*) y el aprovechamiento de material vegetal y el lodo de la fosa séptica para la elaboración de vermicompost con el uso de *Eisenia fétida* (lombriz roja californiana).

**RECOMENDACIONES:**

- Realizar charlas de capacitación a la comunidad para informar sobre la calidad del agua del río Sin Nombre y los impactos ambientales generados a su entorno y la actividad antrópica de los pobladores de la comuna San Gabriel del Baba.
- Implementar la propuesta del sistema alternativo de tratamiento de aguas servidas en la comuna San Gabriel del Baba mediante la utilización del Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*), por ser una estrategia de biorremediación accesible, de bajo costo y de fácil implementación, la cual permite adicionalmente utilizar el material vegetal para la elaboración de vermicompost, alimentación de cerdos y reforestación de las riberas del río Sin Nombre.

## BIBLIOGRAFÍA

- ANDES. (5 de Febrero de 2017). *Ecuador espera eliminar hasta el 2017 los botaderos a cielo abierto*. Obtenido de <http://www.andes.info.ec/es/noticias/ecuador-espera-eliminar-hasta-2017-botaderos-desechos-cielo-abierto.html>
- Antequera Baiget, J. (2012). PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL ANÁLISIS DE LA SOSTENIBILIDAD REGIONAL,. En *CAPÍTULO 7 ESTUDIO DE CASO: LA REGIÓN DE SANTO DOMINGO DE LOS COLORADOS (TSÁCHILAS) - ECUADOR* (pág. 169). Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- APHA, AWWA, & WEF. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. USA: 21 edition.
- Arango Ruíz, Á. (2004). La biofiltración, una alternativa para la potabilización del agua. *Revista Lasallista de Investigación, Vol. 1. No. 2* , 61-66.
- Arboleda Valencia, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Santa Fe de Bogotá: Mc Graw Hill, Tomo 2, 793 pp.
- Arrieta, G. (2002). Obtenido de Calidad del agua en Colombia. Superintendencia de Servicios Públicos. Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud/Colombia: <http://www.col.ops-oms.org/DIAA/2002/COLOMBIA.pdf>
- Benítez, J. (2012). *Repositorio de la Pontificada Universidad Católica*. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/7090/6.H07.001289.pdf?sequence=4>
- Bermeo Castillo, L. E., & Santín Torres, J. L. (2010). Estudio, diseño y selección de la tecnología adecuada para tratamiento de aguas residuales domésticas en poblaciones menores a 2000 habitantes en la ciudad de Gonzanamá. Loja, Loja, Ecuador: Universidad Técnica Particular de Loja.



- Cando, C. (2014). *AME-INEC*. Obtenido de file:///C:/Users/usuario/Downloads/Documento%20tecnico%20de%20resultados%20GIRS%202014.pdf
- Carvalho, F., Prazeres, A. R., & Rivas, J. (2012). *Cheese whey wastewater*. Badajoz : Science of the total Environment.
- Castillo, E., Lizama, C., Méndez, R., J., G., Espadas, A., & Pat, R. (2011). *Tratamiento de efluentes de fosas sépticas por el proceso de lodos activados*. Mérida, México: Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal.
- Celis Hidalgo, J., Junod Montano, J., & Sandoval Estrada, M. (2005). Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas. *Theoria*, Vol. 14, NO. 1 pp. 17'25.
- Chassany de Casabianca, M.-L. (1985). *Eichhornia crassipes*: Production in repeated harvest systems on waste water in the Languedoc Region (France). *Biomass*, Vol. 7, Issue 2. Pp. 135-160.
- Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. McGraw-Hill.
- Deniz Quintana, F. A. (Febrero de 2010). Análisis estadístico de los parámetros DQO, SBO5 y SS de las aguas residuales urbanas en el ensuciamiento de las membranas de ósmosis inversa. Las Palmas, Gran Canaria, España: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- EMAPS. (2014). *Empresa Metropolitana de Agua Potable Y Saneamiento*. Obtenido de Planta de Tratamiento de Agua Potable Paluguillo al servicio de las Parroquias Nororientales: <http://www.aguaquito.gob.ec/nueva-planta-de-tratamiento-de-aguapotable-paluguillo-al-servicio-de-las-parroquias-nororientales>
- Encino Rojas, E., & Rojas Hernandez, C. A. (2015). Cálculo del caudal del río Cauca en la estación Tres Cruces y cálculo del caudal del río Vichada en la estación

de Santa Rita por el método de la máxima entropía. Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Escuela de Alcaldes Diputación de Valencia. (20 de Agosto de 2017). *Manual sobre depuración en pequeños municipios en la provincia de Palencia*. Obtenido de <http://www.diputaciondelencia.es/system/files/publicacion-pdf/20160621/>

FAO. (2006). *Un nuevo enfoque de gestión de cuencas hidrográficas*. Obtenido de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a0644s/a0644s09.pdf>

Fernández González, J. (30 de Octubre de 2017). *Manual de fitodepuración. Filtros de macrófitas en flotación*. Obtenido de Proyecto Life Amb.: <https://www.fundacionglobalnature.org/macrophytes/documentacion/Cap%EDtulos%20Manual/Cap%EDtulos%201%20a%202.pdf>

Fernández, J. (2000). *Manual de fitodepuración. Filtros de macrófitas en flotación*. Antioquia, Colombia: Proyecto Life Ambiental.

Forero, A., & Reinoso, G. (2013). Evaluación de la calidad del agua del río OPIA (TOLIMA-COLOMBIA) mediante macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos. *CALDASIA*, 20.

Fox, J., & Harvey, R. (1973). Nutrient removal using lemna minor. *Water Pollution Control Federation*, 1928-1938.

García Galarza, G. E. (2016). Diseño de un Biodigestor para el mejoramiento de aguas residuales en la parroquia de Tumbaco ejemplificado en los barrios de Tola Chica, Tola Grande y Santa Rosa. Quito, Pichincha, Ecuador: Universidad San Francisco de Quito USFQ .

García Lastra, A. A. (2009). Analisis de factibilidad técnica y económica de sistemas de tratamiento de aguas servidas para localidades rurales de la región Antofagasta. Zonas costeras y altioplánicas. Santiago de Chile, Chile: Universidad de Chile.

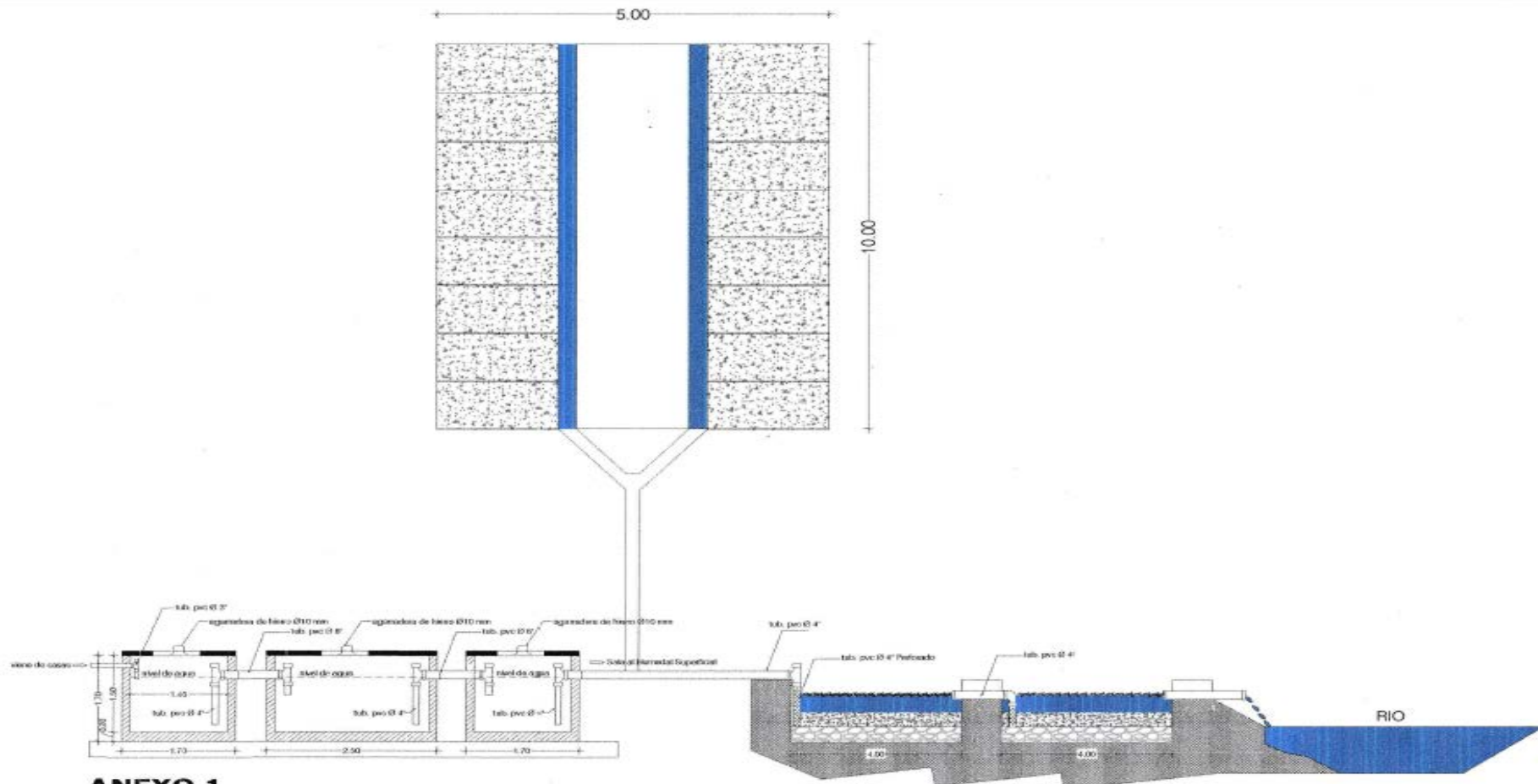
- INEC. (11 de Diciembre de 2015). *Instituto Nacional de Estadística y Censos*. Obtenido de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/los-ecuatorianos-producen-057-kilogramos-de-residuos-solidos-diario/>
- INTA. (2011). *Protocolo de Muestreo, Transporte y Conservación*. Obtenido de [http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-protocolo\\_de\\_muestreo\\_de\\_aguas\\_inta.pdf](http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-protocolo_de_muestreo_de_aguas_inta.pdf)
- Jaramillo, M., & Flores, D. (2012). Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales *Lemma minor* (Lenteja de agua) y *Eichornia crassipes* (Jacinto de agua) en aguas residuales de la actividad minera. Cuenca, Azuay, Ecuador: Universidad de Cuenca.
- Kadlec, R., & Knight, R. (1996). *Treatment Wetlands*. CRC Press. *Lewis Publishers, Boca Ratón, FL*.
- López Jerves, D. N. (10 de Noviembre de 2012). Aprovechamiento del lechugin (*Eichhornia crassipes*) para la generación de abono orgánico mediante la utilización de tres diseños diferentes de biodigestores. Cuenca, Azuay, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.
- MAE. (Abril de 2010). *Ministerio del Ambiente*. Obtenido de Ministerio del ambiente: <http://www.ambiente.gob.ec/programa-pngids-ecuador/#>
- Martelo, J., & Lara Borrero, J. A. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; una revisión del estado del arte. *Ingeniería y Ciencia*, Vol. 8, No. 15. pp. 221-243.
- Metcalf, & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. New York, EE.UU.: McGraw Hill.
- Ministero de Agricultura, alimentación y Medo Ambiente del Gobierno de España. (15 de Agosto de 2017).
- Montaño, N. M. (Agosto de 2015). Biorrediación de suelos y aguas. *Revista Internacional de contaminación ambiental*, Vol. 31 No. 2.

- Munn, M., Waite, I., Larsen, D., & Herlihy, A. (2009). The relative influence of geographic location and reachscale habitat on benthic invertebrate assemblages in six ecoregions. *Environ Monit Assess*, 1-14.
- Noyola, A., Morgan-Sagastume, J. M., & Güereca, L. P. (2013). Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. México, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ortega, H., Chocano, L., Palma, C., & Samanez, L. (2010). Biota acuática en la Amazonia Peruana: diversidad y usos como indicadores ambientales en el Bajo Urubamba (Cusco – Ucayali). *Rev. Peri. Biol.* 17, 29-35.
- Oswald, U. (2011). *Retos de la investigación del agua en México*. México.
- Peña Merdalet, E. (2016). Evaluación de impacto ambiental en el plano de inundación del río "Yara" en el tramo urbano del municipio "Yara". *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, Vol. 4, No. 1, 13 pp.
- Ramalho. (1993). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Barcelona: Reverte S.A.
- Ramón, J. A., León, J. A., & Néilson, C. (2015). Diseño de un sistema alternativo para el tratamiento de aguas residuales urbanas por la técnica de lombrifiltros utilizando la especie *Eisenia foetida*. *Mutis*, 46-54.
- Riofrío Páz, M. A. (2016). Actividades productivas contaminantes y sus efectos ambientales en la cuenca baja del río verde-Esmeraldas, hasta la desembocadura en el Océano Pacífico. Esmeraldas, Esmeraldas, Ecuador: Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
- Rodríguez Pérez, d. A., & Díaz Marrero, M. G. (31 de Octubre de 2017). *Acción depuradora de algunas plantas acuáticas sobre las aguas residuales*. Obtenido de <http://www.ingenieroambiental.com/info/aguas.pdf>: <http://www.ingenieroambiental.com/info/aguas.pdf>
- Rodríguez R., J. C., Marcano C., Á. E., & Montaña, N. (2004). Caracterización química del compostaje Nutribora y su uso combinado con un fertilizante comercial. *Interciencia*, Vo. 29, No. 5.

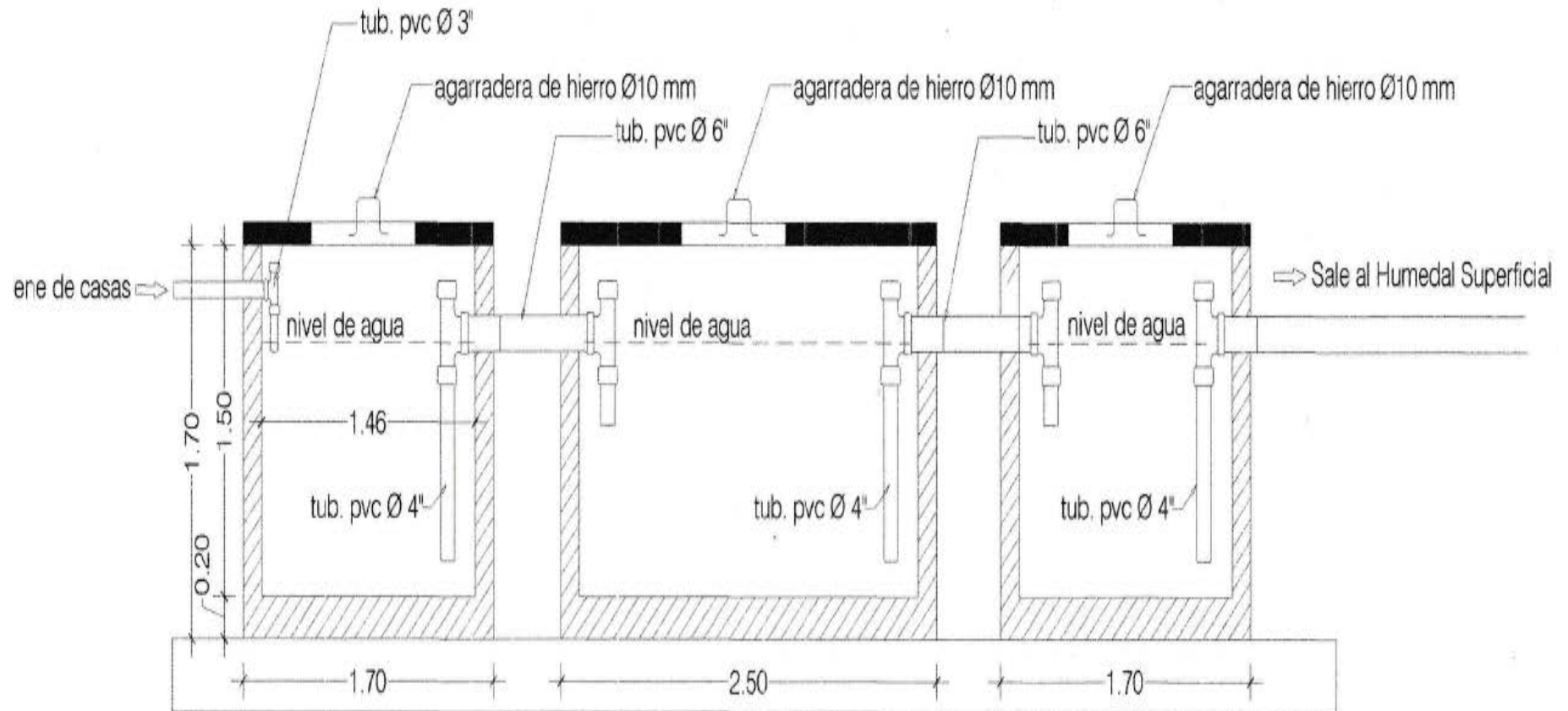
- Rodríguez Reyes, J. C., Marcano Cumana, Á. E., & Montaña, N. (2005). Rendimiento del pimentón en respuesta al comst nutribora combinado con un fertilizante mineral y a diferentes distancias de siembra. *Agronomía Tropical*, Vol 5, No. 3.
- Rodríguez-Tapia, L., & Morales-Novelo, J. A. (2012). Evaluación socioeconómica de daños ambientales por contaminación del río Atoyac en México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, Vol. III, Numero especial TYca-retac, 143-151.
- Roldán, G. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia*. Antioquia: Editorial Universidad de Antioquia. Obtenido de Propuesta para el uso del método BMWP/Col: <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/5046/1/DETERMINACION%20DE%20LA%20CALIDAD%20DEL%20AGUA%20DEL%20R%20C3%8DO%20MALACATOS.pdf>
- Romero-Aguilar, M. C.-C., Sánchez-Salina, E., & Ortiz-Hernández, M. L. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista Internacional Contaminación Ambiental*, Vo. 25, No. 3, 12 pp.
- Rosales, C. (2000). Países con Aguas Más Contaminada. En forma, No. 6.
- Sáenz, N., Terrazas, M., Ortiz, L., Villavicencio, M., Figueroa, A., & Arce, M. (2008). Evaluación de dos parámetros bioquímicos en tres macrófitas acuáticas expuestas a cobre. *Polibotánica*, Vol. 26, pp. 149-158.
- Sanchez Herrera, M. J. (2005). El índice biológico BMWP ( Biological Monitoring Party score), modificado y adaptado al cauce principal del río pamplonita norte de Santander. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 54-67.
- Scalley, H., & Aide, T. M. (2003). Riparian vegetation and stream condition n a tropical agriculture - secondary forest mosaic. *Ecological Applications*, 13, 225-234.

- SENACYT, & UTPL. (2010). *Guía para la selección de tecnologías de depuración de aguas residuales por métodos naturales*. Loja: Universidad Técnica Particular de Loja.
- Silva, J., Torres, P., & Madera, C. (2008). Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 26(2), 347-359. Recuperado el 29 de mayo de 2017, de <http://www.redalyc.org/pdf/1803/180314732020.pdf>
- Sotil Rivera, L. E., & Flores Vásquez, H. I. (2016). Determinación de parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del contenido de las aguas del río Mazán-Loreto, 2016. Iquitos, Perú: Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.
- SRS. (2010). *Centro de Gestión de Residuos*. Obtenido de Centro de Gestión de Residuos : <http://www.cpeo.org/techtree/ttdescript/phytrem.htm>
- Stroud. (2010). *Water Research Center*. Obtenido de [http://www.leafpacknetwork.org/lpn/resources/manual/spanish/6\\_PeruMacrosColorPhotoID.pdf](http://www.leafpacknetwork.org/lpn/resources/manual/spanish/6_PeruMacrosColorPhotoID.pdf)
- Valencia Delfa, J. L. (2007). Estudio estadístico de la calidad de las aguas en la cuenca hidrográfica del río Ebro. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Verd, J. (2000). Recursos para las CTMA: La matriz de Lepold, un instrumento para analizar noticias de prensa de temática ambiental. *Enseñanzas de las ciencias de la Tierra*, 239-246.
- Villa Achupallas, M. A. (30 de noviembre de 2011). Evaluación de la calidad del agua en la subcuenca del río Yacuambi. Propuestas de tratamiento y control de la contaminación,. Cadiz, España: Universidad de Cádiz.

## Anexo 1. Sistema alternativo de tratamiento de aguas residuales. Comuna San Gabriel Del Baba

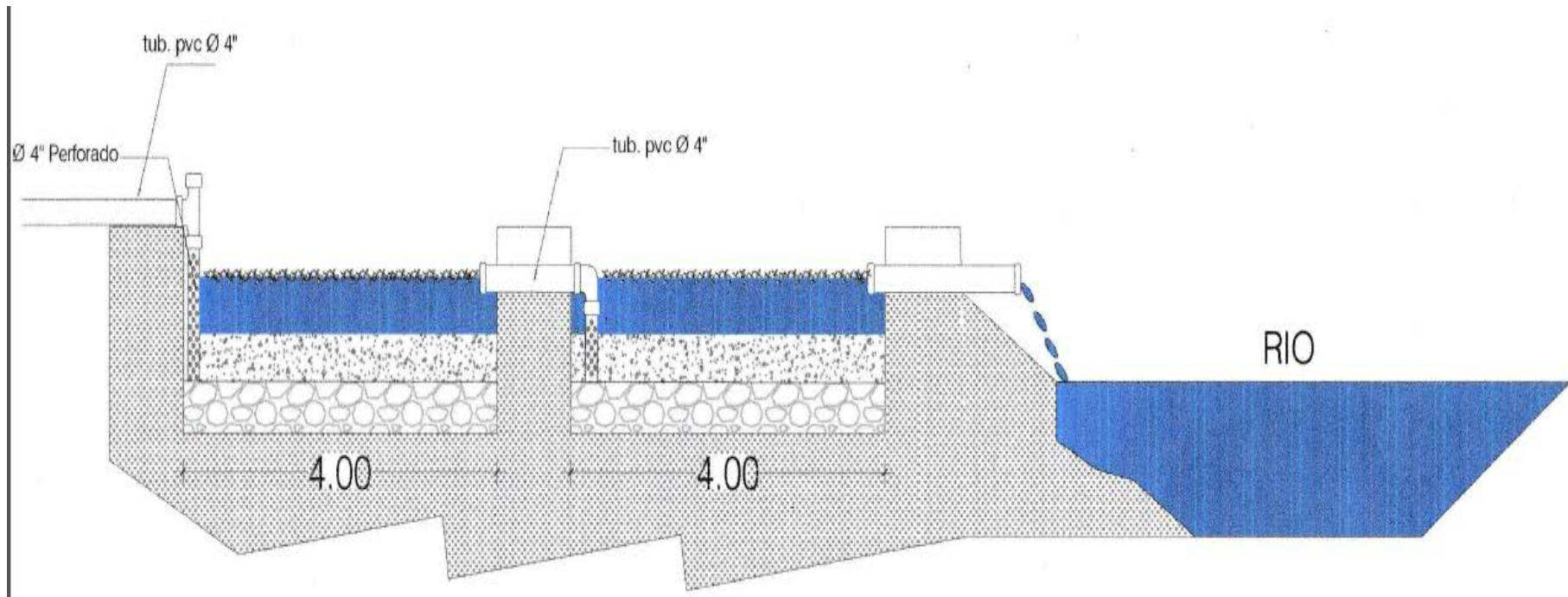


**ANEXO 1.**  
**SISTEMA ALTERNATIVO DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS**

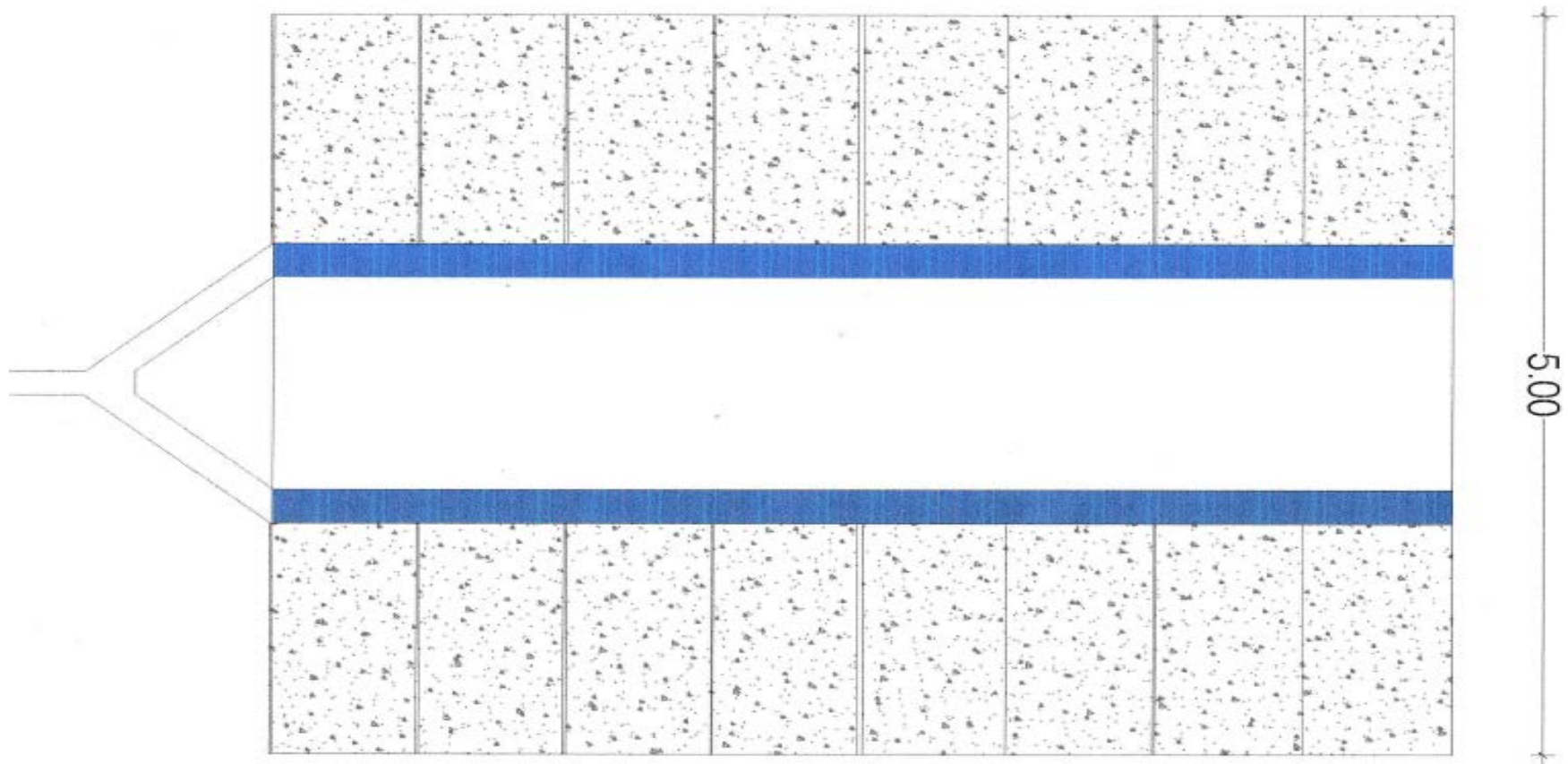
**Anexo 2. Fosa séptica. Sistema alternativo de tratamiento de aguas residuales de la Comuna San Gabriel del Baba**



**Anexo 3. Humedal de Flujo Libre o Superficial (HFL). Sistema alternativo de tratamiento de aguas residuales de la Comuna San Gabriel del Baba**



**Anexo 4. Área de Lombricultura. Sistema alternativo de tratamiento de aguas residuales de la Comuna San Gabriel del Baba**



**Anexo 5. Resumen de criterios de calidad admisibles para descarga a un cuerpo de agua dulce, consumo humano, preservación de la flora y fauna en aguas dulce y uso agrícola.**

| Parámetros                     | Expresados Como                      | Unidad             | LMP-<br>Descarga a un cuerpo de agua dulce          | CRITERIOS DE CALIDAD                                     |   |   |                           |
|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------|---|--|---|---|---------------------------|
|                                |                                      |                    |   | Consumo humano y doméstico<br>(Tratamiento convencional) | Preservación vida acuática                  | Preservación flora y fauna                          | Aguas para riego agrícola |
| Potencial de Hidrógeno         | pH                                   |                    | 6,0 – 9,0**   | 6,0 – 9,0**  | 6,5 – 9,0**                                 |   | 6,0 – 9,0**               |
| Temperatura*                   | °C                                   |                    | <35**   | Condición Natural + o – 3 grados*                        |   | Condiciones naturales+3                             | -                         |
| Turbiedad                      | Unidades nefelométricas de turbiedad | UTN                | -   | 100*   | -   |   | -                         |
| Demanda Biológica de Oxígeno 5 | D.B.O <sub>5</sub>                   | mg.L <sup>-1</sup> | 100**   | <2**   | 20,0**                                      |   | -                         |
| Demanda Química de Oxígeno     | D.Q.O                                | mg.L <sup>-1</sup> | 200**   | <4**   | 40,0**                                      |   | -                         |
| Oxígeno disuelto*              | O.D.                                 | mg.L <sup>-1</sup> | No menor al 80% y no menor a 6 mg.L <sup>-1</sup> * | No menor al 80% y no menor a 6 mg.L <sup>-1</sup> *      | -   | No menor al 60% y no menor a 6 mg.L <sup>-1</sup> * | 3                         |
| Sólidos Totales                |                                      | mg.L <sup>-1</sup> | 1600  | 1000*  | Máx. incremento 10% de la condición natural |   | -                         |
| Sólidos Suspendidos            |                                      | mg.L <sup>-1</sup> | 100   | -  |   |   | -                         |

|                    |                 |                    |                    |                    |                   |                  |                    |
|--------------------|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|------------------|--------------------|
| Sulfatos           |                 | mg.L <sup>-1</sup> | 1000 <sup>**</sup> | 400 <sup>*</sup>   | 1000 <sup>*</sup> |                  | -                  |
| Fosfatos           |                 | mg.L <sup>-1</sup> | 10 <sup>*</sup>    | -                  | -                 |                  | -                  |
| Nitratos           | NO <sub>3</sub> | mg/l               | 10,0 <sup>*</sup>  | 50,0 <sup>**</sup> | 13 <sup>**</sup>  |                  | -                  |
| Coliformes fecales | NMP             | NMP/100ml          | 2000 <sup>**</sup> | 1000 <sup>**</sup> | -                 | 200 <sup>*</sup> | 1000 <sup>**</sup> |
| Coliformes totales | NMP             | NMP/100ml          | 20000 <sup>*</sup> | 3000 <sup>*</sup>  | -                 |                  | -                  |

\* TULSMA de enero del 2015

\*\*TULSMA 097 Noviembre 2015

**Anexo 6. Resultados de los análisis de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos**

| Fecha      | No Muestras | Parámetros físicos |            |             | Parámetros químicos |                   |            |                         |               |             |              | P. Microbiológicos |                  |
|------------|-------------|--------------------|------------|-------------|---------------------|-------------------|------------|-------------------------|---------------|-------------|--------------|--------------------|------------------|
|            |             | pH                 | TEMP. (°C) | TURB. (NTU) | SÓL. TOT. mg.L-1    | SÓL. SUSP. mg.L-1 | DQO mg.L-1 | DBO <sub>5</sub> mg.L-1 | O.DIS. mg.L-1 | NIT. mg.L-1 | FOSF. mg.L-1 | C.TOT. NMP. ml-1   | C.FEC. NMP. ml-1 |
| 15/06/2017 | M1          | 6,19               | 35,6       | 37,2        | 800                 | 600               | 22,21      | 7,53                    | 3,9           | 0,02        | 0,34         | 2400               | 2400             |
|            | M2          | 6,74               | 35         | 2,6         | 400                 | 255               | 109,54     | 1,84                    | 1,53          | 0,10        | 0,6          | 2400               | 2400             |
|            | M3          | 6,64               | 35,2       | 4,58        | 200                 | 100               | 25,5       | 3,14                    | 2,95          | 0,03        | 0,36         | 2400               | 2400             |
| 30/06/2017 | M1          | 6,75               | 35,5       | 38,2        | 800                 | 500               | 157,32     | 4,05                    | 0,273         | 0,03        | 4,23         | 2400               | 2400             |
|            | M2          | 6,8                | 35         | 2,51        | 300                 | 200               | 140,85     | 2,39                    | 1,369         | 0,01        | 0,36         | 2400               | 2400             |
|            | M3          | 7,1                | 35         | 3,68        | 200                 | 185               | 137,55     | 2,19                    | 1,027         | 0,11        | 0,68         | 2400               | 2400             |
| 15/07/2017 | M1          | 6,81               | 38         | 89          | 600                 | 450               | 322,1      | 5,36                    | 0,753         | 0,02        | 5,36         | 2400               | 2400             |
|            | M2          | 6,92               | 37         | 1,94        | 250                 | 200               | 144,14     | 2,49                    | 1,712         | 0,01        | 0,33         | 2400               | 2400             |
|            | M3          | 7,06               | 35         | 4,9         | 100                 | 90                | 154,03     | 2,28                    | 1,575         | 0,10        | 0,7          | 2400               | 2400             |
| 30/07/2017 | M1          | 6,89               | 22,6       | 63,9        | 400                 | 350               | 219,94     | 7,57                    | 0,342         | 0,01        | 6,65         | 2400               | 2400             |
|            | M2          | 6,85               | 21,8       | 1,74        | 300                 | 290               | 38,69      | 3,13                    | 1,369         | 0,01        | 0,2          | 2400               | 2400             |
|            | M3          | 6,77               | 21,1       | 2,5         | 250                 | 166               | 200,17     | 2,05                    | 1,027         | 0,09        | 0,48         | 2400               | 2400             |

|            |    |      |      |       |     |     |        |      |      |      |      |      |      |
|------------|----|------|------|-------|-----|-----|--------|------|------|------|------|------|------|
| 15/08/2017 | M1 | 6,55 | 37   | 46,74 | 850 | 667 | 229,94 | 6,57 | 0,32 | 0,01 | 6,65 | 2400 | 2400 |
|            | M2 | 7,07 | 36,9 | 3,07  | 300 | 250 | 36,49  | 3,09 | 1,56 | 0,02 | 0,2  | 2400 | 2400 |
|            | M3 | 7,08 | 21   | 2,5   | 150 | 100 | 210,27 | 2,07 | 1,2  | 0,1  | 0,43 | 2400 | 2400 |
| 30/08/2017 | M1 | 6,95 | 37   | 36,55 | 340 | 255 | 300,66 | 5,13 | 3,06 | 0,42 | 5,43 | 2400 | 2400 |
|            | M2 | 7,1  | 36,9 | 2,42  | 550 | 455 | 193,58 | 1,57 | 0,82 | 0,32 | 0,73 | 2400 | 2400 |
|            | M3 | 6,55 | 35   | 2,2   | 200 | 150 | 203,46 | 4,93 | 2,47 | 0,34 | 1,02 | 2400 | 2400 |

pH (Potencial de Hidrógeno), Temp (Temperatura), Turb. (Turbidez), Sól.Tot. (Sólidos Totales), Sól Susp, (Sólidos Suspendidos), DQO (Demanda Química de Oxígeno), DBO<sub>5</sub> (Demanda Biológica de Oxígeno), O.Dis. (Oxígeno Disuelto), Nit.) Nitratos), Fosf. (Fosfatos), C.Tpt. (Coliformes Totales), C.Fec. (Coliformes Fecales)