



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

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

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

**ALTERNATIVAS PARA LA RECUPERACIÓN DEL RÍO CHILA
GRANDE MEDIANTE LA CARACTERIZACIÓN DE LOS
SÓLIDOS**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE
INGENIERA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES**

GINA CECILIA VILLAVICENCIO LEYTON

DIRECTOR: ING. RICARDO PAÚL GONZÁLEZ DÁVILA, MC.

Santo Domingo, Julio 2018

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

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1726250721
APELLIDO Y NOMBRES:	Villavicencio Leyton Gina Cecilia
DIRECCIÓN:	Av. Esmeraldas y Guayaquil
EMAIL:	ginacv1994@hotmail.com
TELÉFONO FIJO:	0939408522
TELÉFONO MÓVIL:	0939408522

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Alternativas para la recuperación del río Chila Grande mediante la caracterización de los sólidos
AUTOR O AUTORES:	Villavicencio Leyton Gina Cecilia
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	26 de julio de 2018
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	González Dávila Ricardo Paúl
PROGRAMA	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Ambiental y Manejo de Riesgos Naturales
RESUMEN: Mínimo 250 palabras	<p>El objetivo general fue definir una alternativa de recuperación del río Chila Grande mediante la caracterización de los sólidos orgánicos e inorgánicos. Para el muestreo se escogió un solo punto de donde se tomaron las muestras por un periodo de dos meses en época lluviosa (abril y mayo 2018), una vez por semana.</p> <p>Se establecieron tres métodos para el muestreo de sólidos orgánicos e inorgánicos, donde el mejor método fue de sedimentación con la construcción de una piscina donde se recogió el agua del río y se obtuvo de 0,008 g L-1 de sólido seco. Los resultados de laboratorio arrojaron datos respecto al contenido de materia orgánica la cual se encuentra en un rango de 2,5% a 13,02 %; y materia inorgánica de 86,98% a 97,50%. A estos parámetros analizados se adicionaron los análisis de sólidos totales, cuyo rango de concentración fue de 76 mg L-1 a 586 mg L-1 y sólidos disueltos de 38</p>

	<p>mg L-1 a 456 mg L-1; que no se encuentran establecidos en la normativa ambiental vigente a excepción de los sólidos disueltos, los mismos que cumplen con el límite máximo permisible. De acuerdo a los resultados se propone la aplicación de un sedimentador y de un humedal artificial con las especies <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Lemna minor</i>, las cuales se caracterizan por su adaptabilidad a ambientes contaminados, como aguas residuales, disminuyendo los niveles de sólidos suspendidos, materia orgánica, DBO, metales pesados, entre otros; así mismo la reforestación de las orillas del río con <i>Guadua angustifolia</i> para mantener el caudal del río y proteger las orillas de la erosión.</p>
<p>PALABRAS CLAVES:</p>	<p>Humedal, río Chila Grande, <i>Lemna minor</i>, <i>Eichhornia crassipes</i>, <i>Guadua angustifolia</i>.</p>
<p>ABSTRACT:</p>	<p>The general objective was to define an alternative to recover the Chila Grande river by characterizing organic and inorganic solids. For the sampling, a single point was chosen from where the samples were taken for a period of two months in the rainy season (April and May 2018), once a week.</p> <p>Three methods were established for the sampling of organic and inorganic solids, where the best method was sedimentation with the construction of a pool where the river water was collected and 0.008 g L-1 of dry solid was obtained. The laboratory results showed data regarding the content of organic matter which is in a range of 2.5% to 13.02%; and inorganic matter from 86.98% to 97.50%. To these analyzed parameters were added the total solids analysis, whose concentration range was 76 mg L-1 to 586 mg L-1 and dissolved solids of 38 mg L-1 to 456 mg L-1; which are not established in the current environmental regulations except for dissolved solids, which comply with the maximum permissible limit. According to the results, the application of a settler and an artificial wetland with the species <i>Eichhornia crassipes</i> and <i>Lemna minor</i> is proposed, which are characterized by their adaptability to contaminated environments, such as</p>

	wastewater, lowering the levels of suspended solids, organic matter, BOD, heavy metals, among others; likewise the reforestation of the banks of the river with <i>Guadua angustifolia</i> to maintain the flow of the river and protect the banks of the erosion.
KEYWORDS	Wetland, Chila Grande river, <i>Lemna minor</i> , <i>Eichhornia crassipes</i> , <i>Guadua angustifolia</i> .

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



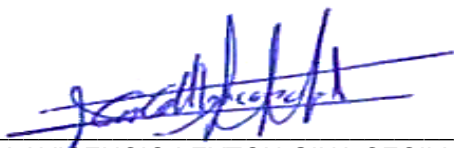
f: _____
VILLAVICENCIO LEYTON GINA CECILIA
CI: 1726250721

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **VILLAVICENCIO LEYTON GINA CECILIA**, CI 1726250721 autor/a del proyecto titulado: **Alternativas para la recuperación del río Chila Grande mediante la caracterización de los sólidos** previo a la obtención del título de **Ingeniera Ambiental y Manejo de Riesgos Naturales** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

- I. 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.
- II. 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, 26 de julio de 2018

f: 
VILLAVICENCIO LEYTON GINA CECILIA
CI: 1726250721

DECLARACIÓN

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

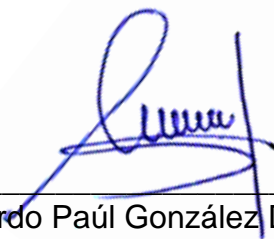
La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



VILLAVICENCIO LEYTON GINA CECILIA
CI: 1726250721

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**Alternativas para la recuperación del río Chila Grande mediante la caracterización de los sólidos**”, que, para aspirar al título de **Ingeniera Ambiental y Manejo de Riesgos Naturales** fue desarrollado por **Gina Cecilia Villavicencio Leyton**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19, 27 y 28.



Ing. Ricardo Paúl González Dávila, *MC.*
DIRECTOR DEL TRABAJO
Cl. 1103586762

DEDICATORIA

El presente lo dedico en primer lugar a mis padres Lupo y Petita ya que gracias a su apoyo incondicional a lo largo del transcurso de mis estudios, por estar pendientes de mí en todo el proceso de mi formación tanto profesional como personal.

A mis hermanos y familiares que siempre estuvieron haciéndose presentes con su apoyo y cariño contribuyendo con su granito de arena para que yo logre cumplir mi sueño.

Y a todas las personas que creyeron y depositaron su confianza en mí.

Gina Villavicencio

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida, por permitirme llegar hasta donde he llegado, por estar siempre presente en los momentos más difíciles y felices de mi vida, por todas sus bendiciones y lecciones, y en fin por amarme infinitamente.

A mis padres por su apoyo incondicional, consejos, entrega, amor y confianza depositada en mí. Gracias a sus esfuerzos y sacrificios que han servido para poder decirles: Lo logré!

A mis tíos y hermanos por su apoyo en todo momento, porque estuvieron presentes cuando más los necesité, y sus consejos a lo largo de toda mi vida.

A mis amigos, personas que en el camino llegaron a mi vida para llenarla de alegrías, experiencias, gracias por su apoyo, consejos, y por su amistad sincera y desinteresada.

A mi director de tesis el Ing. Paúl González, por su dedicación y apoyo incondicional y guía con sus conocimientos para que la realización de éste trabajo se haga realidad.

A las ingenieras Judith García y Elsa Burbano por sus consejos y apoyo con sus conocimientos en la elaboración del presente trabajo.

A la UTE por brindarme la oportunidad de que yo me pueda formar como una profesional.

A todos ustedes muchas gracias por creer en mí...

Gina Villavicencio

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCION	3
2. CONTENIDO TÉCNICO	5
2.1 LOCALIZACIÓN	5
2.2 METODOLOGÍA	6
2.2.1 RECONOCIMIENTO DEL ÁREA Y DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO	7
2.2.2 DETERMINACIÓN DE MÉTODOS DE MUESTREO.....	7
2.2.3 TOMA DE MUESTRAS.....	9
2.2.3.1 Muestreo de sólidos totales y sólidos disueltos del agua	9
2.2.4 ANÁLISIS DE LABORATORIO	9
2.3 PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	10
2.3.1 DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA EN LAS MUESTRAS DE SÓLIDOS.....	10
2.3.2 CUANTIFICACIÓN DE SÓLIDOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS.....	11
2.3.3 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL.....	11
3. RESULTADOS	12
3.1 DIAGNÓSTICO	12
3.1.1 SELECCIÓN DEL MÉTODO DE MUESTREO	12
3.1.2 DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES.....	13
3.1.3 DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS DISUELTOS.....	13
3.1.4 DETERMINACIÓN DEL TIPO DE SÓLIDOS (ORGÁNICOS E INORGÁNICOS)	14
3.1.5 VARIACIÓN TEMPORAL DE LOS SÓLIDOS.....	15
3.1.6 CAUDAL DEL RÍO CHILA GRANDE	16
3.2 PROPUESTA TECNOLÓGICA	16
3.2.1 SEDIMENTADOR	16
3.2.2 HUMEDAL ARTIFICIAL	16
3.2.2.1 Jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>).....	17
3.2.2.2 Lenteja de agua (<i>Lemna minor L.</i>).....	18
3.2.2.3 Caña guadua (<i>Guadua angustifolia K.</i>)	18
3.2.3 DISEÑO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.....	19
3.3 ANÁLISIS ECONÓMICO.....	22
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	24
REFERENCIAS	25

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Técnicas generales para la conservación de muestras –análisis físico-químico.....	9
Tabla 2.	Métodos de análisis de parámetros fisicoquímicos del agua en el laboratorio	10
Tabla 3.	Presupuesto de instalación de la propuesta	23

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Localización del punto de muestreo	6
Figura 2.	Esquema general del proceso de caracterización de los sólidos del agua del río Chila Grande	7
Figura 3.	Piscina de recolección de agua	8
Figura 4.	Comparación de métodos de muestreo de sólidos del agua del río Chila Grande.....	12
Figura 5.	Variación de la concentración de sólidos totales en el río Chila Grande.....	13
Figura 6.	Variación de la concentración de sólidos disueltos en el río Chila Grande.....	14
Figura 7.	Variación de la concentración de sólidos orgánicos e inorgánicos del agua del río Chila Grande.....	15
Figura 8.	Variación temporal de sólidos totales y disueltos del agua del río Chila Grande	15
Figura 9.	Diagrama de flujo del sistema de propuesta de recuperación del río Chila Grande.....	20
Figura 10.	Esquema de obra de captación para el tratamiento de agua del río Chila Grande.	21

RESUMEN

El objetivo general fue definir una alternativa de recuperación del río Chila Grande mediante la caracterización de los sólidos orgánicos e inorgánicos. Para el muestreo se escogió un solo punto de donde se tomaron las muestras por un periodo de dos meses en época lluviosa (abril y mayo 2018), una vez por semana.

Se establecieron tres métodos para el muestreo de sólidos orgánicos e inorgánicos, donde el mejor método fue de sedimentación con la construcción de una piscina donde se recogió el agua del río y se obtuvo de $0,008 \text{ g L}^{-1}$ de sólido seco. Los resultados de laboratorio arrojaron datos respecto al contenido de materia orgánica la cual se encuentra en un rango de 2,5% a 13,02 %; y materia inorgánica de 86,98% a 97,50%. A estos parámetros analizados se adicionaron los análisis de sólidos totales, cuyo rango de concentración fue de 76 mg L^{-1} a 586 mg L^{-1} y sólidos disueltos de 38 mg L^{-1} a 456 mg L^{-1} ; que no se encuentran establecidos en la normativa ambiental vigente a excepción de los sólidos disueltos, los mismos que cumplen con el límite máximo permisible. De acuerdo a los resultados se propone la aplicación de un sedimentador y de un humedal artificial con las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*, las cuales se caracterizan por su adaptabilidad a ambientes contaminados, como aguas residuales, disminuyendo los niveles de sólidos suspendidos, materia orgánica, DBO, metales pesados, entre otros; así mismo la reforestación de las orillas del río con *Guadua angustifolia* para mantener el caudal del río y proteger las orillas de la erosión.

Palabras claves: Humedal, río Chila Grande, *Lemna minor*, *Eichhornia crassipes*, *Guadua angustifolia*.

ABSTRACT

The general objective was to define an alternative to recover the Chila Grande river by characterizing organic and inorganic solids. For the sampling, a single point was chosen from where the samples were taken for a period of two months in the rainy season (April and May 2018), once a week.

Three methods were established for the sampling of organic and inorganic solids, where the best method was sedimentation with the construction of a pool where the river water was collected and 0.008 g L⁻¹ of dry solid was obtained. The laboratory results showed data regarding the content of organic matter which is in a range of 2.5% to 13.02%; and inorganic matter from 86.98% to 97.50%. To these analyzed parameters were added the total solids analysis, whose concentration range was 76 mg L⁻¹ to 586 mg L⁻¹ and dissolved solids of 38 mg L⁻¹ to 456 mg L⁻¹; which are not established in the current environmental regulations except for dissolved solids, which comply with the maximum permissible limit. According to the results, the application of a settler and an artificial wetland with the species *Eichhornia crassipes* and *Lemna minor* is proposed, which are characterized by their adaptability to contaminated environments, such as wastewater, lowering the levels of suspended solids, organic matter, BOD, heavy metals, among others; likewise the reforestation of the banks of the river with *Guadua angustifolia* to maintain the flow of the river and protect the banks of the erosion.

Keywords: Wetland, Chila Grande river, *Lemna minor*, *Eichhornia crassipes*, *Guadua angustifolia*.

1. INTRODUCCION

En América Latina la contaminación del agua está influenciada por el crecimiento de la población que ha provocado el aumento de sistemas de alcantarillado con un bajo o nulo nivel de tratamiento de aguas, actividad económica y la intensificación y expansión de la agricultura (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2016).

El agua es un recurso indispensable para la supervivencia humana, por lo que resulta necesario asegurar la calidad de la misma para el consumo de la población, sin embargo el sistema no es eficiente y el 80% de las enfermedades y más de la tercera parte de las muertes en países subdesarrollados son provocadas por el consumo de agua de mala calidad (Sánchez, 2017). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la calidad del agua potable preocupa a países desarrollados y en desarrollo debido a los agentes infecciosos, productos químicos, y contaminación radiológica los cuales son factores de riesgo que tienen su efecto en la salud pública (OMS, 2017). Resulta incuestionable el impacto del estado del agua contaminada sobre indicadores de salud ambiental como la morbilidad de numerosas enfermedades infectocontagiosas, la mortalidad infantil o su influencia en la esperanza de vida de los niños (Tolcachier, 2015), así mismo el aumento de enfermedades como parasitosis, enfermedades de la piel, cáncer a la piel y al estómago (Franco, 2015).

En el Ecuador 133 GAD Municipales tratan las aguas servidas que generan, de los cuales el 38,35% realiza un tratamiento en forma parcial, mientras que el 61,65% no realiza ningún tipo de tratamiento, de éstos el 59,26% de los GAD Municipales disponen el agua residual no tratada en los ríos, el 25,19% en quebradas y el restante 15,56% se disponen en otros sitios (INEC, 2016).

En la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas 30 ríos están contaminados, entre ellos el río Chila Grande, con coliformes fecales, aceites, grasas, hierro, amoniaco, fenoles, zinc, bario, cobre y sulfatos (Velasco, 2016). En la ciudad de Santo Domingo el 18,98% de la población se abastece de agua de ríos, pozos y agua lluvia (Franco, 2015).

La causa principal de afectación ambiental al río Chila Grande es la descarga de aguas residuales producidas por los ciudadanos (La Hora, 2013), que aportan materia orgánica (sólidos orgánicos) que para su descomposición requiere del oxígeno disuelto presente en el agua para ser consumido por la fauna acuática a una velocidad mayor a la que es remplazado, afectando la distribución, desarrollo y supervivencia de los organismos acuáticos (Organización Mexicana del Agua, 2007). De la misma manera la presencia de sólidos inorgánicos (sedimentos) en el agua son

contaminantes responsables de los altos niveles de turbidez y de sedimentación que limitan el paso de la luz solar y dan lugar a una perturbación física en el cauce del agua, respectivamente (FAO, 1997). La presencia de sólidos inorgánicos en el agua puede ser de origen natural, o debido a la erosión como efecto de las actividades antrópicas (Vián Ortuño, 2008).

Es de vital importancia conocer la naturaleza del contaminante presente en el agua del río Chila Grande para elegir el tratamiento adecuado para la recuperación de la calidad del agua del mismo. Existe información de análisis fisicoquímicos del agua del río Chila grande realizados en años anteriores, que incluyen a los sólidos totales y sólidos disueltos, sin embargo en estos análisis no se determina la naturaleza de dichos sólidos lo cual dificulta la ejecución de medidas eficaces de recuperación.

Teniendo en cuenta que el agua es esencial para la sobrevivencia de todos los seres vivos por lo que es importante su preservación, conservación, uso y manejo (Brieva, Montes, Pérez, Duarte, & Triana, 2005); esto adicionado al derecho que tienen las personas a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir (Constitución de la República del Ecuador, 2008), es conveniente investigar sobre el presente tema para obtener información referente al grado y tipo de contaminación de sólidos existente en el río Chila Grande y con base a ello se plantear una alternativa de recuperación del agua mejorando sus características fisicoquímicas y biológicas y en efecto la calidad de vida de la población asentada en las riberas del río.

Para el desarrollo de la presente propuesta se estableció como objetivo general definir una alternativa de recuperación del río Chila Grande mediante la caracterización de los sólidos en orgánicos e inorgánicos y los objetivos específicos: establecer una metodología para el muestreo de sólidos orgánicos e inorgánicos del agua del río Chila Grande; cuantificar la concentración de sólidos orgánicos e inorgánicos, establecer la variación temporal de los sólidos presentes en el agua del río Chila Grande, y con esta caracterización se definirá la alternativa de recuperación del río Chila Grande.

2. CONTENIDO TÉCNICO

El consumo de agua de mala calidad amenaza las condiciones sanitarias de la población en especial de la más vulnerable, lo que implica la aparición de problemas de salud con considerables costos económicos (SENAGUA, 2012).

La Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2014), considera que sin las acciones humanas la calidad del agua estaría determinada por factores naturales como: erosión mineral del sustrato, procesos biológicos acuáticos, lixiviación de materia orgánica y nutriente del suelo así mismo la evaporación y transpiración de sales y lodos.

El Departamento de Ambiente, Agua y Energía de Panamá (DAAP, 2011) en un informe indica que una baja calidad del agua y problemas de balance de agua de ciertos organismos es producto de una alta concentración de sólidos disueltos, los mismos que pueden darle un sabor a mineral desagradable y tener efectos en la salud de quienes la consumen. Teniendo en cuenta que las aguas naturales tienen en su composición sólidos por arrastre, disolución, o arrastre del suelo por donde circula (Sainz, 2005).

Los sólidos son los responsables del color aparente en el agua, disminución del paso de la luz solar y depositarse en las plantas y en las branquias de peces disminuyendo su función respiratoria, de la misma manera pueden depositarse en el fondo del cauce de los ríos favoreciendo la aparición de condiciones anaerobias. Por su parte los sólidos disueltos son responsables del aumento de la salinidad, variación del oxígeno en el medio, disminución de la visión en peces y pueden llegar a provocar la toxicidad de otros compuestos. Estos sólidos pueden proceder de vertidos de agua de origen industrial (Sainz, 2005).

La presencia de materia orgánica biodegradable en el agua según Sainz (2005), incide en un mayor consumo del oxígeno presente en el agua, poniendo en peligro la vida acuática aerobia; en el caso de la materia orgánica no biodegradable ocasiona una contaminación de tipo permanente debido a que no puede ser eliminada por la naturaleza.

2.1 LOCALIZACIÓN

La presente investigación se realizó en el Cantón Santo Domingo, en la propiedad de la Universidad Tecnológica Equinoccial (UTE SD), lugar por donde discurre el río Chila Grande. El muestreo tiene lugar en las siguientes coordenadas: latitud 0°13'51.34"S y longitud 79°12'27.38"O, como se muestra en la Figura 1. El área está influenciada por una zona climática lluviosa tropical, posee una extensión de 3523 km², con una temperatura

promedio de 22,9 °C, y una altura de 655 msnm, con precipitaciones anuales de 3000 a 4000 mm (GAD Municipal Santo Domingo, 2017). Según la clasificación de las zonas de vida de Holdridge, Santo Domingo de los Tsáchilas tiene las características de un bosque muy húmedo pre-montano (Canelos, 2015).



Figura 1. Localización del punto de muestreo
Fuente: (Google Earth, 2018)

2.2 METODOLOGÍA

La caracterización de los sólidos presentes en el agua del río Chila Grande se realizó de acuerdo a la figura 2.

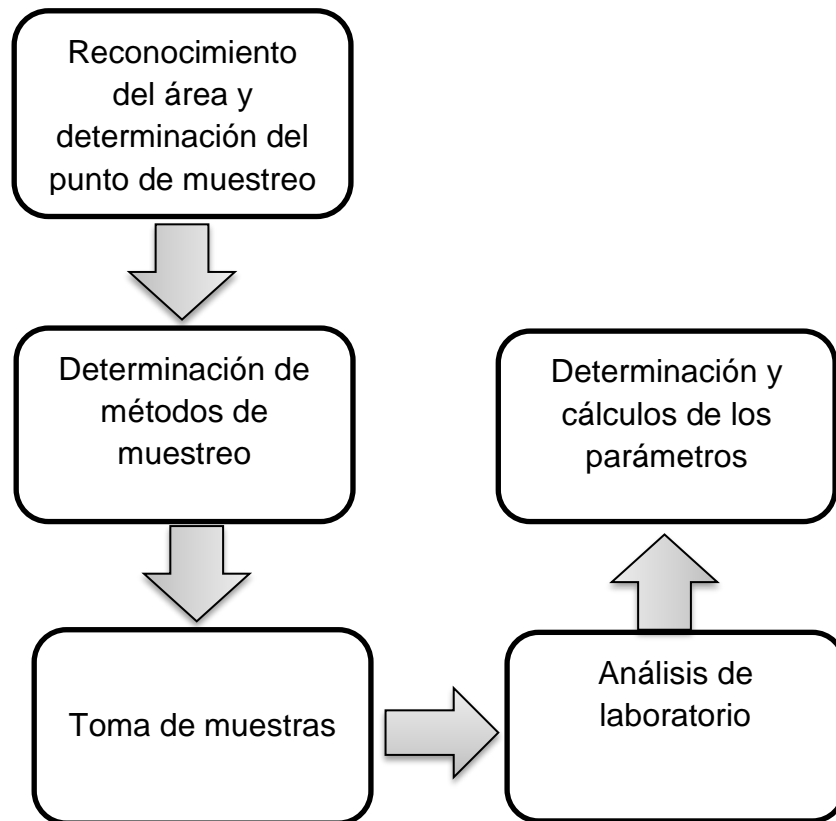


Figura 2. Esquema general del proceso de caracterización de los sólidos del agua del río Chila Grande

2.2.1 RECONOCIMIENTO DEL ÁREA Y DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO

Se realizó varias visitas y recorridos por el cauce del río Chila Grande en el área de la UTE SD, y se determinó el punto de muestreo de acuerdo a las siguientes características y condiciones: accesibilidad, mezcla uniforme del agua en flujo turbulento, que permite tener en suspensión los sólidos (orgánicos e inorgánicos) y facilidad para la obtención de la muestra.

2.2.2 DETERMINACIÓN DE MÉTODOS DE MUESTREO

Para la obtención de los sólidos del agua del río Chila, se utilizaron los siguientes métodos:

2.2.2.1 Método de sedimentación cono Imhof

Este método para la recolección de sólidos orgánicos e inorgánicos, empezó con el llenado del cono Imhoff con 1 litro de agua del río, se lo dejó sedimentar por un periodo de 24 horas, tiempo en el que los sólidos se sedimentaron, pero al ser el muestreo en época lluviosa el agua no contenía

cantidades apreciables de sólidos, por lo tanto la pequeña cantidad sedimentada se trasvasó a una cápsula de porcelana y se dejó en la estufa por 24 horas a 65°C. La cantidad de muestra que se obtuvo de este método fue despreciable.

2.2.2.2 Método de filtración (papel filtro)

En este método se procedió a filtrar con papel filtro el agua del río Chila Grande, de la siguiente manera: se tomaron 4 litros del agua problema, luego con ayuda del equipo de filtrado al vacío que consta de una bomba de vacío conectada a un kitasato y éste a su vez a un embudo Büchner con que contenía el papel filtro, donde se colocó lentamente el agua para que se filtre. Posteriormente se colocó el papel filtro en la estufa a una temperatura de 65°C por 24 horas.

2.2.2.3 Método de sedimentación

En éste método para la recolección de los sólidos orgánicos e inorgánicos se construyó una piscina a la orilla del río (figura 3), donde se dejó sedimentar aproximadamente 500 litros de agua, volumen que permitió obtener los sólidos por sedimentación, los mismos que fueron secados en la estufa en el laboratorio a 65°C por 24 horas para su posterior análisis. En la piscina construida se utilizó un plástico negro de polietileno con el fin de impermeabilizarla para que el agua no se infiltre en el suelo.



Figura 3. Piscina de recolección de agua

2.2.3 TOMA DE MUESTRAS

2.2.3.1 Muestreo de sólidos totales y sólidos disueltos del agua

También en el presente trabajo se realizó el muestreo para determinar en mg L^{-1} los sólidos del agua, información que permitió hacer la comparación y cuantificación del tipo de sólidos presentes en el río Chila Grande en la época de estudio. Por lo anterior el muestreo se realizó acorde a lo establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169:1998 Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras, tal como se detalla en la tabla 1. El muestreo se realizó en época lluviosa por un periodo de dos meses (abril – mayo 2018), tomando una muestra cada semana es decir se tomaron un total de 9 muestras lo que permitió establecer la variación temporal de los mismos.

Tabla 1. Técnicas generales para la conservación de muestras –análisis físico-químico

Parámetros	Tipo de recipiente	Técnicas de conservación	Tiempo máximo de conservación recomendantes del análisis
Sólidos en suspensión y sedimentables	P o V	_____	24 h
Sólidos totales	P o V	Refrigerar entre 2°C y 5°C	24 h

P=plástico; V= vidrio

2.2.4 ANÁLISIS DE LABORATORIO

El análisis en laboratorio de los parámetros fisicoquímicos se realizó acorde a los procedimientos específicos para cada uno, los mismos que se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 2. Métodos de análisis de parámetros fisicoquímicos del agua en el laboratorio

Parámetro	Unidad	Método	Norma
Sólidos totales	mg L ⁻¹	Gravimétrico	NMX-AA-034-SCFI-2015
Sólidos disueltos	mg L ⁻¹	Gravimétrico	NMX-AA-034-SCFI-2015
Materia orgánica	%	Walkley-Black	

2.3 PARÁMETRO DE EVALUACIÓN

2.3.1 DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA EN LAS MUESTRAS DE SÓLIDOS

La determinación de materia orgánica en los sólidos obtenidos del agua del río Chila Grande se realizó mediante el método de Walkley-Black, el mismo que establece lo siguiente:

Tamizar el suelo con un tamiz de 0,5 mm de diámetro con el fin de homogenizar la muestra y eliminar partículas minerales (arena) que interfieren en el análisis; luego se pesó de 0,1 a 0,5 g del sólido, muestra que luego se colocó en un matraz Erlenmeyer y se le añadió 5 mL de dicromato de potasio 1N (K₂Cr₂O₇) seguido de 5 mL de H₂SO₄ concentrado al 98 % y se dejó en reposo durante 30 minutos, posteriormente se le agregó a la muestra 100 mL de agua destilada y 5 gotas de indicador de ferroína. En la solución se tituló con sulfato ferroso amoniacal 0,5N el exceso de K₂Cr₂O₇, hasta viraje de color rojo (ferroína). Además se hizo un blanco de reactivos de acuerdo al procedimiento anterior, pero sin utilizar muestra.

El cálculo de la materia orgánica se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$MO (\%) = \frac{(B - M) \times N_{FeSO_4}}{PM}$$

Dónde:

- MO = Materia orgánica (en porcentaje)
- B = Volumen gastado en la titulación del blanco
- M = Volumen gastado en la titulación de la muestra
- N = Normalidad exacta del sulfato ferroso amoniacal
- PM = Peso de la muestra

2.3.2 CUANTIFICACIÓN DE SÓLIDOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS

La cuantificación de los sólidos inorgánicos se obtuvo mediante la resta del total de sólido (100%) del contenido de materia orgánica (porcentaje) que se obtuvo con el método Walkley-Black.

$$SI = 100\% - SO$$

Dónde:

SI = Sólidos inorgánicos
SO = Sólidos orgánicos

2.3.3 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL

Para determinar este parámetro se utilizó el método del flotador, con los siguientes pasos:

- Se escogió un tramo del río uniforme, sin piedras grandes o troncos de árboles grandes que obstaculicen el flujo del agua;
- Luego se marcó un punto A (salida) y un punto B (llegada) en el tramo del río para después colocar una pelota como flotador;
- Después se midió el tiempo que le toma llegar al flotador desde el punto A al punto B, se hicieron varias repeticiones para obtener una velocidad promedio.
- Posteriormente se midió el ancho del río en el mismo tramo escogido para el cálculo de la velocidad, el cual se dividió en cinco secciones; también se midió la profundidad del río en cada sección. Seguidamente se calculó el área de cada sección y se sumaron todas las áreas.
- Finalmente se aplicó la siguiente ecuación para obtener el caudal:

$$Q = v * A * (1)$$

Dónde:

Q = Caudal (m³/s)
A = Área de la sección transversal (m²)
v = Velocidad media superficial del agua (m/s)
1 = Factor de corrección

3. RESULTADOS

3.1 DIAGNÓSTICO

Los resultados obtenidos muestran que los sólidos disueltos totales del río Chila Grande están dentro de los límites máximos permisibles establecidos por el TULSMA para riego y uso pecuario; sin embargo para los sólidos totales, materia orgánica e inorgánica no se establecen criterios de calidad, ni límites máximos permisibles.

3.1.1 SELECCIÓN DEL MÉTODO DE MUESTREO

Los resultados obtenidos de la comparación de los métodos para la obtención de muestras de sólidos del río Chila Grande se muestran en la figura 4.

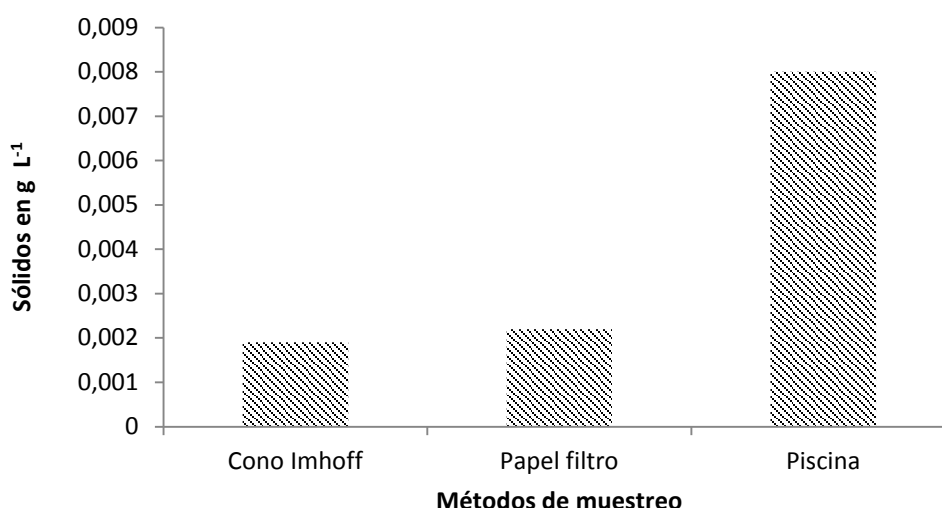


Figura 4. Comparación de métodos de muestreo de sólidos del agua del río Chila Grande

Los resultados de estos métodos se muestran en la figura 4, en la que se puede observar que los mejores resultados se obtuvieron con el tercer método de sedimentación en una piscina recubierta de plástico, ya que para el análisis de laboratorio se necesitaban al menos 2 gramos de sólido seco; y en el método de sedimentación se obtuvo 0,008 g L⁻¹, mientras que con el cono Imhoff y el método de papel filtro, se obtuvieron 0,0019 y 0,0022 g L⁻¹ respectivamente.

3.1.2 DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES

La figura 5 muestra la concentración de sólidos totales que va de 76 mg L⁻¹ a 586 mg L⁻¹, presentándose la mayor concentración en la semana 6 debido a la variación del caudal que se produjo durante la época lluviosa (Mendoza, 2016), por lo que las concentraciones de sólidos totales son muy variables. En el TULSMA no se establece un límite máximo permisible para este parámetro.

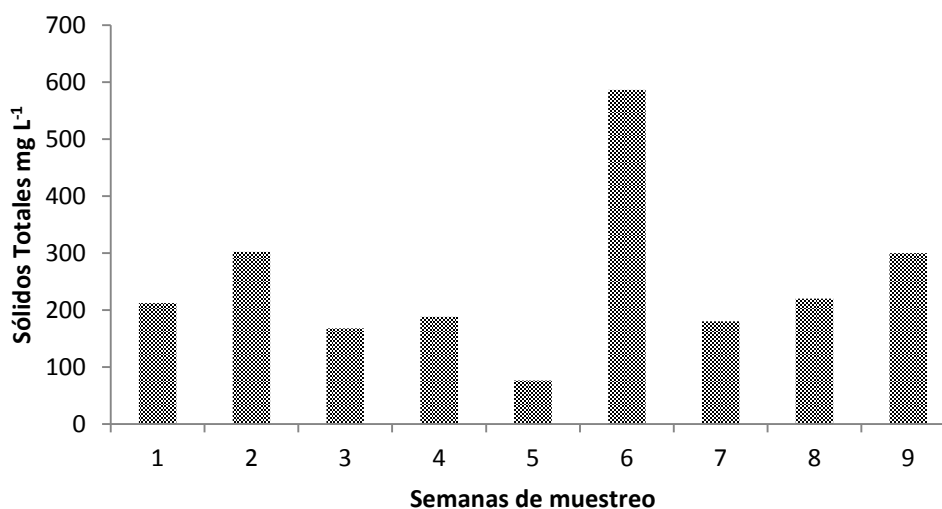


Figura 5. Variación de la concentración de sólidos totales en el río Chila Grande

3.1.3 DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS DISUELTOS

En la figura 6 se muestra la concentración de sólidos disueltos, los mismos que varían de 38 mg L⁻¹ a 426 mg L⁻¹, en la quinta y sexta semana respectivamente. Esta variación de los resultados se puede atribuir a la variación del caudal, que pudo ser producida por las precipitaciones de la época en que se realizó el muestreo (Mendoza, 2016). Este parámetro no se pudo comparar con la normativa ambiental vigente (TULSMA, 2015) debido a que no se registra un límite máximo permisible o criterio de calidad para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios; por lo que se comparó estos resultados para otros usos, como la calidad del agua para riego, y para uso pecuario donde si cumple el límite máximo permisible.

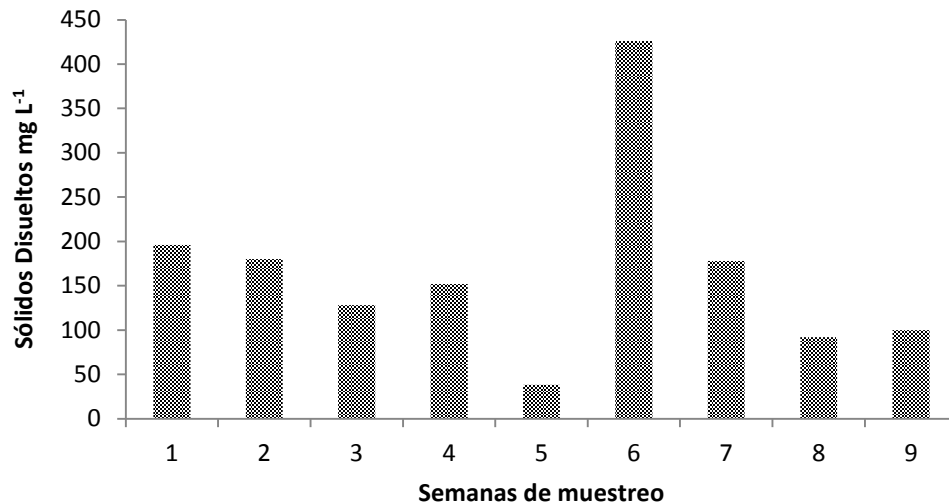


Figura 6. Variación de la concentración de sólidos disueltos en el río Chila Grande

3.1.4 DETERMINACIÓN DEL TIPO DE SÓLIDOS (ORGÁNICOS E INORGÁNICOS)

En la figura 7 se puede observar la variación temporal de la materia orgánica e inorgánica correspondiente a los sólidos presentes en el agua del río Chila Grande, en la cual se puede observar que tanto la materia orgánica como la inorgánica tienen una tendencia más o menos constante, donde la mayor concentración corresponde a la materia inorgánica alcanzando su punto máximo de concentración en la quinta semana de muestreo. Además se observa que en todas las muestras analizadas más del 80% de los sólidos corresponden a materia inorgánica, los cuales pueden ser arena, arcilla, limo y coloides, lo que indica que la propuesta estará enfocada en disminuir la materia inorgánica del agua del río Chila Grande, pese a no existir un límite máximo permisible para este parámetro en la normativa ambiental ecuatoriana.

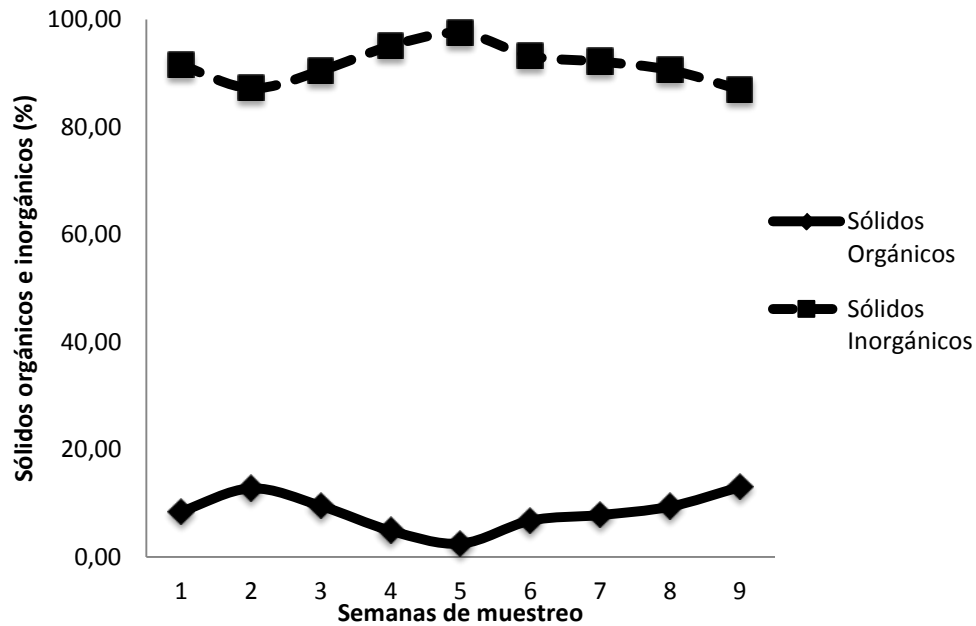


Figura 7. Variación de la concentración de sólidos orgánicos e inorgánicos del agua del río Chila Grande

3.1.5 VARIACIÓN TEMPORAL DE LOS SÓLIDOS

En la figura 8 se muestra la variación temporal de los sólidos totales y disueltos presentes en agua del río Chila Grande; donde se puede observar que estos tienen una tendencia heterogénea, registrando la concentración más baja en la semana 5 y la más alta en la semana 6. El comportamiento anterior se debe a la variación del caudal que presenta el río en la época lluviosa (Mendoza, 2016).

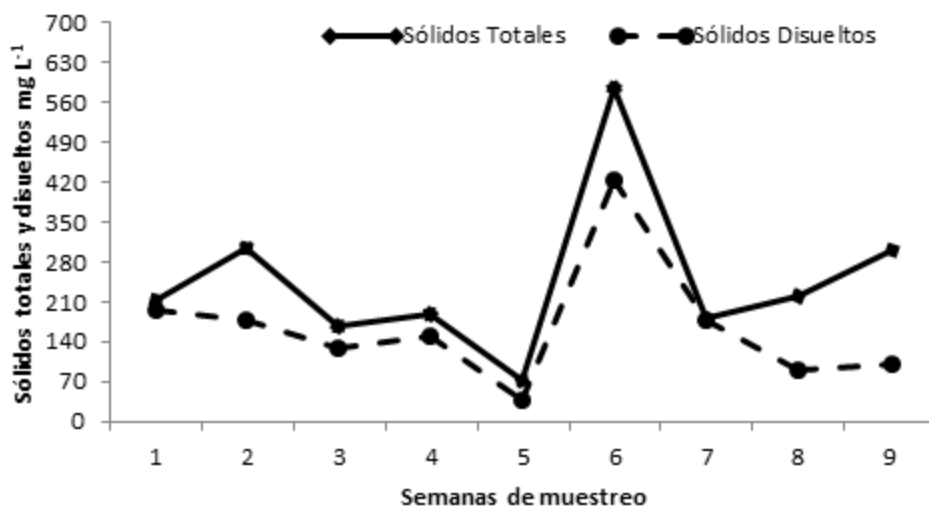


Figura 8. Variación temporal de sólidos totales y disueltos del agua del río Chila Grande

3.1.6 CAUDAL DEL RÍO CHILA GRANDE

Para el cálculo del caudal se obtuvieron los siguientes datos: área de la sección transversal $1,368 \text{ m}^2$, con una velocidad media superficial de $0,29 \text{ m/s}$, siendo el caudal $0,40 \text{ m}^3/\text{s}$, el mismo que servirá como base para el dimensionamiento del sedimentador y del humedal artificial.

3.2 PROPUESTA TECNOLÓGICA

Debido a que más del 80 % de los sólidos del agua son de naturaleza inorgánica se hace la siguiente propuesta tecnológica:

RECUPERACIÓN DEL AGUA DEL RIO CHILA GRANDE, MEDIANTE EL USO DE UN SEDIMENTADOR Y HUMEDAL ARTIFICIAL.

3.2.1 SEDIMENTADOR

La sedimentación consiste en “la remoción de partículas más pesadas que el agua por acción de la fuerza de la gravedad” (Oliva, Giancoman, & Pérez, 2008), es decir el asentamiento de la materia en suspensión que son transportados por distintos agentes, generalmente ríos.

El tipo de sedimentación que se propone es la sedimentación discreta debido a que en este tipo de sedimentación las partículas que se depositan mantienen su individualidad, o sea no se somete a un proceso de coalescencia con otras partículas (Ramalho, 2003), es decir no sufren ningún cambio en su tamaño, forma, densidad. La principal ventaja de la utilización de sedimentadores como un tratamiento primario de aguas es remover el material en suspensión y arenas, excepto material disuelto o coloidal (Olivos, 2010).

3.2.2 HUMEDAL ARTIFICIAL

Los humedales artificiales procuran parecerse a los humedales naturales con idéntica capacidad de tratamiento (Rodríguez, Ortiz, Hernando, Helmut, & Hernandez, 2006), los mismos que son considerados una zona de transición entre el medio terrestre y el medio acuático, sirviendo así como sumideros de nutrientes y zonas de amortiguamiento para contaminantes orgánicos e inorgánicos (Llagas & Gómez, 2006).

Los humedales artificiales (fitorremediación) son zonas inundadas creadas por el hombre para el tratamiento de aguas residuales donde ocurren procesos químicos, físicos y biológicos para eliminar contaminantes como materia orgánica, sólidos en suspensión, materia mineral y metales pesados

de la misma forma que ocurre en los humedales naturales, esto sumado a las ventajas que tiene este tipo de tecnología no convencional que entre las que están: el bajo consumo energético, debido a que el proceso lo realizan las plantas, generalmente macrofitas; ausencia de olores y vectores como los mosquitos, impacto paisajístico positivo, ya que el sistema se acopla al medio y plan de mantenimiento sencillo (Nuevo, 2016).

Por otro lado la utilización de la técnica fitorremediación según la (EPA, 1996) permite la remoción de diversos contaminantes del medio ambiente, agua y suelo utilizando plantas, además de ser un método pasivo y estéticamente agradable que aprovecha la energía del sol, se puede utilizar en conjunto con otros métodos de tratamientos. Por ello para el presente trabajo de investigación la propuesta se basará en la asociación de dos técnicas, un sedimentador y un humedal artificial (fitorremediación) con el fin de disminuir considerablemente los sólidos orgánicos e inorgánicos que contaminan el agua del río Chila Grande.

Varios autores definen a la fitorremediación como un conjunto de tecnologías que permiten reducir la contaminación in situ y ex situ la concentración de varios contaminantes mediante procesos químicos realizados por las plantas y de los microorganismos que están asociados a ellas (Delgadillo, González, Prieto, Villagómez, & Acevedo, 2011) .

3.2.2.1 Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*)

Es una planta acuática flotante, nativa de América del sur, que es considerada como una maleza en ciertas partes del mundo, debido a su adaptabilidad a diferentes características del medio y su reproducción vegetativa, sin embargo es posible controlar su reproducción y utilizarla en fitorremediación de aguas residuales (Carreño, 2016), por lo que es recomendada que se utilice únicamente en humedales artificiales por su capacidad invasora (Guevara & Ramirez, 2015). Se desarrolla bajo condiciones de temperatura entre 15 °C y 30 °C, condiciones de pH que van de 5,5 a 9.

Esta planta es adaptable y sobrevive a sistemas acuáticos con niveles altos de nitrógeno, fósforo, potasio y metales pesados como: plomo y cobre. El Jacinto de agua ha sido utilizado en varios procesos experimentales para medir su efectividad en la remoción de agentes contaminantes. Se Utilizó *Eichhornia crassipes* en un sistema de planta piloto para tratar aguas de una granja piscícola, obteniendo resultados favorables en la remoción de DBO, DQO, OD y sólidos suspendidos totales (Tuesta, 2014).

Usos del Jacinto de agua

Su principal uso es como planta fitorremediadora en ecosistemas acuáticos para eliminar metales pesados como: cadmio, mercurio, plomo, y cobre; que acumula en sus raíces y otras estructuras de la misma planta. Siendo una de las ventajas más importantes es que al usar plantas en biorremediación se requieren menores recursos tecnológicos y económicos que con otros métodos convencionales (Guevara & Ramirez, 2015).

3.2.2.2 Lenteja de agua (*Lemna minor L.*)

La lenteja de agua es una planta angiosperma, monocotiledónea, acuática flotante de rápido crecimiento que se desarrolla principalmente en lagunas. En estudios realizados en tratamiento de aguas residuales con lenteja de agua se resaltó la disminución de sólidos suspendidos totales y de los niveles de DBO (Arroyave, 2004).

La lenteja de agua se desarrolla en un rango amplio de temperatura, 5 °C y 30 °C, adaptándose a diferentes niveles de iluminación, crece muy bien en aguas con flujo léntico y ricas en nutrientes con altos niveles de nitrógeno y fosfatos así mismo es capaz de tolerar rangos de pH amplios siendo el óptimo que va de 4,5 a 7 (Arroyave, 2004).

Usos de la lenteja de agua

- Usadas como sombra en acuarios y estanques para que los alevines se protejan de la luz.
- Indicador de nitratos en sistemas acuáticos por el tamaño de sus raíces, debido a que se desarrollan mucho más cuando es más alto el nivel de nitratos en el agua.
- En el tratamiento de aguas residuales debido a que asimila los nutrientes que se liberan en la descomposición de la materia orgánica (Ecured, 2017).

3.2.2.3 Caña guadua (*Guadua angustifolia K.*)

Es un tipo de bambú nativo de Colombia, aunque también se encuentra de forma natural en Ecuador y Venezuela en colonias especialmente en la región Andina entre los 0 y 2000 msnm, aunque su desarrollo óptimo se produce entre los 500 y 1500 msnm en rangos de temperatura de 17°C a 26°C (Bambusa, 2015).

Una de las funciones principales de la caña guadua es su función como regulador del caudal hídrico, ya que absorbe el agua cuando hay en exceso

y soltándola poco a poco evitando crecidas, la deforestación, y erosión del terreno gracias a su sistema radicular (Bambusa, 2015).

En unidades experimentales la caña guadua ha demostrado ser eficiente en la remoción de DBO, DQO, nitrógeno total, coliformes totales y fecales de aguas residuales, mejorando las propiedades organolépticas de las mismas (Marín & Correa, 2010).

Usos de la caña guadua

- Entre el principal uso de la caña guadua se destaca la construcción de edificios, estructuras, cerramientos, escaleras, muebles entre otros;
- También es utilizada para la fabricación de pulpa de papel;
- Elaboración de artesanías;
- Protección para el suelo (Vélez, 2006).

3.2.3 DISEÑO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

En la figura 9 se muestra el diagrama de flujo para el proceso de recuperación de la calidad del agua del río Chila Grande. Para lo anterior se realizó la estimación para un caudal máximo de $0.40 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, de esta manera cuando el río tenga mayor volumen se prevé la no intervención del agua. El diseño se encuentra formado de un sedimentador de capacidad de 3750 m^3 , que es el volumen estimado según el caudal ($0.40 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) y el tiempo de sedimentación de las partículas de arena y limo que es de 2 horas; según la Ley de Stokes (Núñez, 1996), además se cumple con lo establecido por la OPS, quienes recomiendan un periodo de retención hidráulica de 2 horas en sedimentadores (Organización Panamericana de la Salud OPS, 2005).

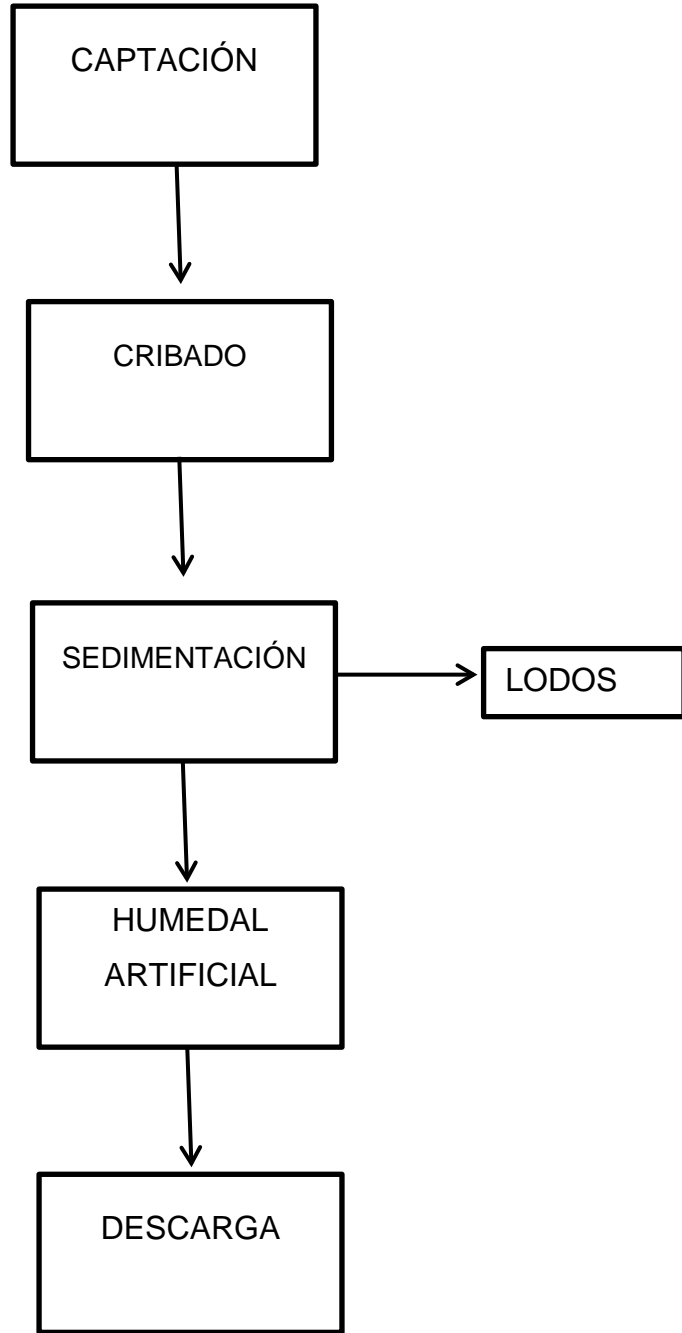


Figura 9. Diagrama de flujo del sistema de propuesta de recuperación del río Chila Grande

3.2.3.1 Captación

Para la implementación de La propuesta tecnológica se requiere la construcción de una obra de captación, la misma que será una obra civil compuesta de estructura de acero, hormigón de alta calidad con muros de contención laterales, y un AZUD en cuya cresta se colocará el canal de entrada de agua (Fig. 10).

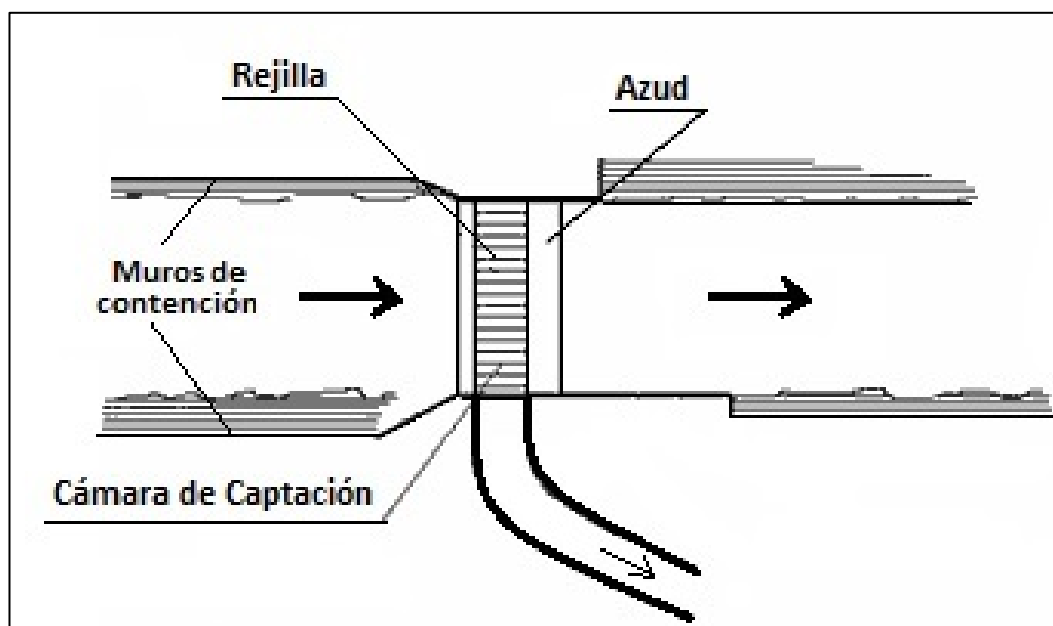


Figura 10. Esquema de obra de captación para el tratamiento de agua del río Chila Grande.

Fuente: (Irwin, 2002), Modificado por Villavicencio, 2018

3.2.3.2 Cribado

Esta operación unitaria se conseguirá colocando una rejilla en la entrada de agua procedente del AZUD, la misma que permitirá la retención de objetos de gran tamaño (botellas, fundas, ramas, troncos y otros) y de esta manera evitar que ingresen al proceso.

3.2.3.3 Sedimentación

En esta etapa se utilizará un sedimentador que tendrá una capacidad de almacenamiento de 3750 m^3 , con un tiempo de retención de 2 horas con base a la Ley de Stokes referente a la velocidad de sedimentación de las partículas. En éste sedimentador por acción de la gravedad se precipitarán las partículas más densas que el agua, eliminando así sólidos en suspensión, materia orgánica, arena, arcilla y limo.

La capacidad de almacenamiento del sedimentador se consideró de acuerdo a los siguientes cálculos:

$$\text{Caudal del río (Q río)} = 0,40 \text{ m}^3 \text{ S}^{-1}$$

$$\text{Tiempo de retención hidráulica (TRH)} = 2 \text{ horas} = 7200 \text{ segundos}$$

$$\text{Volumen de diseño} = \text{TRH} * \text{Q río}$$

$$\text{Volumen de diseño} = 7200 \text{ s} * 0,40 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} = 2880 \text{ m}^3$$

Donde se debe considerar un área de seguridad del 30% del caudal de diseño.

Área de seguridad (As) = 30% del caudal de diseño

$$Q \text{ diseño} + \text{As} = 2880 \text{ m}^3 * 30\% = 3744 \text{ m}^3 \text{ aproximando} = 3750 \text{ m}^3$$

Cabe recalcar que los lodos provenientes del sedimentador serán destinados al complejo ambiental.

3.2.3.4 Humedal artificial

El humedal artificial, será de flujo superficial el cual estará conformado por Jacinto y lenteja de agua, plántulas que se depositarán en la superficie del agua, luego de que ésta pase del sedimentador hacia el humedal.

También se utilizarán la caña guadua como un sistema de tratamiento complementario aguas abajo en las orillas del río Chila Grande, después de la salida del agua del humedal artificial; esto con el fin de mantener el caudal del río y proteger las orillas de la erosión.

3.2.3.5 Descarga

Luego de que el agua pase por el humedal artificial, se procederá a descargarla en el cauce del río para que continúe con su ciclo hidrológico.

3.3 ANÁLISIS ECONÓMICO

Para la ejecución de la propuesta tecnológica se detallan en la tabla 3 los costos aproximados que implicaría su aplicación en el campo al momento de la construcción del sedimentador y humedal artificial.

Tabla 3. Presupuesto de instalación de la propuesta

Detalle	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Mano de obra	Jornal	50	20,00	1000,00
Retroexcavadora	Hora	100	50,00	5000,00
Arena	Volqueta	20	80,00	1600,00
Tubería	Unidad	10	100,00	1000,00
Plántulas de lenteja de agua	Unidad	1000	0,06	60,00
Plántulas de Jacinto de agua	Unidad	700	0,36	252,00
Plántulas de caña guadua	Unidad	300	1,00	300,00
Geomembrana	m ²	2500	6,00	15000,00
Obra de captación	Unidad	1	20000,00	20000,00
			Total	44212,00

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La caracterización de los sólidos orgánicos e inorgánicos del agua del río Chila Grande indican que la mayor concentración es de sólidos inorgánicos, los mismos que pueden ser producto de la erosión del suelo a causa de las precipitaciones que se presentaron durante el periodo de muestreo, teniendo en cuenta que dicho periodo correspondía a la época lluviosa en nuestro país. Cabe recalcar que dichos parámetros no se encuentran regulados por la legislación ambiental vigente en el país.

El comportamiento temporal de los parámetros analizados (sólidos orgánicos e inorgánicos, sólidos totales y sólidos disueltos) en la presente investigación es variable, esto es debido a la frecuencia e intensidad de las precipitaciones que se produjeron en la región.

El empleo de un sedimentador y de un humedal artificial con las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*, las mismas que son especies que se adaptan a sistemas acuáticos contaminados y permitirán mejorar la calidad del agua del río Chila Grande de forma significativa.

También se propone reforestar las orillas del río Chila Grande con caña guadua como un sistema de protección, tanto para mantener el caudal del río y el suelo previniendo la erosión.

Se recomienda realizar los análisis de sólidos que se caracterizaron en el presente trabajo en época seca, con el fin de constatar si la presencia de estos contaminantes varía o se mantiene constante (sólidos orgánicos e inorgánicos).

REFERENCIAS

- Arroyave, M. d. (2004). La lenteja de agua (lemna minor): Una planta acuática promisor. *Revista EIA, I*, 33-38. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372004000100004
- Bambusa. (2015). *GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH*. Obtenido de <https://bambusa.es/caracteristicas-del-bambu/bambu-guadua/>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2016). *Programa Américas*. Obtenido de La contaminación del agua en América Latina y Chile: <https://www.bcn.cl/observatorio/americas/noticias/la-contaminacion-del-agua-en-america-latina-y-chile>
- Brieva, D., Montes, S., Pérez, N., Duarte, A., & Triana, J. (2005). *UNINORTE*. Obtenido de El agua, fuente de vida: <https://www.uninorte.edu.co/documents/4368250/4488388/EI+agua%2C+fuelle+de+vida/2fdd9080-eb99-4be5-9245-52d5900d7cc6?version=1.0>
- Canelos, H. (2015). *La Hora*. Obtenido de El clima de Santo Domingo: <https://lahora.com.ec/noticia/1101881416/el--clima--de--santo--domingo>
- Carreño, U. (2016). Diseño y evaluación de un biosistema de tratamiento a escala piloto de aguas de curtiembres a través de la *Eichhornia crassipes*. *Revista Colombiana de Biotecnología, XVIII(2)*, 74-81.
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Art. 14*. Obtenido de https://www.asambleanacional.gov.ec/documentos/constitucion_de_bolsillo.pdf
- DAAP. (2011). *Informe de calidad de agua de la cuenca del canal 2010*. Obtenido de <https://micanaldepanama.com/wp-content/uploads/2012/06/2010.pdf>
- Delgadillo, A., González, c., Prieto, F., Villagómez, J., & Acevedo, O. (2011). *Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación*. Obtenido de https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/icap/LI_IntGenAmb/Otilio_Sando/1.pdf
- Ecured. (2017). *Lenteja de agua*. Obtenido de https://www.ecured.cu/Lenteja_de_agua

- EPA. (1996). *Guía del ciudadano: Medidas fitocorrectivas*. Obtenido de <https://clu-in.org/download/remed/spanphyt.pdf>
- FAO. (1997). *Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. (Estudio FAO Riego y Drenaje - 55)*. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/W2598S/w2598s04.htm>
- Franco, R. (2015). Contaminación de las aguas y efectos en la salud en Santo Domingo. *Mikarimin, I*, 33-44.
- GAD Municipal Santo Domingo. (2017). *Gobierno Autónomo Descentralizado Santo Domingo*. Obtenido de <http://www.santodomingo.gob.ec/situacion/>
- Google Earth. (2018). Google Earth. Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.
- Guevara, M., & Ramirez, L. (2015). Eichhornia crassipes, SU INVASIVIDAD Y POTENCIAL. *La Granja: Revista de ciencias de la vida, XXII*, 5-11.
- INEC. (2016). *Estadística de información ambiental económica en gobiernos autónomos descentralizados municipales 2015*. Obtenido de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2015/Documento_Tecnico-Gestion_de_Agua_y_Alcantarillado_2015.pdf
- Irwin, S. (2002). *Obras hidráulicas en laderas andinas*. Obtenido de Escuela de Ingeniería de Antioquia : http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/interesantes/laderas_andinas/index.htm
- La Hora. (2013). *Toman muestras de ríos contaminados* . Obtenido de <https://lahora.com.ec/noticia/1101587517/noticia>
- Llagas, W., & Gómez, E. (2006). *Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM*. Obtenido de <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/699/552>
- Marín, J., & Correa, J. (2010). *Evaluación de la remoción de contaminantes en aguas residuales en humedales artificiales utilizando la Guadua angustifolia Kunth*. Obtenido de Universidad Tecnológica de Pereira: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1801/6283M337.pdf;jsessionid=20E5EF966482CC6219422316939F9132?sequence=1>

- Mendoza, R. (2016). *Propuesta de recuperación del río Chila Grande a partir de la determinación de los parámetros físicos químicos*. Obtenido de http://www.stodomingo.ute.edu.ec/sgb/abrir_pedido_digital.aspx?mat_bib_reg=106006182063186244179105169094104088182198080171&mat_bib_dig_cod=107163218125254205216196054116130153004044136173&lectura=107163218125254205216196054116130153004044136173&imprimir=
- Nuevo, D. (2016). *Humedales artificiales en depuración de aguas residuales*. Obtenido de <http://www.tecpa.es/humedales-artificiales-en-depuracion-de-agua-residual/>
- Núñez, J. (1996). *Manual de laboratorio de edafología*. San José, Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia.
- Oliva, J., Giancoman, J., & Pérez, M. (2008). Estudio de la dinámica de sedimentación de lodos mediante sistema óptico. *Ingeniería*, 12(2), 17-29.
- Olivos, O. (2010). *Tratamiento de aguas - Tratamiento primario*. Obtenido de <http://www.uap.edu.pe/intranet/fac/material/24/20102BT240224E10240108011/20102BT240224E1024010801120689.pdf>
- OMS. (2017). *Agua, saneamiento e higiene*. Obtenido de Calidad del agua potable: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/es/
- ONU. (2014). *Calidad del agua*. Obtenido de <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>
- Organización Mexicana del Agua. (2007). *Contaminación del agua por materia orgánica y microorganismos*. Obtenido de <https://agua.org.mx/biblioteca/contaminacion-del-agua-por-materia-organica-y-microorganismos/>
- Organización Panamericana de la Salud OPS. (2005). *Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques imhoff y lagunas de estabilización*. Obtenido de http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d24/053_Dise%C3%B1o_tanques_s%C3%A9pticos_Imhoff_lag/Dise%C3%B1o_tanques_s%C3%A9pticos_Imhoff_lagunas_estabilizaci%C3%B3n.pdf
- Ramallo, R. (2003). *Tratamiento de aguas de residuales*. España: Reverté S.A.
- Rodríguez, L., Ortiz, Y., Hernando, N., Helmut, E., & Hernandez, V. (2006). *Ensayos de eficiencia con macrófitas para la remoción de carga*

contaminante en aguas residuales de hatos lecheros para un subsector de la Laguna de Fúquene. Obtenido de <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revcie/rt/printerFriendly/341/509>

Sainz, J. (2005). *Tecnologías para la sostenibilidad* (Primera ed.). Madrid: Fundación EOI.

Sánchez, D. (2017). *Vista de contaminantes biológicos en el agua y riesgo a la salud pública*. Obtenido de Repositorio Escuela Superior de Atotonilco de Tula: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/atotonilco/article/view/2194/2193>

SENAGUA. (2012). *Diagnóstico de la estadística del agua en el Ecuador*. Obtenido de <http://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/download/Diagnostico%20de%20las%20Estadisticas%20del%20Agua%20Producto%20Ilc%202012-2.pdf>

Tolcachier, A. (2015). *Medicina Ambiental*. Obtenido de Contaminación del agua: https://cedoc.infod.edu.ar/upload/Alberto_Jorge_TolcachiesContaminacion_del_agua_3.pdf

Tuesta, N. (2014). *Evaluación de las especies Lemna minor L. ("Lenteja de agua") y Eichhornia crassipes M. ("Jacinto de agua") en remoción de materia orgánica biodegradable en efluentes de piscigranjas de la empresa acuícola Alto Mayo, provincia de Moyobamba-2014*. Obtenido de <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/UNSM/201/6052414.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

TULSMA. (2015). *Libro VI Anexo I*. Obtenido de http://gis.uazuay.edu.ec/ierse/links_doc_contaminantes/REGISTRO%20OFICIAL%20387%20-%20AM%20140.pdf

Velasco, B. (2016). *El Comercio*. Obtenido de 30 ríos de Santo Domingo tienen un alto nivel de contaminación : <https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjPkZXino3XAhVEYiYKHZABCpoQFgg2MAM&url=http%3A%2F%2Fwww.elcomercio.com%2Factualidad%2Frios-santodomingodelos-tsachilas-contaminacion-denuncia-ministeriodelambiente>.

Vélez, S. (2006). *La guadua angustifolia "El bambú colombiano"*. Obtenido de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93442/06_ESD_Cos_pp_35_81.pdf

Vián Ortuño, A. (2008). *Introducción a la química industrial*. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=Rkk04SmHTKEC&pg=PA96&lpq=PA96&dq=proveniencia+de+solidos+inorganicos+en+el+agua&sour>

ce=bl&ots=pBEWLJ1YvY&sig=oqsUg5htxM5Dh5ILMpuLOxMXrUM&hl
=es&sa=X&ved=0ahUKEwiq48WJtMvZAhUMq1kKHRs8DXYQ6AEIjg
EwCQ#v=onepage&q=provenienc