



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

EVALUACIÓN DE LA TOXICIDAD DEL AGUA DEL RÍO PITA MEDIANTE  
BIOENSAYOS CON ALNUS ACUMINATA

AUTOR

Daniel Andrés Valencia Porras

AÑO

2018



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS APLICADAS

EVALUACIÓN DE LA TOXICIDAD DEL AGUA DEL RÍO PITA MEDIANTE  
BIOENSAYOS CON *Alnus acuminata*

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos  
establecidos para optar por el título de Ingeniero Ambiental en Prevención y  
Remediación

MSc. Profesor guía

Indira Fernandina Black Solís

Autor

Daniel Andrés Valencia Porras

Año

2018

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

"Declaro haber dirigido el trabajo, "Evaluación de la toxicidad del agua del río Pita mediante bioensayos con *Alnus acuminata*", a través de reuniones periódicas con el estudiante Daniel Andrés Valencia Porras, en el semestre 2018-2, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

---

Indira Fernandina Black Solís  
Magister en Conservación y Gestión del Medio Natural  
C.I. 1711273563

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

"Declaro haber revisado este trabajo, "Evaluación de la toxicidad del agua del río Pita mediante bioensayos con *Alnus acuminata*", del estudiante Daniel Andrés Valencia Porras, en el semestre 2018-2, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

---

Christian Patricio Villamarín Flores  
Doctor en Ecología Fundamental y Aplicada  
C I: 1002339404

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

"Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes."

---

Daniel Andrés Valencia Porras  
CI: 172003012-9

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis padres, Francisco y Carolina, y mi hermano Francisco, por ser el pilar en la construcción de las metas de mi vida, por demostrarme que la familia es lo último que se pierde en la vida y por enseñarme el camino correcto a mi formación como ser humano.

A mi tutora guía MSc. Indira Black, por su apoyo durante los cinco años de mi carrera, la persona que no solo se ganó mi admiración sino mi cariño y amistad.

A mi profesor corrector PhD. Christian Villamarín por su aporte de conocimientos y su guía a lo largo de la realización de este proyecto.

## **DEDICATORIA**

Se lo dedico a mis padres que han sido un apoyo incondicional a lo largo de todas las acciones que realicé en mí vida. A mi hermano mayor que es un ejemplo tanto como profesional, como ser humano. A mi sobrina Luciana, por demostrar que los corazones grandes pueden venir en seres humanos pequeños. A mi tutora guía, MSc. Indira Black, por ser un apoyo y una guía, y compartir conmigo su sabiduría y experiencia.

## RESUMEN

El incremento de la población humana a nivel mundial representa una amenaza para los ecosistemas, ya que día a día se destruye áreas naturales por la presión antrópica. En el Ecuador uno de los ríos que presenta las afectaciones producto de las presiones anteriormente mencionadas, es el río Pita, ubicado al sureste de la provincia de Pichincha. Las principales acciones que afectan estos ríos se relacionan a la presencia de descargas de efluentes industriales, a la actividad ganadera, agropecuaria y asentamientos urbanos los cuales también afectan a los bosques de ribera. La siguiente investigación comprende una evaluación de la toxicidad del río Pita mediante bioensayos con una especie vegetal nativa de la zona, *Alnus acuminata*. En la primera fase, se realizó un estudio en campo donde se estudió la densidad y la biomasa de *Alnus acuminata* en las zonas aledañas a los puntos de muestreo. Posteriormente, se realizó un diseño experimental con 60 plántulas de 3-4 meses de edad que fueron regadas con el agua potable del Distrito Metropolitano de Quito (Control) y de tres diferentes puntos de muestreo del río (Tratamientos: 1 contaminación baja, 2 con contaminación media y 3 con contaminación alta), durante 45 días. Durante este tiempo se realizaron cuatro mediciones de variables de respuesta que fueron, número de hojas, estado de las hojas, diámetro del tallo (mm) y longitud del tallo (cm). Al finalizar la experimentación, se demostró que durante el tiempo de estudio no se evidenció una variación significativa de manera estadística para las variables de respuesta, pero se observó que, la densidad tanto de plántulas como de árboles de *Alnus acuminata* fue mayor en zonas con poca intervención antrópica, lo que se relaciona a la contaminación del agua y a la presión que ejerce el uso del suelo predominante en cada punto de muestreo.



## ABSTRACT

The increase of the human population worldwide represents a threat to ecosystems, since day by day natural areas are destroyed by anthropogenic pressure. In Ecuador, one of the rivers that has the effects of the above-mentioned pressures is the Pita River, located in the southeast of the Pichincha province. The main actions affecting these rivers are related to the presence of discharges of industrial effluents, livestock, and agricultural and urban settlements which also affect the riverside forests. The following investigation includes an evaluation of the toxicity of the Pita River through bioassays with a native plant species of the area, *Alnus acuminata*. In the first phase, a field study was conducted where the density and biomass of *Alnus acuminata* were studied in the areas surrounding the sampling points. Later, an experimental design was carried out with 60 seedlings of 3-4 months of age that were irrigated with the drinking water of the Metropolitan District of Quito (Control) and three different sampling points of the river (Treatments: 1 low contamination, 2 with medium pollution and 3 with high contamination), for 45 days. During this time four measurements of these response variables were made, number of leaves, state of the leaves, diameter of the stem (mm) and length of the stem (cm). At the end of the experiment, it was shown that during the study time there was no significant statistical variation for the response variables, but it was observed that the density of both seedlings and *Alnus acuminata* trees were higher in areas with little anthropic intervention, which is related to the contamination of water and the pressure exerted by the predominant use of soil at each sampling point.

# ÍNDICE

1. CAPÍTULO I: Introducción.....	1
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Justificación .....	5
1.3. Alcance .....	5
1.4. Objetivos .....	6
1.4.1. Objetivo general.....	6
1.4.2. Objetivos específicos .....	6
2. CAPÍTULO II: Marco teórico .....	6
2.1. Contaminación y eco toxicología.....	6
2.2. Ecosistemas lóticos .....	8
2.3. Contaminantes físico químicos en los ríos.....	10
2.3.1. Compuestos del nitrógeno .....	10
2.3.2. Sulfatos.....	10
2.3.3. PCBs (Bifenilos policlorados).....	11
2.3.4. Fosfatos .....	12
2.4. Indicadores de calidad .....	13
2.4.1. Demanda biológica de oxígeno .....	13
2.4.2. Demanda química de oxígeno .....	14
2.5. <i>Alnus acuminata</i> .....	14
2.5.1. Taxonomía de la planta .....	14
2.5.2. Características generales .....	15
2.6. Legislación Ambiental del Ecuador.....	16
2.6.1. Constitución de la República del Ecuador .....	16
2.6.2. Ordenanzas Municipales del cantón Rumiñahui.....	17
3. CAPÍTULO III: Metodología.....	18
3.1. Descripción del área de estudio .....	18
3.2 Descripción de la especie de estudio .....	20

3.3. Determinación de los puntos de muestreo.....	20
3.4. Densidad de <i>Alnus acuminata</i> en los puntos de muestreo ....	22
3.5. Determinación de parámetros físico químicos del agua <i>in situ</i> .....	25
3.6. Recolección de muestras de agua.....	25
3.7. Determinación de los parámetros físico químicos del agua en laboratorio.....	25
3.8. Diseño Experimental .....	26
3.8.1. Variables independientes.....	26
3.8.2. Variables dependientes .....	27
3.9. Análisis de resultados .....	28
3.9.1. Análisis de varianza .....	28
3.9.2. Análisis de Componentes Principales (ACP) .....	29
3.9.3. Análisis de Correlación .....	29
4. CAPÍTULO IV: RESULTADOS .....	29
4.2. Respuesta ecológica del área de estudio en relación con la especie .....	29
4.2.1. Densidad de plántulas .....	29
4.2.2. Densidad de alisos en relación con otras especies .....	30
4.2.3. Diámetro a la altura del pecho y altura de los árboles .....	31
4.3. Análisis de componentes principales .....	32
4.4. Determinación de la respuesta del <i>Alnus acuminata</i> con relación a la toxicidad del agua del río Pita.....	34
4.4.1. Número y estado de las hojas en la experimentación.....	34
4.4.2. Estado de las hojas.....	35
4.4.3. Tallo.....	37
4.5. Análisis de correlaciones.....	39
5. CAPÍTULO V: Discusión de resultados .....	40

6. Conclusiones y Recomendaciones.....	44
6.1. Conclusiones.....	44
6.2. Recomendaciones .....	44
REFERENCIAS.....	46

## 1. CAPÍTULO I: Introducción

### 1.1. Antecedentes

Los ríos son transportadores de contaminantes, ya que acarrear una importante contribución de sedimentos provenientes de actividad humana a lo largo de su trayecto, depositándolos en el suelo y en otros cuerpos hídricos como mares y lagos (Cubillos, 2013). Esto fue reconocido por primera vez en la Conferencia Técnica de la FAO del año 1996, sobre Contaminación Marina y Efectos en los Recursos Vivos, ya que casi el 90% de los tóxicos encontrados en el mar son transportados por los ríos (Escobar, 2002). Una de las causas probables es que alrededor del 40% de la población mundial no cuenta con acceso a servicios de saneamiento, provocando una descarga de alrededor del 90% de aguas residuales a cuerpos de agua como ríos, lagos, lagunas y zonas costeras (Olguín, 2010). Otra causa es el uso excesivo de fertilizantes en zonas agrícolas, que da lugar al lavado de nitratos en aguas subterráneas.

El incremento de estos compuestos nitrogenados produce eutrofización en los reservorios de agua donde las aguas subterráneas desembocan, que consiste en el crecimiento anormal biológico conllevando a la reducción del oxígeno disuelto, incrementan los productores primarios y un aumento considerable de materia orgánica en descomposición, evitando la proliferación natural de vida (Martínez, Dibut, Ríos, 2010). Por último, la contaminación a ríos y otros cuerpos hídricos por parte de industrias tiene un crecimiento exponencial ya que prácticamente todas las actividades industriales producen desechos no deseados para el ambiente al realizar sus procesos. Existirán diferentes contaminantes en el agua dependiendo de la industria que los desecha, por ejemplo, contaminación por metales pesados, nitratos, nitritos, sulfatos y fosfatos (UNESCO, 2017).

En el Ecuador, la contaminación de los recursos hídricos y la degradación de los ecosistemas dependientes de ellos, son los principales problemas que afectan al desarrollo sostenible (Secretaría Nacional del agua, 2012). Las

razones incidentes en esta problemática son, el crecimiento poblacional y su demanda de agua en incremento, la falta de cumplimiento de las normas por parte del área industrial y urbana, y la ausencia de un sistema de control y vigilancia eficiente (Arévalo, 2014). Por ejemplo, en zonas urbanas como el Valle de los Chillos localizado en la zona andina de la provincia de Pichincha, se encontraron en 32 ríos, contaminación por residuos agrícolas (en su mayoría fertilizantes), efluentes de origen industrial, una alta eutrofización que conlleva a la reducción de oxígeno disuelto, contaminación orgánica y en su mayoría por basura proveniente de la zona urbana (Jacobsen, 2003). Otro caso es el de los ríos Chiguilpe y Verde, localizados en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas. En donde el Ministerio del Ambiente identificó fuentes de contaminación por aceites producto de la descarga directa de aguas residuales domésticas de conjuntos de viviendas residenciales, lavadoras de autos y talleres automotrices que afecta considerablemente a la calidad del agua (Ministerio del Ambiente, 2017).

Uno de los ríos significativos de la provincia de Pichincha en la sierra ecuatoriana es el río Pita, ya que este atraviesa las provincias de Cotopaxi y Pichincha para conectarse con el río Machángara y Guayllabamba que siguen su paso al norte del país. El río Pita cuenta con aporte a la biodiversidad de la zona ya que a más del bosque de ribera abastece de agua a zonas de páramo. El río Pita pasa por zonas industriales, urbanas y agrícolas recibiendo descargas de efluentes de todo tipo de contaminantes (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2012). La cuenca del río Pita tiene un área aproximada de 585,6 kilómetros cuadrados, con un rango altitudinal de entre 2000 y 6000 m.s.n.m., ya que proviene del volcán Cotopaxi (Academia.EDU, 2013). Los contaminantes existentes en este río son variaciones en sólidos totales, grasas y aceites, sulfatos, nitratos, fosfatos, fenoles, reducción en la demanda química de oxígeno, reducción en la demanda biológica de oxígeno, coliformes fecales y totales (Torres, 2015).

Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial realizado por el GAD de Rumiñahui en el año 2014, el cantón se encuentra zonificado dependiendo de

la actividad, como agrícolas con diferentes limitaciones, urbanas y zonas para reforestación. El río Pita es uno de los principales cuerpos hídricos en el cantón, donde diferentes especies crecen en su bosque de ribera por lo que estas son indicadores naturales de calidad ambiental, tanto del recurso agua como de los recursos suelo y aire. Estos bioindicadores pueden determinar la contaminación de un lugar mediante efectos en el desarrollo fisiológico o genético y su tasa de mortalidad, dependiendo del contaminante y de su cantidad (Muerza. 2008).

Las plantas necesitan de nutrientes para su supervivencia y no los pueden producir por si solas, por lo que dependen totalmente de las condiciones externas para obtenerlos (Blancqueart, 2017). Los macroelementos (los que la planta necesita en mayor cantidad) son Nitrógeno, Fósforo, Calcio, Magnesio, Potasio y Azufre; y los microelementos (los que la planta necesita en menor cantidad) son Hierro, Cobre, Zinc, Manganeso, Boro y Aluminio. Cada elemento tiene su función en la planta, por lo que cambios bruscos en su composición o la adición de otros elementos en exceso, provocará efectos negativos en la planta (Ciencia hoy, 2010).

Según estudios realizados por varios autores, el plomo encontrado en aguas negras y provenientes de zonas agrícolas puede causar daños a la planta si esta llega a absorberlo por sus raíces (Kabata-Pendias, 2000). En algunas especies de plantas, la acumulación de Pb tiende a ocurrir rápidamente en los órganos de la planta, llegando al punto de no tolerarlo y producir la muerte del individuo (Redalyc. et al, 2009). También las alteraciones en las propiedades físicas del agua como temperatura, pH y conductividad eléctrica pueden causar efectos negativos en las plantas como la reducción de la fotosíntesis, reducción de la respiración nocturna, y el desarrollo lento (Hellowell, 2012).

Un bosque de ribera es un sistema complejo y único, en términos de características químicas, físicas y biológicas, y en procesos ecológicos, debido a que constituyen el puente entre los ecosistemas acuáticos y ecosistemas terrestres (Meli, 2017). Son parte importante de los ecosistemas fluviales ya

que poseen un “efecto tampón” el cual es la capacidad de absorber y almacenar elementos, por lo que son sensibles a la contaminación (López, 2015). Un estudio realizado en el río Burío-Quebrada Seca, Costa Rica, demostró que la calidad del bosque de ribera depende de la actividad antropogénica encontrada en la zona. Se estudiaron dos puntos, el primero se encontraba en una zona con actividad humana baja y el segundo punto una zona con actividad media de tipo agrícola. El primer punto obtuvo un índice de calidad cercano a 1 (100%) y el segundo punto con un valor entre 0,60 y 0,80 (60-80%) debido a los contaminantes que la actividad agrícola produce y también debido a los canales de riego y uso ineficiente del agua (Uniciencia, 2017).

El *Alnus acuminata* conocido comúnmente en Latinoamérica como Aliso o Cerezo, es un árbol de bosque de ribera que crece en lugares de clima frío con una precipitación anual promedio de 2000 mm (Oleas, Ríos-Touma, Peña y Bustamante, 2016). Un estudio realizado en el 2005 definió los niveles críticos de cada elemento para provocar cambios negativos en la fisiología de la especie (Agronomía costarricense. 2005). La *Tabla 1* muestra los niveles críticos obtenidos en dicha experimentación.

Tabla 1.

*Niveles críticos para los diferentes macro y microelementos en la especie Alnus acuminata*

Elemento	Concentración foliar		
	Ligeramente baja	Adecuada	Ligeramente alta
N %	2,20-2,81	2,82-4,07	4,08-4,38
P %		0,17-0,35	0,36-0,48
K %	0,76-0,92	0,93-1,39	1,40-1,87
Ca %	0,24-0,33	0,34-0,61	0,62-0,89
Mg %	< 0,15	0,15-0,27	0,28-0,34
S %	0,09-0,18	0,19-0,25	
Fe mg kg <sup>-1</sup>		51-133	134-194
Mn mg kg <sup>-1</sup>		12-79	80-123
Cu mg kg <sup>-1</sup>		10-30	31-37
Zn mg kg <sup>-1</sup>		19-40	41-70
B mg kg <sup>-1</sup>	5-11	12-21	22-28

Adaptado de: Agronomía costarricense. 2005.



Esta especie tiene usos varios, entre los que se encuentran usos madereros, para combustible fósil y como planta de medicina tradicional (Oleas, Ríos-Touma, Peña y Bustamante. 2016). A más de estos usos, un estudio en Colombia propuso otros usos para esta especie ya que cuenta con potencial forrajero. Una de las propuestas es de cerca viva en la industria ganadera, debido a su alto tamaño. Otra propuesta es el de barrera rompe vientos, debido a su alto tamaño y su funcionamiento como cerca viva, permite romper la fuerza eólica evitando daños en cultivos de flores u otras especies que pueden sufrir por erosión provocada por vientos rápidos (Arboleda, Tombe, Morales, Vivas. 2013).

## **1.2. Justificación**

Ideas para la determinación del efecto de la contaminación sobre los organismos son eficientes para el ámbito ambiental porque permite una pronta respuesta frente a tóxicos encontrados en el lugar que provoquen afectación a ecosistemas y a asentamientos humanos. De esta manera se tomarán medidas que permitan reducir los contaminantes de origen industrial y en zonas agrícolas para que el ecosistema afectado cuente con una resiliencia óptima. Otro aporte ambiental es el de ofrecer una alternativa para la reforestación con *Alnus acuminata* en las riberas ya que es una especie común en estas zonas, que podría permitir mejorar en un mediano plazo la calidad ecológica de los ríos y empezar una recuperación de bosques de ribera andinos afectados por deforestación y contaminación.

## **1.3. Alcance**

En los cuatro meses de trabajo experimental y levantamiento de información en campo se logrará demostrar parámetros físicos químicos del río Pita tanto en campo como en laboratorio. También se medirán los datos de número de plántulas y árboles de *Alnus acuminata*, diámetro y altura de los árboles. Por último, se realizarán bioensayos en esta especie para determinar los efectos

negativos en su desarrollo morfológico y supervivencia al ser expuestas al agua del río Pita.

#### **1.4. Objetivos**

##### **1.4.1. Objetivo general**

- Evaluar la toxicidad del agua del río Pita mediante bioensayos con *Alnus acuminata*.

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Determinar la respuesta del *Alnus acuminata* en relación a la toxicidad del agua del río Pita.
- Conocer la respuesta ecológica de *Alnus acuminata* a las condiciones ambientales en campo.
- Correlacionar parámetros físicos químicos con los efectos en el desarrollo y en la tasa de mortalidad en plántulas de la especie *Alnus acuminata*.

## **2. CAPÍTULO II: Marco teórico**

### **2.1. Contaminación y eco toxicología**

Contaminación según la CDC (Centro de control de enfermedades) en el 2002, es el proceso en el que una sustancia (contaminante) extraña ingresa a un sistema, y puede o no afectarlo negativamente. Si el contaminante afecta negativamente al sistema el proceso se llama polución. Cuando el contaminante benigno ingresa en cantidades altas, se convierte en un polutante ya que el sistema se sobrecarga y evita su normal funcionamiento.

La contaminación es uno de los problemas más graves en la actualidad, principalmente en zonas urbanas e industriales que, por el incremento

acelerado de la población, la contaminación aumenta (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2018). La contaminación significativa es un problema para todos los países y para todas las personas ya que tiene un impacto negativo en la economía, el ambiente y la sociedad (Pacto global-Red Ecuador, 2017). Un ejemplo, fue el causado por la empresa Exxon Valdez en 1989, ocurrido en Alaska el cual, debido al accidente de un buque transportador de hidrocarburo, fueron derramados miles de galones de crudo afectando así al ecosistema acuático y al ecosistema terrestre de la zona. Otro ejemplo es el caso de British Petroleum en el Golfo de México que, en el año 2010, perforó el suelo oceánico provocando un derrame de hidrocarburo afectando a la flora y fauna tanto acuática como terrestre. Afortunadamente en ambos casos, debido a las técnicas remediadoras del ser humano, la contaminación se redujo, así evitando más daño para el ambiente y disminuyendo el riesgo para la población humana (Atlas, 2011).

La eco toxicología es una ciencia que se centra en el estudio de los efectos producidos por contaminantes en la salud humana y en el ambiente. En seres vivos, los efectos en su morfología y en desarrollo genético. También, como estos contaminantes pueden afectar a las poblaciones y comunidades en un ecosistema (Hoffman, et.al. 2002).

Tóxicos como plaguicidas y herbicidas son utilizados con más frecuencia en la actualidad, por lo que el contacto con estos por parte de personas y animales es inevitable. El envenenamiento puede resultar en diferentes tipos de exposiciones como; exposición aguda, crónica y secundaria. La exposición aguda es cuando ocurre un contacto a corto plazo con el tóxico produciendo la muerte instantánea o enfermedades a poblaciones animales y vegetales. La exposición crónica es cuando existe contacto a largo plazo, lo que produce afectaciones no inmediatamente letales. La exposición secundaria se refiere al momento en que la población humana o animal ingiere alimentos intoxicados (Badii, 2015).

La eco toxicología puede ser clasificada en tres factores de estudio que se relacionan entre sí en un mismo lugar y tiempo: Los factores abióticos, que

caracteriza la fisicoquímica de los ecosistemas; los factores bióticos, relacionado con la estructura biológica y sus funciones; y los factores de contaminación (Boudou, 2018). Un ejemplo de esta relación es el estudio realizado con semillas de lechuga con el fin de determinar la calidad del agua de una zona de manglar en Cuba. Los factores abióticos fueron las variables de luz, temperatura y cantidad de agua; los factores bióticos fueron las variables de mortalidad y germinación en la elongación de la radícula e hipocótilo; los factores de contaminación fueron las diferentes actividades industriales como refinería de aceite y procesadora de soja; como también efluentes de zonas urbanas. Los diferentes bioensayos con agua proveniente del estero, dio como resultado, mortalidad e inhibición de crecimiento radicular y del hipocótilo en las semillas de la planta, a diferencia del control donde no se encontró esas anomalías (Pérez, 2017).

## **2.2. Ecosistemas lóticos**

El agua es un constituyente importante para todo ser vivo, como las plantas ya que es necesario para el funcionamiento de sus células y tejidos. Actúa como bioquímico, disolviendo los compuestos nutritivos del suelo para que puedan ser circulados por la estructura de la planta y ser metabolizado para realizar sus diferentes funciones. Otra función es la de producir la turgencia celular, que es el proceso relacionado con la ósmosis, que permite una elasticidad de la membrana celular, por ende, se encuentra firmeza en órganos como el tallo y hojas. El agua actúa como refrigerante y regulador de temperatura, esto es demostrado en plantas encontradas en climas con temperaturas extremas como los Cactus, que almacenan agua para su supervivencia (Parker, 2000). Por último, el agua funciona como reactivo en diferentes procesos metabólicos importantes para la planta como la fotosíntesis. La fotosíntesis produce el alimento y la energía para que la planta realice sus funciones vitales. Este proceso utiliza la energía luminosa del sol para convertir dióxido de carbono y el agua en azúcares (Scribd, 2004). Es por esto que los ríos tienen una gran importancia como sistemas de distribución de agua por las cuencas

hidrográficas que sustentan a las comunidades vegetales tanto de las zonas de ribera como de las áreas de drenaje.

En un sistema lótico el movimiento del agua es horizontal, por lo que una cuenca hidrográfica con este tipo de ecosistema tendrá ríos, manantiales o riachuelos (Tundsi, 2008). La interacción de la biota con el ambiente fisicoquímico en este tipo de ecosistema está influenciada por la velocidad de la corriente del cuerpo de agua, abarcando la dinámica del transporte de energía y el ciclo de materiales. La velocidad de la corriente y la deposición de material varían de acuerdo con el trecho de cada río. Es por esto por lo que la parte baja de la cuenca va a recibir y depositar la mayoría de las sustancias transportadas desde las zonas altas (Tundsi, 2008). Este tipo de ecosistema ha sufrido alteraciones debido a las actividades humanas como la deforestación de los bosques de ribera, efluentes de origen industrial y urbano; y la erosión del suelo, ya que, si suceden alteraciones en un punto del río, al ser movimiento horizontal, las zonas bajas a ese punto sufrirán la contaminación ocurrida, lugar donde frecuentemente se asientan las poblaciones humanas (de Castro, 2015).

Un componente importante en los ecosistemas lóticos es el bosque de ribera, que es definido como una zona con descarga de aguas subterráneas encontradas en niveles bajo del nivel del agua (río). Refleja la dinámica entre el cauce del río y el flujo de agua subterránea. El bosque de ribera provee al ecosistema lótico de protección y de un reciclaje de nutrientes importante para el funcionamiento del planeta. (Delistraty, 1999). Otra función del bosque de ribera es el de actuar como zona de transición, realizando filtración de sólidos, depositando nutrientes y contaminantes, regulando la temperatura y la entrada de luz, entre otras (Kutschker et al., 2009). La vegetación del bosque de ribera contribuye con su sistema radicular el cual ayuda a la retención de contaminantes y estabiliza las márgenes reduciendo así el riesgo de que se produzca la erosión hídrica (Elosegi, 2009).

## 2.3. Contaminantes físico químicos en los ríos

### 2.3.1. Compuestos del nitrógeno

El nitrógeno es uno de los compuestos más importantes y abundantes en todas sus formas para la vida y funcionamiento del planeta Tierra. En la atmósfera es el compuesto más abundante cuando se encuentra en su forma molecular ( $N_2$ ). Existen elementos que reaccionan con el nitrógeno y forman compuestos como Nitritos ( $NO_2$ ), nitratos ( $NO_3$ ), amoníaco ( $NH_4$ ) y amonio ( $NH_3$ ) (Petrucci. et al. 2003).

El proceso de fijación de nitrógeno (conversión de nitrógeno atmosférico en amoníaco, amonio, nitrato o dióxido de nitrógeno) ocurre naturalmente pero también ocurre de manera antropogénica (García, 2017). Este proceso ocurre naturalmente gracias a colonias bacterianas y mantiene un orden de los diferentes compuestos encontrados en un ecosistema (Corrales, 2015). Cuando el humano aumenta la cantidad de nitrógeno fijado en el suelo por actividades como la agricultura que permite el aumento de pesticidas y fertilizantes, altera la estructura del suelo y de los macro y microelementos encontrados en este (Ramírez, 2017). El nitrógeno afecta de forma directa a las plantas de manera que permite una acumulación de  $NH_4$ , disminuyendo la capacidad de captación de luz por las hojas, produciendo clorosis (enfermedad que evita la captación del color verde en el espectro fotométrico, evitando así la fotosíntesis), y deficiencia catiónica (González, 2016). Estudios realizados en *Antennaria dioica* demostraron que las plántulas expuestas a una contaminación por nitrógeno disminuyen su crecimiento en raíces y en tallos (Jorgensen, 2010).

### 2.3.2. Sulfatos

Los sulfatos son compuestos formados por azufre gaseoso y oxígeno encontrado en el ambiente (Petrucci. et al. 2003. p. 267). La fuente principal de estos contaminantes es la combustión de combustibles fósiles (que contienen

varios compuestos a base de azufre) para el transporte y la obtención de energía para diferentes actividades antropogénicas. Estos gases al igual que los compuestos a base de nitrógeno afectan la salud humana y son responsables de varios problemas ambientales como lo son: acidificación de lagos, eutrofización y alteraciones en poblaciones vegetales y animales (Sterner, 2010. p,267).

Industrias como la minera, contaminan el agua de manera que cuando se dejan residuos ricos en sulfuros a la intemperie, tienden a oxidarse y liberar sulfatos, provocando que los ríos presenten un alto nivel de contaminación (Universidad de Huelva, 2016). El ion sulfato abunda en aguas naturales ya que un amplio rango de concentraciones proviene de aguas lluvias. Su determinación proporciona información valiosa respecto a la contaminación y a los fenómenos ambientales; también puede aportar datos del ácido sulfúrico proveniente del dióxido de azufre (May, 2016).

Los tejidos vegetales y la actividad celular pueden ser afectados por los altos niveles de sulfatos en el ambiente. Los sulfatos producen necrosis foliar (muerte prematura de hojas), que empiezan por manchas o agujeros distintivos. Otro problema es el de la lluvia ácida causada por el exceso de sulfatos en la atmósfera que lleva a la destrucción de tejidos u órganos importantes en la planta (Bureau, 2008.). Por último, la alta exposición a sulfatos puede llevar a la planta a sufrir clorosis y llevar a la falta de fotosíntesis (Walker, et.al. 2012. p.3).

### **2.3.3. PCBs (Bifenilos policlorados)**

Un gran número de PCBs se encuentran en el ambiente en forma de contaminante, ya que son de origen industrial. Por ejemplo, las descargas producidas por la industria de molienda tienen altos niveles de este contaminante como también este compuesto es usado como preservante de

madera, siendo este la mayor fuente de contaminación por PCBs (Walker, et.al. 2012. p.18).

La contaminación de suelo por PCBs es un problema actual de gran magnitud ya que estos compuestos tienen una alta estabilidad y tienen propiedades nocivas para el ambiente. Tienden a sedimentarse en varias capas del suelo por lo que los microorganismos biorremediadores del área no pueden degradarlos fácilmente permitiendo así una presencia a largo plazo del contaminante. Los PCBs se bioacumulan en seres vivos afectando la cadena trófica debido a migración de estos a cuerpos de agua. Dependiendo de la cantidad, dosis de PCBs pueden causar desde problemas de hígado hasta la muerte del organismo. (Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2016). Los PCBs afectan al crecimiento morfológico de las plantas ya que tiende a acumularse en sus tejidos u órganos, afectando la entrada de macro y microelementos importantes para el crecimiento de la planta (Jorgensen. 2010).

#### **2.3.4. Fosfatos**

El fósforo es un compuesto vital para toda célula viva y tiene un rol importante en todo tipo de procesos metabólicos de los seres vivos (Albaum. 1952). Este compuesto es también importante para el crecimiento abundante de cultivos, pero una vez que los niveles de fosfato son alterados por acción antrópica por detergentes o aguas negras encontrados en efluentes de viviendas, el suelo es erosionado y las plantas no pueden volver a tener un crecimiento normal (McKelvey. 1967).

La presencia de fosfatos en el agua, indica la posibilidad de que haya existido contaminación por aguas residuales, industriales o de origen agrícola. Los herbicidas o pesticidas organofosforados presentes en las aguas de riego son una advertencia de calidad del agua (Agotecnia, 2017). Este ion fosfato puede propagarse por escorrentía, lixiviación y filtración de desechos provenientes de las actividades antrópicas a cuerpos hídricos de consumo humano. Del mismo modo, se deben mantener controles en la potabilización del agua ya que una



exposición crónica y aguda a los contaminantes puede causar cáncer, desórdenes neurológicos, daño renal, problemas gástricos y metahemoglobinemia (Bolaños-Alfaro, 2017).

Los compuestos organofosforados son poco persistentes en el ambiente, por lo que, los efectos producidos a seres vivos se observan en un corto plazo (Badii y Varela, 2015). Los compuestos encontrados en los plaguicidas como los organofosforados son degradadoras del color en las hojas de plantas y algas, debido a que actúan sobre la fase luminosa de la fotosíntesis. Dando como resultado un desvío de electrones de transporte en el cloroplasto, formando radicales de  $O_2$  los cuales son muy reactivos ya que destruyen la clorofila y membranas celulares (García, 2017,).

## **2.4. Indicadores de calidad**

### **2.4.1. Demanda biológica de oxígeno**

La Demanda biológica de oxígeno o DBO5 es un análisis de laboratorio de carácter biológico el cual mide el oxígeno presente en el agua utilizado por microorganismos para degradar la materia orgánica en un período de cinco días. El análisis tiene una validez limitada, ya que mide la demanda de oxígeno de las aguas superficiales y la extrapolación de los resultados a la demanda real de la corriente es cuestionable, porque las condiciones del laboratorio no reproducen exactamente las condiciones de la corriente, particularmente, ya que se relaciona con la temperatura, la luz, la carga biológica, el movimiento del agua, la concentración de oxígeno, los nutrientes y las sustancias tóxicas. Este proceso permite determinar la razón probable de la descomposición en presencia de oxígeno de aguas con contaminantes (INEN. 2013).

### 2.4.2. Demanda química de oxígeno

La demanda química de oxígeno es un indicador de los compuestos oxidables encontrados en las muestras de agua. Es un estudio usado para la determinación de compuestos en aguas de corrientes fluviales, de origen industrial y de plantas de tratamiento de desechos. En presencia de un catalizador, el método incluye algunos compuestos orgánicos que están biológicamente disponibles para los organismos de las corrientes, mientras que incluye algunos compuestos biológicos que no son parte de la carga bioquímica inmediata sobre las reservas de oxígeno de las aguas receptoras (INEN. 2013. p. 1-3).

### 2.5. *Alnus acuminata*

#### 2.5.1. Taxonomía de la planta

Tabla 2.

*Taxonomía de la especie de estudio descrita.*

Nombre científico	<i>Alnus acuminata</i>
<b>Taxonomía</b>	Reino: Plantae Subreino: Tracheobionta División: Magnoliophyta Clase: Magnoliopsida Orden: Fagales Familia: Betulaceae Género: <i>Alnus</i>

Adaptado de Kunth, 1817.

### 2.5.2. Características generales

*Alnus acuminata*, comúnmente conocido como el Aliso, es una especie de planta que se extiende desde México hasta Argentina en rangos altitudinales comprendidos entre 1500 y 4000 m.s.n.m. La cual cuenta con flores de colores amarillos verdosos y frutos similares a piñas de 2 cm de diámetro, que alcanza a tener una altura de 30 metros. El uso antrópico de la planta es muy diverso que va desde el uso maderero por ser un árbol, como el de combustible fósil, el de la medicina tradicional ya que es conocido para tratar problemas de fiebre hasta el uso de reforestación y restauración ambiental (Oleas, Ríos-Touma, Peña y Bustamante. 2016).

*Alnus acuminata* es un árbol caducifolio con una altura máxima de 30 metros y 60 cm de diámetro a la altura del pecho. Monopodial (crecimiento de un tallo central con ramificaciones) en estado juvenil. Tiene una corteza negruzca con lenticelas (estructuras ovaladas de color claro encontradas en tallos maduros) dispersas alrededor del tallo. Hojas simples, alternas, helicoidales elípticas de entre 5-15 x 5-10 cm acuminadas, obtusas en la base de las hojas y aserradas en los bordes con un haz glabro y un envés pardo. Los nervios encontrados en la hoja son hundidos en el haz dando como resultado un aspecto corrugado. Pecíolo de 1,3-2,8 cm de largo. Inflorescencia masculina en amento pendiente de hasta 15 cm de largo, la inflorescencia femenina tiene en amento erguido de 1,5-3 cm de largo. Infrutescencia un cono leñoso negro de 1,5-3 cm de largo. Semillas de >1 cm de diámetro (Palacios. 2016).

Según Kunth (1817), cuando describió a la especie por primera vez, esta especie crece en bosques de galería, ribera, tropical, encino, pino-encino y mesófilo de montaña. Esta especie tiene una importancia en cada uno de los ecosistemas mencionados ya que es importante en las etapas sucesionales en los bosques de tierras bajas. También porque evita la erosión del suelo ya que es invasora de sitios expuestos (sitios que fueron erosionados por procesos anteriores), formando bosquecillos y protege al río de erosión por viento. En un ecosistema donde existió deforestación, esta especie es muy importante ya que son fijadores de nitrógeno atmosférico ayudando a una mejor regeneración

del suelo, dependiendo de la especie de aliso la fijación de nitrógeno va desde 40 a 780 kg de Nitrógeno por hectárea en un año. Otros servicios que ofrece esta especie son el del control de erosión causada por viento y lluvia, protección del sistema de cuencas debido a que estabiliza pendientes, mejora la fertilidad de los suelos, beneficia a los cultivos que crecen junto a esta especie ya que ayuda a la fijación de nitrógeno y protege de erosión para los cultivos.

## 2.6. Legislación Ambiental del Ecuador

### 2.6.1. Constitución de la República del Ecuador

Únicamente se encuentran los límites permisibles para el riego en zonas agrícolas o calidad de agua para fines recreativos ya que compete al Punto 1 y al Punto 2 de estudio.

Tabla 3.

*Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua*

<b>Artículo</b>	<b>Definición</b>
Capítulo 4. DESARROLLO. Tabla 6	Calidad de agua de uso agrícola o de riego.
Capítulo 4. DESARROLLO. Tabla 7	Parámetros de los niveles de calidad de agua de uso agrícola o de riego.
Capítulo 4. DESARROLLO. Tabla 9	Calidad de agua para zonas con fines recreativos.

Adaptado de: INEN, 2015

## 2.6.2. Ordenanzas Municipales del cantón Rumiñahui

Tabla 4.

*Registro oficial N°31 de 22 de septiembre del 2009*

<b>Artículo</b>	<b>Concepto</b>
TÍTULO 1. Art. 1 DE REDUCCIÓN EN LA FUENTE, inciso g	Se estipula que toda fuente que descargue todo vertido debe responsabilizarse de la reducción del nivel de contaminación en ríos para evitar todo tipo de alteración en el ambiente y problemas legales.
TÍTULO IV, CAPÍTULO 1. Art. 100 OBLIGACIONES DEL REGULADO, inciso 2	Las fuentes deben presentar anualmente en el mes de diciembre, un reporte de las características de sus vertidos y de la cantidad descargada al ambiente. Este reporte se debe realizar por entidades o personas naturales o jurídicas registradas en la Dirección de Protección Ambiental
TÍTULO IV, CAPÍTULO VII. Art. 143 SUJETOS DE CUMPLIMIENTO	En este artículo se estipulan las leyes para los tipos diferentes de industria en relación a los contaminantes que estos descargan.
TÍTULO IV, CAPÍTULO XI. Art. 154 INFRACCIONES	Se estipulan las infracciones que tendrán las fuentes de origen si no cumplen con los artículos anteriores.
TÍTULO IV, CAPÍTULO XVI. Art. 167 NORMAS	Acogerse a las normas de límites permisibles para la descarga de efluentes establecidas en la normativa ambiental nacional.
TÍTULO IV, CAPÍTULO XVII. Art. 169 SITUACIONES DE EMERGENCIA	En los casos de situaciones de emergencia de los sistemas de almacenamiento, producción, depuración, transporte o disposición final, que signifique la descarga hacia el ambiente de materias primas, productos, aguas residuales, residuos sólidos, lodos o emisiones potencialmente contaminantes, que perjudiquen la salud y el bienestar de la población, la infraestructura básica y la calidad ambiental de los recursos naturales, y que principalmente ocasionen los siguientes eventos:

Adaptado de Concejo Municipal de Rumiñahui, 2009

### 3. CAPÍTULO III: Metodología

El siguiente trabajo de fin de carrera consta de dos fases.

➤ Fase de campo:

- Estudio poblacional de *Alnus acuminata*
- Determinación de los parámetros físico químicos *in situ*

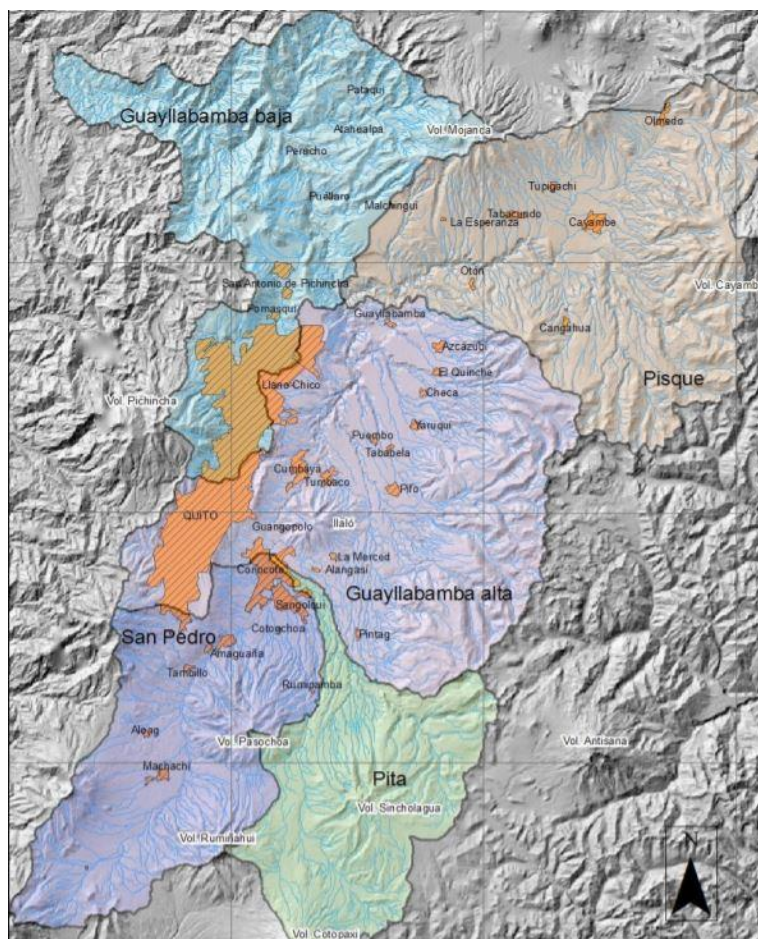
➤ Fase experimental

- Realización de bioensayos para determinar los efectos toxicológicos del agua del río Pita sobre el desarrollo y supervivencia en plántulas de *Alnus acuminata*.

#### 3.1. Descripción del área de estudio

El área de estudio la microcuenca del río Pita la cual pertenece a la cuenca de Guayllabamba, que tiene como origen el flanco sur del Sincholagua y como final la zona alta de la cuenca del Guayllabamba. La zona de estudio es importante debido a que abastece el 40% del agua potable del Distrito Metropolitano de Quito (Cabrera. 2012).

La mayor parte del caudal del río Pita proviene de las quebradas Miradero, el cual drena agua desde el flanco sur de la montaña Sincholagua. El río forma una microcuenca representada en la *figura 1* realizada por el Ministerio del Ambiente, donde la zona baja pertenece a la parroquia de Pintag representando un 55,8% del total y la zona alta pertenece a la parroquia Machachi del cantón Mejía que representa un 38,3% del total. La zona restante se encuentran las parroquias de Rumipamba de Sangolquí (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2012).



*Figura 1.* Cuenca del Guayllabamba donde se encuentran sus microcuencas limitadas entre sí.

Adaptado de Fundación Futuro Latinoamérica, 2012.

De acuerdo con la clasificación de Sierra en 1999, la cuenca del río Pita, que se encuentra en un rango altitudinal de entre 2000 y 6000 m.s.n.m., pertenece a la clasificación vegetal Bosque de neblina montano en la zona baja y páramo arbustivo en la zona alta. Sus usos de suelo son de ganadería, agricultura y asentamientos humanos (Guilcatoma, 2018). Según la EMAAP-Q en un estudio realizado en el 2006, en la microcuenca del río Pita existen tres tipos de cobertura vegetal: piso mineral, sistema paramero y sistema de transición paramero-antropogénico (Ministerio del Ambiente. 2012). El área de estudio se

encuentra en la zona baja de la cuenca del río Pita ya que su rango altitudinal es de entre 2400 y 2900 m.s.n.m. y pertenece a la clasificación vegetal Bosque de neblina montano.

### **3.2 Descripción de la especie de estudio**

*Alnus acuminata*, comúnmente conocido como Aliso, se distribuye desde México hasta Argentina, en rangos altitudinales comprendidos entre 1500 y 4000 m.s.n.m. El Aliso llega a tener una altura máxima de 30 metros, sus flores son de colores amarillos-verdosos y sus frutos son similares a piñas de 2 cm de diámetro. Los usos de la planta son el maderero, medicina tradicional (ya que es conocido por tratar problemas de fiebre) y de restauración ambiental (Oleas, Ríos-Touma, Peña y Bustamante. 2016).

### **3.3. Determinación de los puntos de muestreo**

Para la determinación de los puntos de muestreo se revisó el Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Rumiñahui del año 2014. Donde se determinaron tres zonas de muestreo; el primer punto (Punto 1) con coordenadas Latitud:  $-0.400956^{\circ}$ ; Longitud:  $-78.383733^{\circ}$  y una altura de 2861 m.s.n.m., se encuentra en una zona de clase VIII, clasificada como una zona para la recreación forestal donde la contaminación será muy baja. El segundo punto (Punto 2) con coordenadas Latitud:  $-0.330398^{\circ}$ ; Longitud:  $-78.418922^{\circ}$  y una altura de 2558 m.s.n.m., se encuentra en una zona de clase III, clasificada como un zona agrícola, pecuaria, agropecuaria o forestal ligera a moderadas limitaciones, donde la contaminación en el agua es media. Por último, el tercer punto (Punto 3) con coordenadas Latitud:  $-0.296142^{\circ}$ ; Longitud:  $-78.459882^{\circ}$  y una altura de 2461 m.s.n.m. es de clase I, clasificada como la zona urbana de San Rafael que muestra una contaminación en el agua alta (GAD Rumiñahui, 2014). En la *figura 2* se encuentran los puntos de muestreo en un mapa de la zona baja del río Pita. La *tabla 7* muestra fotos del punto de muestreo, donde se observa una sección del río y la vegetación que lo rodea.



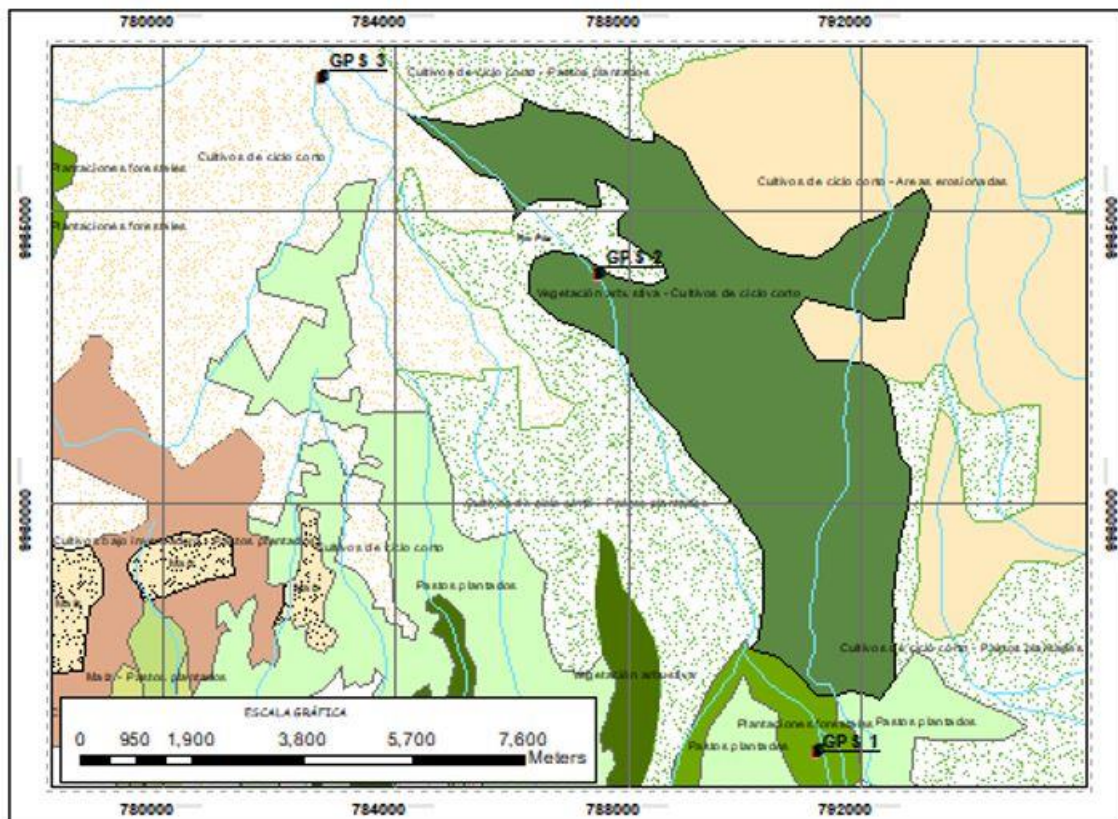





Figura 2. Puntos de muestreo en un mapa de la zona baja de la cuenca del río Pita

Tabla 5.

*Puntos de muestreo con sus respectivas coordenadas e imágenes.*

Punto de muestreo	Imagen
Punto 1	
Punto 2	
Punto 3	

### 3.4. Densidad de *Alnus acuminata* en los puntos de muestreo

Para individuos adultos, el levantamiento vegetal fue a partir de cuadrantes. Se tomó un área de 100 m x 50 m en cada una de las orillas del río; y dentro de esta se trazaron 5 cuadrantes de 10 m x 5 m en áreas amplias y de 5 m x 5 m

en áreas donde los taludes eran muy marcados. En cada cuadrante se contabilizó el número total de árboles con una altura mayor a 3 m, y se identificó a la especie *Alnus acuminata*. Posteriormente se hizo una relación de la representatividad del aliso en cada una de las zonas de estudio, el cálculo del diámetro a la altura del pecho y la altura de cada uno de los individuos de la especie de *Alnus acuminata* para calcular el volumen de biomasa en madera de cada uno de los individuos (García et. al. 2006. p. 365).

Para el estudio de plántulas, se trazaron cuatro transectos por punto, como muestran la *figura 3, 4 y 5*, dos en sentido del río a ambas orillas de 100m de largo x 1m de ancho; y los otros cuadrantes transversales de 50m de largo x 1m de ancho en áreas amplias y de 10m de largo x 1m de ancho en zonas con taludes muy marcados. En cada uno de los cuadrantes se hizo un barrido en *zigzag* para encontrar y contabilizar todos los individuos de *Alnus acuminata* comprendidos entre 20-50 cm de altura (Martella. 2012. p.1).



*Figura 3.* Cuadrantes para el conteo de plántulas de *Alnus acuminata* en el punto 1

Adaptado de Google Earth, 2018



Figura 4. Cuadrantes para el conteo de plántulas de *Alnus acuminata* en el punto 2

Adaptado de Google Earth, 2018



Figura 5. Cuadrantes para el conteo de plántulas de *Alnus acuminata* en el punto 3

Adaptado de Google Earth, 2018

### **3.5. Determinación de parámetros físico químicos del agua *in situ***

Con ayuda del potenciómetro marca YSI modelo PRO-1030 se midió los siguientes parámetros: pH (log de iones de hidrógeno), conductividad eléctrica (micro-siems), turbidez (NTU) y total de sólidos disueltos (mg/l). Se midió el oxígeno disuelto en porcentaje con ayuda del potenciómetro marca YSI modelo PRO ODO.

### **3.6. Recolección de muestras de agua**

En campo se recolectaron 30 litros de agua por punto de muestreo, en bidones plásticos para el riego. El agua fue recolectada cada tres semanas. También se recolectó 1 litro de agua en botellas de vidrio ámbar para realizar análisis físico químicos en laboratorio, los cuales fueron realizados una vez por mes (marzo, abril y mayo del 2018). Tanto el agua para los bioensayos, como el agua para los análisis de laboratorio fueron mantenidas en refrigeración a 4°C.

### **3.7. Determinación de los parámetros físico químicos del agua en laboratorio**

En el laboratorio las muestras de agua fueron analizadas mediante espectrofotometría en un espectrofotómetro marca SHIMADZU, modelo UVMINI 1240, para la determinación de los siguientes contaminantes: Con la metodología del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios ambientales (Nitrito en agua por espectrofotometría) se analizó el parámetro de Nitritos (N-NO<sub>2</sub> mg/l), con la metodología Screening method del Standard Method 4500 se analizaron los parámetros de nitratos (N-NO<sub>3</sub> mg/l) y nitrógeno amoniacal (N-NH<sub>3</sub> mg/l), con la metodología Standard methods Inorganic Nonmetals 4500-SO 4 2- E. Turbidimetric Method se determinaron sulfatos (SO<sub>4</sub> mg/l), con la metodología de la Dirección nacional de medio ambiente. Laboratorio Dinama - Edición 1996 se analizaron cloruros (Cl<sup>-</sup> mg/l), demanda química de oxígeno (mgO<sub>2</sub>/l) y alcalinidad (mg CaCO<sub>3</sub>/l), con la metodología Standard methods

4500-P se analizaron fosfatos (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-mg/l) y con la metodología del manual OxiTop, se analizó la demanda biológica de oxígeno (mg O<sub>2</sub>/l).

### 3.8. Diseño Experimental

Se trabajó en un diseño completamente al azar (DCA); utilizando el agua del río Pita en sus diferentes zonas (usos de suelo) como factor, con la cual las plántulas fueron regadas. Según la guía para el manejo de la especie forestal llamado Aliso, una plántula de vivero lista para ser trasplantada tiene una altura mínima de entre 20-25 cm, y una altura máxima de 60 cm, es por esto que se escogieron 60 plántulas con alturas comprendidas entre 20 y 50 cm de 3-4 meses de edad (Ospina et.al. 2005).

#### 3.8.1. Variables independientes

Tabla 6.

*Factores y niveles para la determinación de unidades experimentales del proyecto.*

Factor	Niveles	Repeticiones
Agua del río Pita	Tratamiento 1: Agua procedente del Punto 1, zona destinada por el GAD de Rumiñahui para recreación forestal, por lo que presenta contaminación baja	15 individuos por cada tratamiento
	Tratamiento 2: Agua procedente del Punto 2, zona destinada por el GAD de Rumiñahui para uso agrícola, por lo que presenta contaminación media	
	Tratamiento 3: Agua procedente del Punto 3, zona destinada por el GAD de Rumiñahui para uso urbano, por lo que presenta contaminación alta	
	Testigo: Agua potable reposada del DMQ	

<b>TOTAL DE INDIVIDUOS</b>	<b>60</b>
----------------------------	-----------

Se construyó un invernadero casero de medidas de 2 x 1,5 metros y un techo piramidal, con altura total de 1,80 metros. Se partió de plántulas de 3 meses de edad con alturas entre 20 y 50 cm que fueron adquiridas en un vivero de Nayón. Las plántulas fueron expuestas a experimentación por un período de 45 días con un riego de 100 ml de agua tres veces por semana, fueron colocadas aleatoriamente en cuatro diferentes colores. Para el tratamiento del punto 1 se utilizó color azul, para el punto 2 se utilizó color amarillo, para el punto 3 se utilizó color rojo y para el testigo se utilizó el color verde.

### 3.8.2. Variables dependientes

Las variables medidas fueron:

- Supervivencia
- Cambios morfológicos de las plántulas *Alnus acuminata*:
  - a. Número de hojas (cada 15 días)
  - b. Estado foliar (cada 15 días)
  - c. Diámetro del tallo (cada 15 días)
  - d. Longitud del tallo (cada 15 días)

#### a. Hojas

La siguiente tabla muestra los criterios para la calificación de plantas según el estado foliar, tomando en cuenta características como manchas, putrefacción y clorosis, medido en porcentaje

Tabla 7.

*Criterios para la clasificación del estado foliar.*

<b>Siglas</b>	<b>Criterios</b>
Muy Bueno (MB)	>90% de hojas sin presentar clorosis o putrefacción
Bueno (B)	≤90%-40% de hojas sin presentar clorosis o

	putrefacción
Malo (M)	≤40%-20% de hojas sin presentar clorosis o putrefacción
Muy Malo (MM)	≤20% de hojas sin presentar clorosis o putrefacción

### **b. Desarrollo del tallo**

- Diámetro del tallo en milímetros
- Longitud del tallo en centímetros

### **c. Supervivencia**

Se determinó la medición en porcentaje del número de plántulas vivas al final de la experimentación. Con la siguiente ecuación:

$$\%P = \frac{\text{Número de plántulas al final del experimento}}{\text{Número de plantas al inicio del experimento}} \times 100 \quad (\text{Ecuación 1})$$

## **3.9. Análisis de resultados**

### **3.9.1. Análisis de varianza**

Se usó el programa PAST 3 (Paleontological Statistics 3.2), un software que fue creado para análisis estadístico de investigaciones paleontológicas. Actualmente es usado para procesos de estadística como el ANOVA. Los datos fueron ordenados según su tratamiento, y comparados entre tratamiento y variable para obtener un dato de significancia, y si este dato era menor a 0,05 la hipótesis nula era rechazada (Hammer. 2018). En la experimentación, se realizaron los siguientes ANOVAS:

- Número de hojas: Medición inicial con medición final
- Diámetro del tallo: Medición inicial con medición final
- Longitud del tallo: Medición inicial con medición final



### **3.9.2. Análisis de Componentes Principales (ACP)**

Se usó el programa PAST 3 (Palentological Statistics 3.2), donde se insertaron columnas con los datos obtenidos en laboratorio y en campo del agua del río Pita, expresado en promedio. Por último, se realizó el ACP en el programa el cuál expresa en porcentaje el contaminante con mayor relevancia en el experimento y un gráfico BIPLLOT (Hammer. 2018), el cual fue interpretado según la tesis de Szoradova en 2012, donde se estudian cambios en las raíces de diferentes árboles sobre la afectación urbana. En el programa PAST 3 para el ACP se medirán las variables de: pH, turbidez, total de sólidos disueltos, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, nitritos, nitratos, sulfatos, cloruros, fosfatos, DQO y DBO en los tres puntos de muestreo.

### **3.9.3. Análisis de Correlación**

Para esto se usó el programa de libre acceso PAST 3 (Palentological Statistics 3.2). Se usó una combinación lineal con la primera columna a ser medida con las variables ambientales del río (parámetros físico químicos) y en la otra columna las variables a medir de las plantas. Mediante la regresión lineal Pearson, se determinó la correlación entre las variables independientes y dependientes (Hammer. 2018. p. 56). En el programa PAST 3 para el Análisis de correlación se medirán las variables de: Número de hojas, diámetro del tallo, longitud del tallo, pH, turbidez, total de sólidos disueltos, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, nitritos, nitratos, sulfatos, cloruros, fosfatos, DQO y DBO en los tres puntos de muestreo.

## **4. CAPÍTULO IV: RESULTADOS**

### **4.2. Respuesta ecológica del área de estudio en relación con la especie**

#### **4.2.1. Densidad de plántulas**

El número de plántulas de aliso fue muy bajo en el punto 1 (2 plántulas en un

área de 300 m<sup>2</sup>) y nulo en los otros dos puntos. Las características de las plántulas silvestres fueron similares a las plántulas de la experimentación, ya que, la primera plántula tenía 10 hojas, 5 milímetros de diámetro de tallo y 48 centímetros de altura del tallo, la segunda plántula tenía 8 hojas, 6 milímetros de diámetro de tallo y 65 centímetros de altura del tallo. La *tabla 8* muestra los datos de densidad poblacional de plántulas de Aliso en relación al área.

#### 4.2.2. Densidad de alisos en relación con otras especies

En el conteo de árboles para los cinco diferentes cuadrantes, se calculó un 51,51% de árboles de *Alnus acuminata* en relación con la vegetación arbórea del punto 1 y una densidad poblacional de 0,034 árboles de la especie por metro cuadrado. En el punto 2 de contaminación media se encuentra un valor de 11,9% de árboles de Aliso en relación con la vegetación arbórea de la zona una densidad poblacional de 0,001 árboles de la especie por cada metro cuadrado. Por último, en el punto más contaminado, el punto 3, no cuenta con ningún árbol de la especie estudiada por lo que tiene una densidad poblacional de 0 árboles por cada metro cuadrado.

Tabla 8.

*Abundancia de árboles y relación número de árboles con abundancia de Alnus acuminata de los puntos de muestreo.*

Punto de muestreo	Cuadrante	N° árboles de alisos	N° de árboles en total	Porcentaje de alisos encontrados por cuadrante	Porcentaje de alisos encontrados por punto	Densidad poblacional de los árboles de Aliso por m <sup>2</sup>
1	A	3	5	60%	51,51%	0,034
	B	3	5	60%		
	C	5	6	83%		
	D	1	6	17%		
	E	5	11	45%		
<b>TOTAL DE ÁRBOLES DE ALISO EN 5000 m<sup>2</sup>: 17</b>						
2	A	1	7	14,3%	11,9%	0,001
	B	3	7	42,9%		
	C	0	7	0%		
	D	1	12	8,3%		
	E	0	9	0%		

TOTAL DE ÁRBOLES DE ALISO EN 5000 m <sup>2</sup> : 5						
3	A	0	3	0%	0%	0,0
	B	0	6	0%		
	C	0	4	0%		
	D	0	5	0%		
	E	0	5	0%		
TOTAL DE ÁRBOLES DE ALISO EN 5000 m <sup>2</sup> : 0						

#### 4.2.3. Diámetro a la altura del pecho y altura de los árboles

La *tabla 9* muestra los valores obtenidos en campo de cada uno de los árboles encontrados en los puntos de muestreo, 1 y 2. Se observa que los valores promedio para las tres mediciones del punto 1 son mayores a los del punto 2. Esto demuestra que el desarrollo de los árboles de *Alnus acuminata* en el punto 1 es mayor, ya que si comparamos el valor mayor de biomasa en el punto 1 es de 8,8 m<sup>3</sup>, mientras que el valor mayor de biomasa del punto 2 es de 5,4m<sup>3</sup>, esto indica no solo un mejor desarrollo en el punto 1 si no también una mejor germinación ya que se encuentran más individuos maduros.

Tabla 9.

*DAP y alturas de árboles en los puntos de muestreo.*

Punto de muestro	Cuadrante	Código de árbol	DAP (cm)	Altura (m)	Volumen de biomasa madera (m3)
1	A	P1_A.1	6,0	6,8	3,7
		P1_A.2	8,0	8,5	5,3
		P1_A.3	6,7	8,1	4,7
	B	P1_B.1	11,5	11,7	8,8
		P1_B.2	4,8	6,1	3
		P1_B.3	8,6	9,1	5,9
	C	P1_C.1	5,7	6,2	3,3
		P1_C.2	7,3	8,5	5,1
		P1_C.3	8,6	9,8	6,4
		P1_C.4	8,9	9,1	6
		P1_C.5	8,9	9,6	6,4
	D	P1_D.1	6,0	7,2	3,9
	E	P1_E.1	9,5	10,8	7,4
		P1_E.2	7,6	9,1	5,6
		P1_E.3	8,6	9,7	6,3
P1_E.4		6,0	6,8	3,7	
P1_E.5		11,1	11,2	8,3	
<b>Promedio punto 1</b>			<b>7,87</b>	<b>8,72</b>	<b>5,51</b>
2	A	P2_A.1	6,0	7,4	4
	B	P2_B.1	6,7	8,1	4,7
		P2_B.2	5,1	7,1	3,6
		P2_B.3	7,6	8,8	5,4
	C	P2_C.1	7,0	8,3	4,9
<b>Promedio punto 2</b>			<b>6,48</b>	<b>7,94</b>	<b>4,52</b>

### 4.3. Análisis de componentes principales

La *figura 14* muestra la distribución de los contaminantes físico químicos en los puntos de muestreo. Se observa que el oxígeno disuelto en porcentaje tiene mayor valor en los puntos 1 y 2, mientras que la conductividad eléctrica, alcalinidad y los contaminantes químicos como sulfatos, nitritos, amonio, DBO<sub>5</sub> y DQO tienen mayor valor en el punto 3.

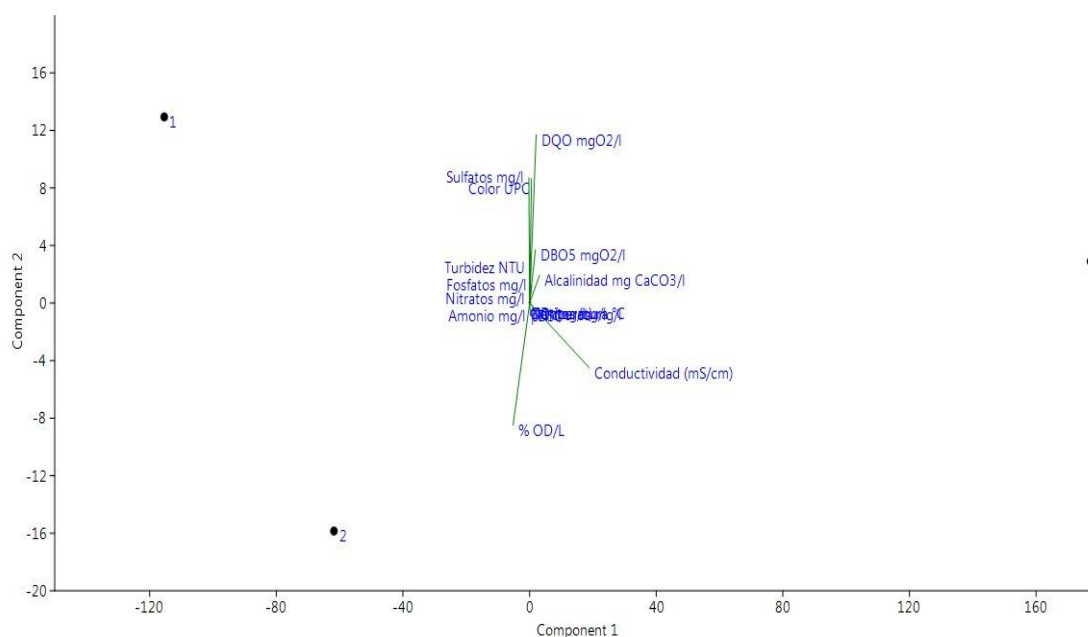


Figura 6. BIPLLOT del análisis de componentes principales.

Tabla 10.

Valores de porcentaje de varianza de los dos compuestos analizados en el análisis de componentes principales.

Componente	% Varianza
1	99,128
2	0,871

En la *tabla 10* se observan los dos componentes principales analizados donde el primer componente principal tiene el porcentaje mayor de 99,128% y el componente principal 2 tiene un valor de 0,871%. Esto demuestra que los contaminantes encontrados en el componente principal 1 tienen mayor influencia en los puntos de muestreo que los contaminantes encontrados en el componente principal 2.

Tabla 11.

Valores de porcentaje significativo de los contaminantes por cada uno de los componentes analizados.

	Componente principal 1	Componente principal 2
pH	-0,0032	-0,0061
Sólitos totales	0,0008	-0,0053
Conductividad eléctrica	0,937	-0,223
Temperatura	0,0274	0,00243
%OD	-0,259	-0,421
Turbidez	0,011	0,11
Nitritos	0,0011	0,0020
Nitratos	0,002	0,014
Amonio	0,014	-0,043
Fosfatos	0,032	0,061
DBO <sub>5</sub>	0,092	0,185
DQO	0,102	0,580
Cloruros	0,082	-0,020
Sulfatos	-0,012	0,432
Alcalinidad	0,156	0,096

La *tabla 11* muestra el valor de los contaminantes analizados en cada uno de los componentes principales. En el componente principal 1 se explica cómo contaminación significativa a la conductividad eléctrica y en menor valor el DQO y la alcalinidad. En el componente principal 2 se explica cómo contaminación significativa el DQO, DBO<sub>5</sub> y sulfatos.

#### 4.4. Determinación de la respuesta del *Alnus acuminata* con relación a la toxicidad del agua del río Pita

##### 4.4.1. Número y estado de las hojas en la experimentación

En la *figura 7* se puede observar que el número de hojas en el tiempo inicial fue similar y en el tiempo final el punto 3 (zona más contaminada) fue el que tuvo

un número menor de hojas, seguido por el punto con contaminación media. El punto 1 mostró un mayor número de hojas que el testigo, sugiriendo que la calidad de agua de este punto es mejor para el desarrollo de *Alnus acuminata* que la del sistema de agua potable del DMQ. El número de hojas promedio de los cuatro tratamientos al tiempo final de la irrigación no tiene una variación significativa, demostrada en el método del ANOVA ( $F=0,68$  y  $p=0,568$ )

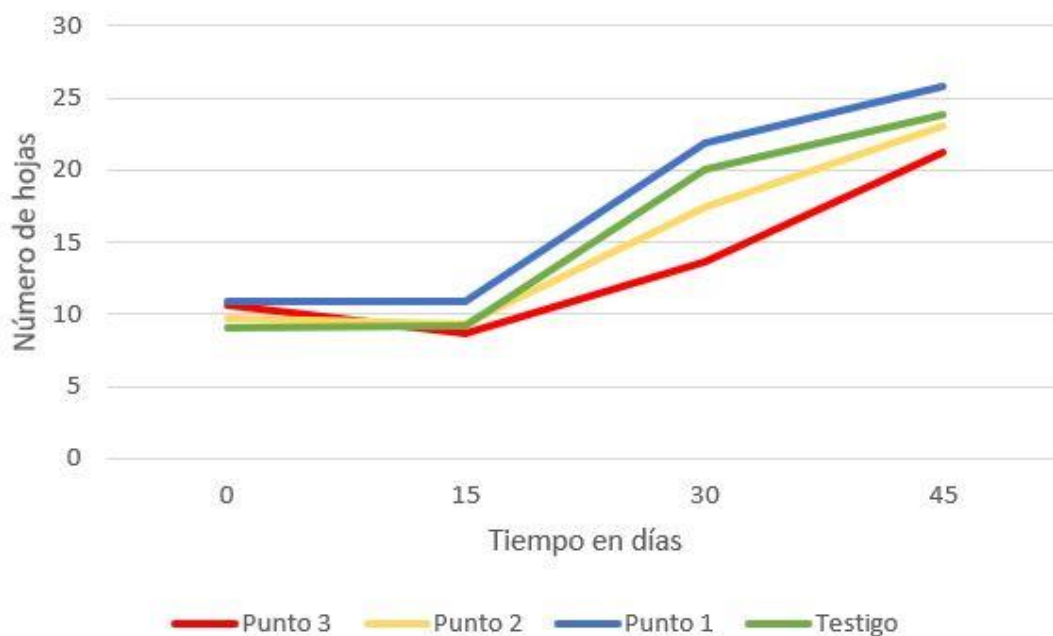
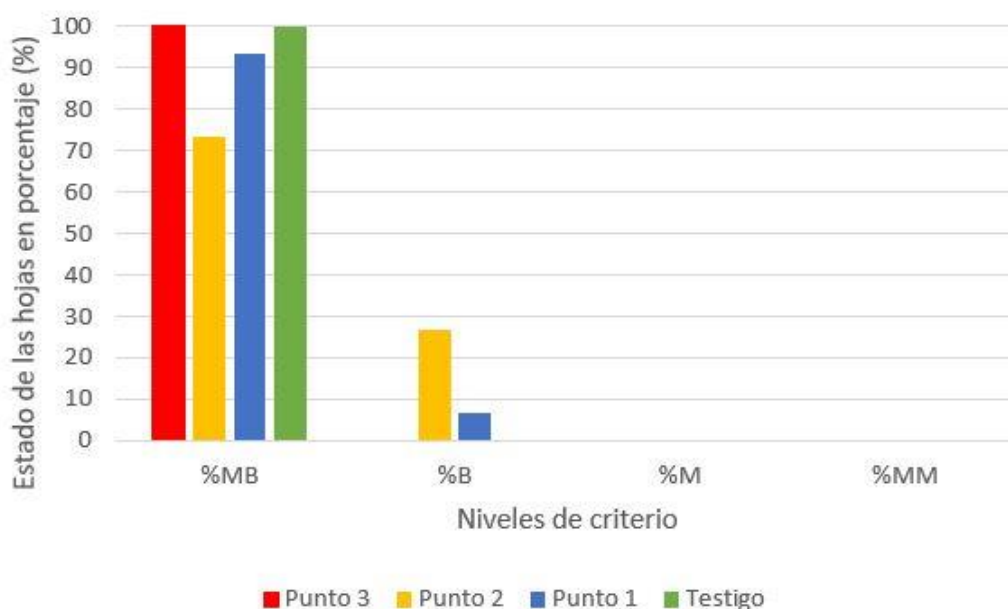


Figura 7. Promedio del número de hojas para los cuatro tratamientos en los cuatro tiempos de medición.

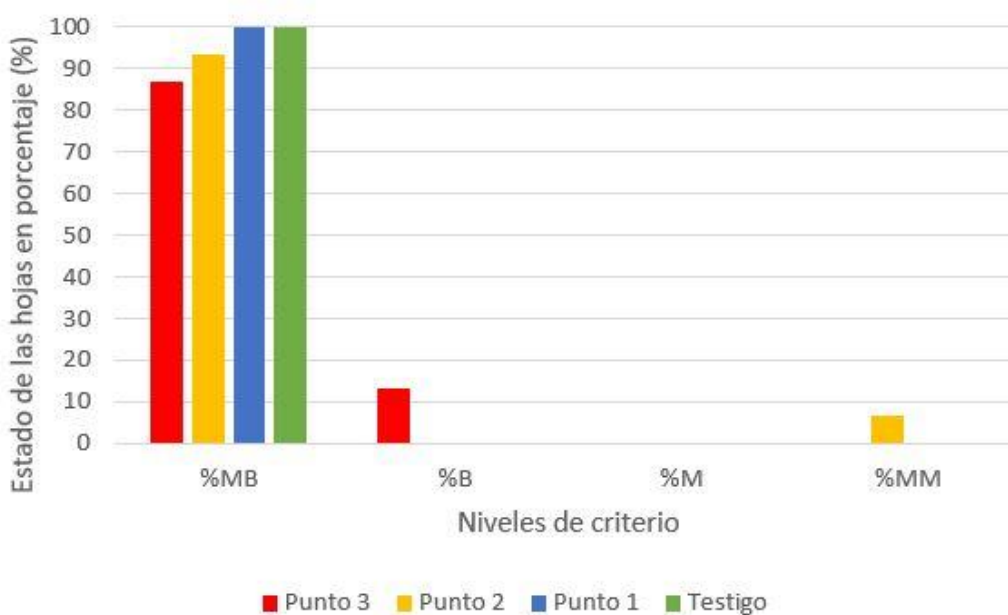
#### 4.4.2. Estado de las hojas

Los datos del estado de las hojas en el tiempo inicial y tiempo final muestran una categorización de los criterios de MB, B, M y M.



*Figura 8.* Porcentajes de los niveles de criterio en el tiempo inicial por los tratamientos

La *figura 8* muestra el porcentaje de hojas en muy buen estado en el tiempo inicial de la experimentación. Todos los tratamientos tuvieron el mayor porcentaje de sus individuos en el criterio MB (muy bueno). Los únicos tratamientos con variación son el del punto 2 y el del punto 3 que tienen un porcentaje bajo de hojas en criterio B (bueno).



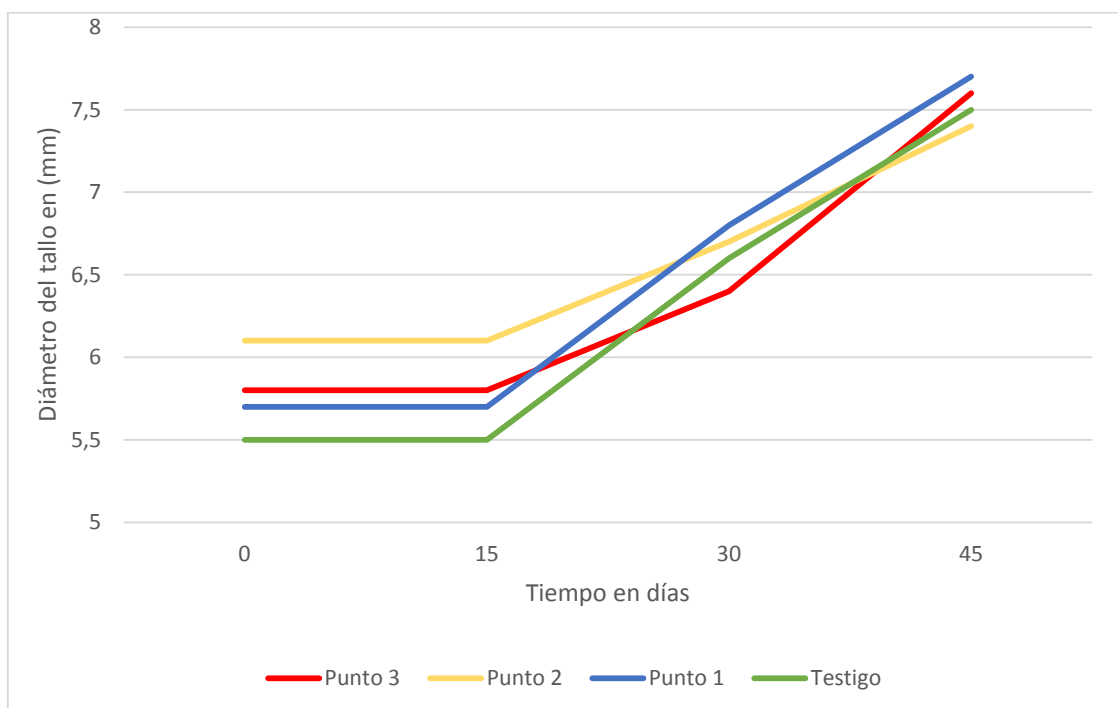
*Figura 9.* Porcentajes de los niveles de criterio en el tiempo final por los tratamientos



A diferencia del tiempo inicial, en el tiempo final el tratamiento del punto 3 tuvo una reducción en su porcentaje de individuos en el criterio de muy buen estado, mientras que los individuos del punto 2 fueron los únicos con un porcentaje en el criterio de muy mal estado. El estado de hojas promedio entre el tiempo inicial y tiempo final para los cuatro tratamientos no tiene una variación significativa, demostrada en el método del ANOVA ( $F=0,222$  y  $p=0,654$ ).

#### 4.4.3. Tallo

En la *figura 10* se observan datos similares en el desarrollo del diámetro del tallo para todos los tratamientos en el tiempo inicial y en el tiempo final. Sin embargo, en la *figura 11* se observa que los tratamientos que tuvieron un mayor crecimiento fueron el del punto 1 y testigo. El desarrollo del diámetro del tallo de los cuatro tratamientos al tiempo final de la irrigación no tiene una variación significativa, demostrada en el método del ANOVA ( $F=1,4$  y  $p=0,2513$ ).



*Figura 10.* Promedio del diámetro del tallo para los cuatro tratamientos en los cuatro tiempos

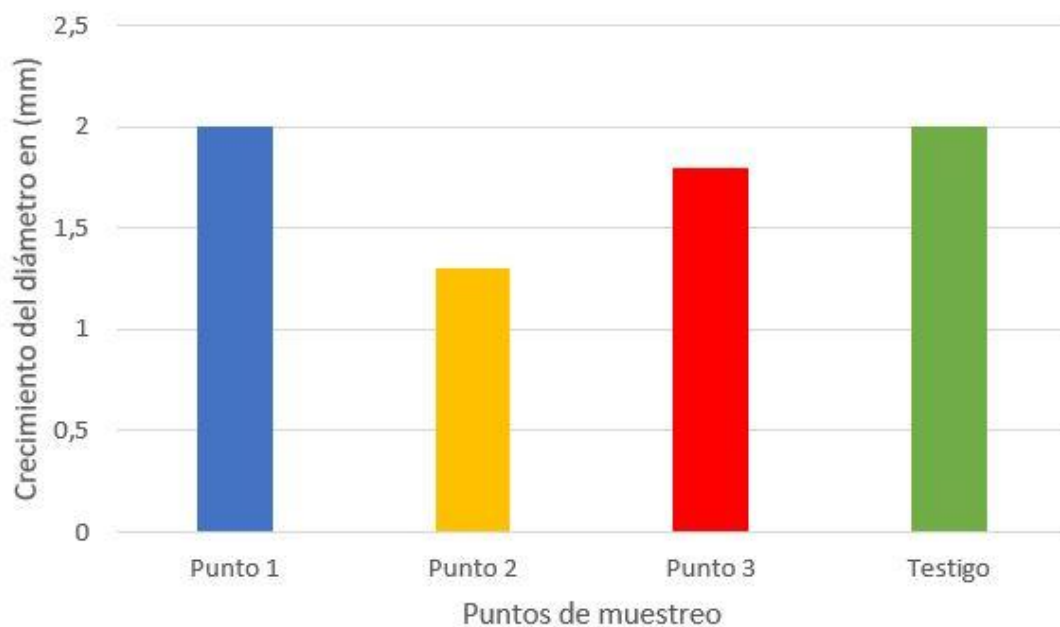


Figura 11. Crecimiento del diámetro del tallo por tratamientos

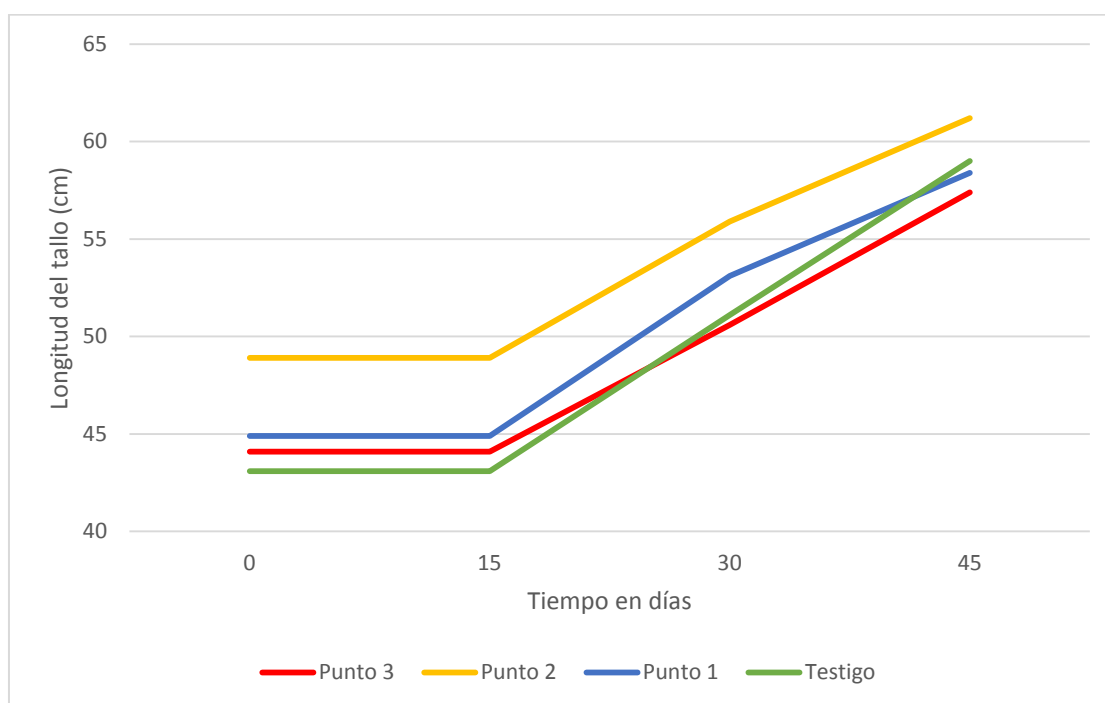
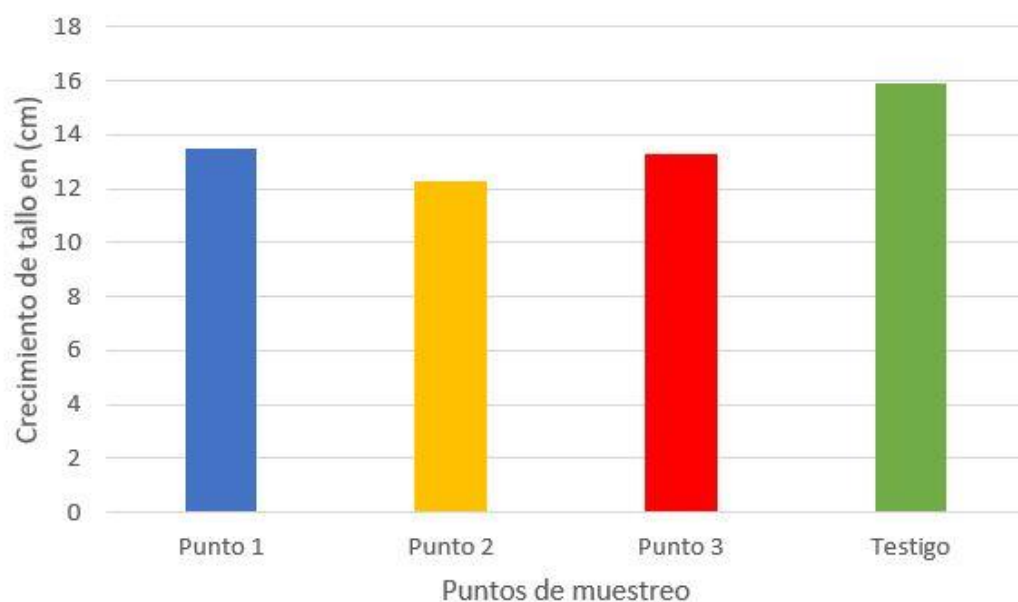


Figura 12. Promedio de la longitud del tallo para los cuatro tratamientos en los cuatro tiempos

En la figura 12 se observa que el tratamiento con mayor valor en el crecimiento de la longitud del tallo para el tiempo inicial y tiempo final es el tratamiento del

punto 2. Sin embargo, en la *figura 13* se observa que el tratamiento con mayor crecimiento es el del tratamiento testigo, seguido por el tratamiento del punto 1. El desarrollo de la longitud del tallo de los cuatro tratamientos al tiempo final de la irrigación no tiene una variación significativa, demostrada en el método del ANOVA ( $F=1,35$  y  $p=0,2689$ ).



*Figura 13.* Crecimiento de la longitud del tallo por tratamiento

#### 4.5. Análisis de correlaciones

Estos datos representan a los porcentajes de relación entre todas las variables comprendidas en el estudio, pero en términos de fracción. Mientras el valor es más cercano a 1 (100%) la relación entre estas variables es mayor.

Tabla 12.

*Análisis de correlación de parámetros físico químicos con variables de respuesta*

	pH	TDSC	Conductividad (mS/cm)	% OD/L	Turbidez NTU	Nitritos mg/l	Nitratos mg/l	Amonio mg/l	Fosfatos mg/l	DBO5 mgO2/l	DQO mgO2/l	Cloruros mg/l	Sulfatos mg/l	Alcalinidad mg CaCO3/l
Número de hojas	0,63	0,18	0,51	0,62	0,99	0,63	0,87	0,34	0,63	0,64	0,83	0,50	0,30	0,56
Diámetro del tallo	0,79	0,76	0,91	0,80	0,41	0,79	0,55	0,92	0,79	0,78	0,59	0,91	0,29	0,86
Longitud del tallo	0,65	0,90	0,77	0,66	0,27	0,65	0,40	0,94	0,65	0,64	0,45	0,77	0,43	0,72

Se puede observar que la variable de respuesta *Número de hojas* tiene una relación alta con la variable independiente de turbidez, una relación media con la variable de nitratos y de DQO. Esto demuestra que estas variables afectan al desarrollo foliar de las hojas, como se explica en el libro de Jorgensen en el 2010, donde, los compuestos de nitrógeno producen clorosis y falta de captación solar, es por esto por lo que varias hojas presentaron estos síntomas durante la experimentación.

Para el crecimiento del diámetro del tallo se denota una relación alta con la conductividad eléctrica y los cloruros. Los compuestos de cloruros son conocidos por su bioacumulación, por lo que afecta al desarrollo de una planta, como lo fue descrito nuevamente en el libro de Jorgensen en el 2010, donde, los compuestos de cloro se bioacumulan tanto en especies vegetales como en animales, atrofiando el crecimiento y desarrollo de tejidos, órganos o apéndices, corroborando la experimentación realizada. Para la variable de longitud del tallo, se encuentra en una relación alta las variables de diámetro del tallo, como lo corrobora el trabajo de Ospina en su guía de silvicultura, el diámetro y la longitud del tallo están relacionados entre sí en cuanto a su crecimiento ya que debe ser uniforme. Otra variable es la de compuestos de nitrógeno, por la misma razón que en número de hojas, ya que, si las hojas tienen clorosis, no será captada la luz solar de una manera correcta y el crecimiento se verá afectado.

## **5. CAPÍTULO V: Discusión de resultados**

La dinámica de un bosque de ribera, dada su naturaleza lineal, es la de servir como corredor biológico, conectando bosques que se encuentran aislados y son lejanos al río. De esta manera existirá una relación entre el ecosistema acuático y el ecosistema terrestre (SciELO, 2012). En el punto 2 y 3, no existe esta relación ya que la actividad antropogénica es alta y gracias a la construcción de carreteras, zonas agrícolas, actividad industrial y asentamientos humanos localizados a las cercanías del río, se interrumpe la conexión entre el ecosistema acuático del río y los ecosistemas aledaños.

Los lugares sometidos a pastoreo tienden a perder su vegetación original y persiste una escasa cobertura herbácea (Kutschker et al., 2009). Esto es corroborado por la densidad poblacional de árboles de Aliso en el punto 1, que es alta y demuestra que la zona es apta para la germinación y desarrollo de la especie, pero existen factores externos que reducen el número de plántulas, como lo puede ser el pastoreo de vacas provenientes de granjas cercanas al río.

La actividad industrial, actividad agropecuaria y asentamiento de zonas residenciales afectan al desarrollo del bosque de ribera. Esto debido a que además de la contaminación físico química, se modifica el paisaje reduciendo el cauce del río y aumentando la sedimentación que forma bancos de arena, reduciendo la biodiversidad y alterando el hábitat, evitando así la proliferación natural de especies de bosque de ribera que dependen de un flujo constante de agua y de espacio para su crecimiento (Revista Cubana de ciencias forestales, 2016). Esto es demostrado en el punto 2 y 3, donde la actividad humana de zonas urbanas, industrial y agropecuaria se encuentra a menos de 4 metros del río y evita el crecimiento y desarrollo natural de la especie *Alnus acuminata*.

A pesar de que no existió variación significativa en ningún resultado de las variables de respuesta se evidenció cambios en los parámetros fisicoquímicos que se relacionan a la contaminación que aumenta debido a los cambios de uso de suelo. El tratamiento 1, tuvo resultados similares al tratamiento testigo, el cual fue mejor para el desarrollo de la planta que el tratamiento 2 y 3. La actividad antrópica en el punto 1 es muy baja (GAD Rumiñahui, 2014), por lo que el agua cuenta con una menor cantidad de contaminantes que los otros dos puntos y una mayor cantidad de oxígeno disuelto (demostrado en los análisis de laboratorio), que afectaron positivamente al desarrollo de la planta. En el punto 2 el agua cuenta con residuos provenientes de la actividad agrícola de la zona (GAD Rumiñahui, 2014), lo cual aumenta el número de algunos parámetros físico químicos como los fosfatos y el amonio lo cual produce efectos diferentes en el desarrollo de la planta a los del punto 1. Por último, el

agua del punto 3 tuvo un alto valor de los contaminantes como fosfatos, cloruros, amonio y alcalinidad y una reducción del oxígeno, probablemente provenientes de la descarga de aguas industriales y domésticas (GAD Rumiñahui, 2014), afectando negativamente al desarrollo de la planta.

En la variable de respuesta *Estado de las hojas*, en el tiempo final del tratamiento del punto 1 se observa un incremento en su valor de porcentaje de hojas en muy buen estado (MB) por lo que se demostró que las plántulas regadas con agua del punto 1 tuvieron características de regeneración en cuanto al estado de sus hojas. Esto debido a que su valor de fosfatos es menor a los de los otros dos puntos y este contaminante produce clorosis en las hojas de la planta.

El análisis de componentes principales dio como resultado a la conductividad eléctrica como el parámetro con más alto nivel de influencia para los tres puntos de muestreo, el cual va estrechamente ligado con la alcalinidad (cantidad de carbonato de calcio). Una de las razones para el incremento del valor de carbonatos de calcio es la presencia de detergentes provenientes de actividades antropogénicas (Capote, 2015). Esto se observa en los puntos 2 y 3 donde se encuentran más asentamientos humanos que descargan aguas provenientes del lavado de ropa, aumentando los niveles de alcalinidad y conductividad eléctrica.

En el análisis de correlación para el desarrollo del tallo tanto en diámetro como en longitud, demostró una alta relación con los valores de conductividad eléctrica y alcalinidad. Esto es corroborado en dos partes de la experimentación, la primera es en el ACP, ya que estos valores son unos de los más influyentes en los dos componentes principales. La segunda parte es la de los bioensayos realizados, donde el desarrollo del tallo en los puntos 2 y 3, fueron resultados deficientes, en comparación a los resultados del testigo y del punto 1.

En un estudio realizado con plántulas de la misma altura inicial que las usadas en este experimento (+20 cm), se determinó su susceptibilidad a cambios en su

desarrollo por alteración de micronutrientes como Boro, Cobalto, Molibdeno, Azufre, Calcio, y Zinc, este estudio muestra como mejor resultado el tratamiento testigo que contenía todos los micronutrientes y si existió variación significativa entre tratamientos (Colombia forestal, 2008). Esto demuestra que, comparando entre experimentaciones, las plántulas son más susceptibles a alteraciones aplicadas a sus micronutrientes que a contaminantes encontrados en el agua del Río Pita. Es importante recalcar que el experimento usado como ejemplo, empleó 5000 individuos y más tiempo para la toma de datos, a diferencia de esta experimentación que contó con 60 individuos y 45 días de estudio, por lo que el tiempo y la cantidad de individuos es un factor a tomar para futuras experimentaciones de la especie.

## 6. Conclusiones y Recomendaciones

### 6.1. Conclusiones

Al finalizar el proyecto se logró concluir que las plántulas de *Alnus acuminata* no son sensibles a los contaminantes físico químicos encontrados en el agua de diferentes puntos del río Pita, siendo resistentes frente a cambios en su desarrollo en un corto tiempo y en individuos jóvenes como los usados en esta experimentación. A nivel experimental no existe una variación significativa, sin embargo, existen variaciones mínimas en su cambio morfológico que puede llegar a asumir variaciones significativas a largo plazo. Por lo que pueden ser usadas en programas de reforestación en bosques de ribera de la zona andina.

La actividad antrópica como el ganado, agropecuaria y urbana tiene una influencia negativa en la presencia de la especie *Alnus acuminata*, ya que a medida que la actividad humana predominaba, el número de individuos de Aliso disminuía por razones de alteración de hábitat. Por lo que contar con más control de las autoridades sobre las normas de asentamientos humanos y descargas de efluentes en zonas urbanas e industriales debe ser una prioridad.

A nivel experimental no existe una variación significativa, pero si se presentó cambios en la morfología de la planta, dependiendo del medio.

El ACP demostró un mayor nivel de contaminantes en el punto 3, corroborando así la inspección visual de la zona realizada en campo. Se supone que el punto 3 es más contaminado debido a su alta presencia de actividad humana descrita en el PDOT del cantón Rumiñahui, por lo que un mejor manejo de los residuos urbanos e industriales podría ser una opción para reducir la contaminación en dicha zona.

### 6.2. Recomendaciones

Se recomienda contar con espacio amplio para realizar la experimentación ya que las plántulas necesitan de un área determinada para su desarrollo.



Realizar experimentaciones con más tiempo, permitiendo un mejor resultado frente a los cambios morfológicos y tasa de mortalidad por parte de las plántulas de *Alnus acuminata*.

Se debería contar con más repeticiones (más individuos) para poder tener más datos al momento de realizar el análisis estadístico, así será más viable.

Realizar la experimentación en otras etapas de crecimiento de la especie como etapa adulta y germinativa.

En el caso de la respuesta ecológica, se recomienda realizar estudios frente a las especies del campo, como lo es frutos, flores, hojas y estudios de genética, para demostrar cambios en los árboles producidos por la contaminación actual en la zona versus los mismos parámetros en los árboles encontrados en el punto 1 con menos contaminación.

## REFERENCIAS

- Academia EDU. (2013). Valoración Económica del Páramo de la Microcuenca alta del río Pita Recuperado el 30 de enero del 2018 de [http://www.academia.edu/8167655/Evaluacion\\_Socioeconomica\\_de\\_los\\_Paramos](http://www.academia.edu/8167655/Evaluacion_Socioeconomica_de_los_Paramos)
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry*. (2016). 2,4,6-Trinitrotolueno (2,4,6-Trinitrotolueno). Recuperado el 01 de diciembre del 2017 de [https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts81.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts81.html).
- Agotecnia (2017). Variaciones estacionales de las concentraciones de fosfatos y nitratos en distintas fuentes de aguas de pequeños productores hortícolas. Recuperado el 10 de abril del 2018 de <http://revistas.unne.edu.ar/index.php/agr/article/view/1174>
- Arboleda D., Tombe A., Morales S., Vivas N. (2013). Propuesta para el establecimiento de especies arbóreas y arbustivas con potencial forrajero: En sistemas de producción ganadera del trópico alto colombiano. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. Recuperado el 30 de marzo del 2018 de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1692-35612013000100019](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1692-35612013000100019)
- Arévalo J. (2014). La falta de aplicación de las leyes ambientales en el manejo integral de los desechos sólidos y su Impacto en la calidad de vida de los habitantes del cantón Rumiñahui. Universidad Central del Ecuador. Recuperado el 12 de julio del 2018 de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/3047/1/T-UCE-0013-Ab-41.pdf>
- Badii, M. H., & Landeros, J. (2015). Plaguicidas que afectan a la salud humana y la sustentabilidad. Recuperado el 30 de marzo del 2018 de <http://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/454>

- Badii, M. H., & Varela, S. (2015). Insecticidas organofosforados: efectos sobre la salud y el ambiente. Recuperado el 30 de marzo del 2018 de <http://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/375>
- Badii, M.H., Castillo J., Cortez K., Wong A., Villalpando P. (2007). *Canonical correlation analysis and scientific research*. Recuperado el 01 de junio del 2018 de <http://eprints.uanl.mx/12486/>
- Biodiversity library*. (s.f.) *Nova Genera et Species Plantarum Quas in Peregrinatione and Plagam Aequinoctialem Orbis Novi Collegerunt Bonpland et Humboldt*. Recuperado el 15 de febrero del 2018 de <https://www.biodiversitylibrary.org/bibliography/640#/summary>
- Blancquaert, D., Steur, H., Gellynck, X., y Der Straeten, D. (2017). *Metabolic engineering of micronutrients in crop plants*. Recuperado el 03 de junio de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27801945>
- Bolaños-Alfaro, J. D., Cordero-Castro, G., & Segura-Araya, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). Recuperado el 05 de junio del 2018 de [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0379-39822017000400015&script=sci\\_abstract&tlng=es](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0379-39822017000400015&script=sci_abstract&tlng=es)
- Boudou, A. (2018). *Aquatic Ecotoxicology: Volume 2: Fundamental Concepts and Methodologies*. Recuperado el 09 de julio del 2018 de <https://www.crcpress.com/Aquatic-Ecotoxicology-Volume-2-Fundamental-Concepts-and-Methodologies/Boudou/p/book/9781315890760>
- Bureau Ventas (2008). Manual de la formación del medio ambiente. España. Recuperado el 09 de agosto del 2018 de <https://latam.casadellibro.com/libro-manual-para-la-formacion-en-medio-ambiente/9788498980271/1240499>
- Cabrera P., Pinto C. (2012). En el marco del Proyecto “Protegiendo recursos hídricos para conservar la biodiversidad: mecanismos financieros para la protección de cuencas en el Ecuador”, ejecutado por el Fondo para la Protección del Agua – FONAG con apoyo de USAID. Fundación

- futuro latinoamericano. Recuperado el 10 de julio del 2018 de <http://www.fonag.org.ec/web/imagenes/paginas/fondoeditorial/13.pdf>
- Cancino J. (2012). Dendrometría básica. Recuperado el 08 de julio del 2018 de [http://repositorio.udec.cl/bitstream/handle/11594/407/Dendrometria\\_Basica.pdf?sequence=1](http://repositorio.udec.cl/bitstream/handle/11594/407/Dendrometria_Basica.pdf?sequence=1)
- Capote, T., Matute, S. B., & Rojas, J. R. (2015). Determinación de la dureza total en agua con EDTA empleando una solución amortiguadora inodora de borato. *Revista del Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel*. Recuperado el 10 de julio del 2018 de [http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev\\_inhrr/article/view/12891/12581](http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_inhrr/article/view/12891/12581)
- Centro de control de enfermedades (CDC). (2002). *Environmental contaminants*. Recuperado el 30 de julio del 2018 de [http://www.bccdc.ca/resource-gallery/Documents/Educational%20Materials/EH/FPS/Dairy/Environmental\\_Contaminants.pdf](http://www.bccdc.ca/resource-gallery/Documents/Educational%20Materials/EH/FPS/Dairy/Environmental_Contaminants.pdf)
- Ciencia hoy. (2010). Los metales y las plantas: Entre la nutrición y la toxicidad. Facultad de farmacia y de bioquímica, UBA. Recuperado el 13 de julio de 2018 de <http://www.cienciahoy.org.ar/ch/ln/hoy116/Metalesplantas.pdf>
- Concejo municipal del cantón Rumiñahui. (2009). Registro oficial N°31 de 22 de septiembre del 2009. Recuperado el 30 de julio del 2018 de <https://vlex.ec/vid/canton-ruminahui-contiene-sexta-642741513>
- Consumer ES. (2008). Bioindicadores: Seres vivos que detectan la contaminación. Eroski Consumer. Recuperado el 30 de marzo del 2018 de [http://www.consumer.es/web/es/medio\\_ambiente/naturaleza/2008/02/11/174440.php](http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/naturaleza/2008/02/11/174440.php)
- CRC Press. (2012). *Principles of ecotoxicology*. Recuperado el 11 de abril del 2018 de
- De Castro L. (2015). Programa de formación iberoamericano de aguas: Unidad 2, Calidad de agua en embalses. Recuperado el 14 de julio del 2018 de

[https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/75/4/Unidade\\_2.pdf](https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/75/4/Unidade_2.pdf)

- Delistraty D., Yokel J. (1999). *Ecotoxicity of Riverbank Spring Water along the Hanford Reach, Columbia River*. Recuperado el 15 de julio del 2018 de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/%28SICI%291522-7278%28199912%2914%3A5%3C473%3A%3AAID-TOX4%3E3.0.CO%3B2-6>
- Elosegi, A. y Díez J. (2009). La vegetación terrestre asociada al río: el bosque de ribera. Conceptos y técnicas en ecología fluvial. Fundación BBVA. Recuperado el 17 de julio del 2018 de [https://www.fbbva.es/wp-content/uploads/2017/05/dat/DE\\_2009\\_conceptos\\_ecologia\\_fluvial.pdf](https://www.fbbva.es/wp-content/uploads/2017/05/dat/DE_2009_conceptos_ecologia_fluvial.pdf)
- EPA. (2017). *National Recommended Water Quality Criteria*. Water Quality Criteria. Recuperado el 10 de junio del 2018 de <https://www.epa.gov/wqc/national-recommended-water-quality-criteria-aquatic-life-criteria-table>
- Escobar J. (2002). La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. Santiago de Chile, Chile. Recuperado el 15 de junio del 2018 de <https://archivo.cepal.org/pdfs/Waterguide/LCL1799S.PDF>
- Faraway J. (2002). *Practical regression and ANOVA using R*. Recuperado el 20 de junio del 2018 de <https://cran.r-project.org/doc/contrib/Faraway-PRA.pdf>
- García A., Bonasora F., Carballeda M., Fernández J., Salvatierra A., Sandruss D., Toum Z. (2006). Estimación de abundancia de aves y árboles (alisos y ligustros) y del sotobosque en el bosque de alisos en la reserva ecológica costanera sur, ciudad de Buenos Aires, Argentina. *Ecología general*, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Recuperado el 15 de marzo del 2018 de <http://www.fundacionazara.org.ar/img/revista-historia-natural/tomo-09/historia-natural-2015-1-art-08.pdf>
- García, J. C. G., Reyes, A. R. P., & Quiguiri, N. S. (2017). Evaluación de *Spirogyra* spp. como potencial bioindicador de plaguicidas

- organofosforados. Recuperado el 15 de junio del 2018 de <http://revistas.upagu.edu.pe/index.php/PE/article/view/556>
- García-Velázquez, L., y Gallardo, A. (2017). El ciclo global del nitrógeno. Una visión para el ecólogo terrestre. Recuperado el 15 de junio del 2018 de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/1285>
- Gonzáles, M. C., Rada, F., & Jaimez, R. (2016). Efecto del nitrógeno en los parámetros fotosintéticos y de producción del cultivo de la gerbera (*Gerbera jamesonii* H. Bolus ex Hook. Recuperado el 18 de abril del 2018 de [https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta\\_agronomica/article/view/49555/56902](https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/49555/56902)
- Hammer Ø. (2018). *PAST Reference manual*. National History museum, University of Oslo. Tomado el 23 de mayo del 2018 de <https://folk.uio.no/ohammer/past/past3manual.pdf>.
- Hellawell, J. M. (Ed.). (2012). *Biological indicators of freshwater pollution and environmental management*. Recuperado el 13 de abril del 2018 de <https://www.springer.com/gb/book/9789401084178>
- Hoffman D., Rattner B., Burton G., Cairns J. (2002). *Handbook of ecotoxicology*. Estados Unidos de América. Recuperado el 01 de abril del 2018 de <http://www.jlakes.org/ch/book/Handbook.of.Ecotoxicology.2nd.ed.2003.pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). NTE INEN 1202:2013. Demanda biológica de oxígeno. Quito, Ecuador. Primera edición. Recuperado el 01 de febrero del 2018 de [http://sut.trabajo.gob.ec/publico/Normativa%20T%C3%A9cnica%20INE N/NTE%20INEN%201202%20-%20AGUAS.%20DEMANDA%20BIOQU%C3%8DMICA%20DE%20OX %C3%8DGENO%20\(DBO5\).pdf](http://sut.trabajo.gob.ec/publico/Normativa%20T%C3%A9cnica%20INE N/NTE%20INEN%201202%20-%20AGUAS.%20DEMANDA%20BIOQU%C3%8DMICA%20DE%20OX %C3%8DGENO%20(DBO5).pdf)

- Jacobsen D. (2003). Los ríos de la Sierra ecuatoriana son más sensibles a la contaminación. Desafío, Quito. Recuperado el 30 de junio del 2018 de <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/handle/28000/614>
- Jinhyun J., Banfelder J., Skrabanek L. (2017). *Quantitative Understanding in Biology Principal Component Analysis*. The Rockefeller University. Recuperado el 07 de julio del 2018 de [http://physiology.med.cornell.edu/people/banfelder/qbio/lecture\\_notes/3.4\\_Principal\\_component\\_analysis.pdf](http://physiology.med.cornell.edu/people/banfelder/qbio/lecture_notes/3.4_Principal_component_analysis.pdf)
- Jorgensen S. (2010). *Ecotoxicology*. Estados Unidos de América. Elsevier B.V.
- Kabata-Pendias, A. (2000). *Trace elements in soils and plants*. Estados Unidos de América. CRC Press, Inc.
- Kutschker, A., Brand C. y Miserendino M. (2009). Evaluación de la calidad de los bosques de ribera en ríos del NO del Chubut sometidos a distintos usos de la tierra. Recuperado el 03 de junio del 2018 de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-66432012000100014](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-66432012000100014)
- Ledesma C., Bonansea M., Rodríguez C., Sánchez A. (2013). Determinación de indicadores de eutrofización en el embalse Río Tercero, Córdoba (Argentina). Recuperado el 13 de marzo del 2018 de <http://www.scielo.br/pdf/rca/v44n3/a02v44n3.pdf>
- Martínez V., Dibut B., Ríos Y. (2010). Efecto de la integración de aplicaciones agrícolas de biofertilizantes y fertilizantes minerales sobre las relaciones suelo-planta. *Revista Scielo*. Recuperado el 05 de julio del 2018 de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362010000300009](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362010000300009).
- McKelvey V. (1967). *Phosphate deposits*. Recuperado el 24 de marzo del 2018 de <https://pubs.usgs.gov/bul/1252d/report.pdf>
- Meli, P., Ruiz, L., Aguilar, R., Rabasa, A., Rey-Benayas, J. M., & Carabias, J. (2017). Bosques ribereños del trópico húmedo de México: un caso de estudio y aspectos críticos para una restauración exitosa. Recuperado el 14 de junio del 2018 de <http://www.redalyc.org/pdf/617/61750015024.pdf>

- Miller K., Levine J. (2006). *Biology* (5ta edición). New Jersey, Estados Unidos de América. Pearson Prentice Hall.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2012). Estudio de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático del sistema de agua potable Pita – Puengasí y sus cuencas abastecedoras. Recuperado el 05 de abril del 2018 de <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/07/Plan-de-Manejo-Adaptativo-SAP-Pita.pdf>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2017). MAE identificó fuentes de contaminación en los ríos Chiguilpe y Verde. Párr 1. Recuperado el 30 de enero del 2018 de <http://www.ambiente.gob.ec/mae-identifico-fuentes-de-contaminacion-en-los-rios-chiguilpe-y-verde/>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2018). Controlar la contaminación ambiental contribuye a mejorar la calidad de vida de la población. Recuperado el 13 de julio del 2017 de <http://www.ambiente.gob.ec/controlar-la-contaminacion-ambiental-contribuye-a-mejorar-la-calidad-de-vida-de-la-poblacion/>.
- Colombia forestal. (2008). Microorganismos y micronutrientes en el crecimiento y desarrollo del Aliso (*Alnus acuminata* H.B.K.) en un sistema silvopastoril alto andino. Recuperado el 04 de abril del 2018 de <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/colfor/article/view/11629>
- Oleas N., Ríos-Touma B., Peña P. y Bustamante M. (2016). *Plantas de las quebradas de Quito: Guía Práctica de Identificación de Plantas de Ribera*. Universidad Tecnológica Indoamérica, Secretaría de Ambiente del DMQ, Fondo Ambiental del DMQ y FONAG. Recuperado el 14 de abril del 2018 de <http://www.fonag.org.ec/web/imagenes/paginas/fondoeditorial/15.pdf>
- Researchgate. (2015). Evaluación de la calidad del bosque de ribera, utilizando un método simple y rápido en dos ríos de bosque seco tropical (Tolima, Colombia). Recuperado el 15 de agosto del 2018 de [https://www.researchgate.net/publication/319268999\\_Evaluacion\\_de\\_la](https://www.researchgate.net/publication/319268999_Evaluacion_de_la)



\_calidad\_del\_bosque\_de\_ribera\_utilizando\_un\_metodo\_simple\_y\_rapido\_en\_dos\_rios\_de\_bosque\_seco\_tropical\_Tolima\_Colombia

Revista REDUCA (2012). Manual de ecología. Reduca (Biología). Serie Ecología. Recuperado el 20 de agosto del 2018 de <http://revistareduca.es/index.php/biologia/article/view/917>

Revista Latinoamericana de biotecnología ambiental y algal (2010). Contaminación de ríos urbanos: El caso de la subcuenca del río Sordo en Xalapa, Veracruz, México. Recuperado el 10 de abril del 2018 de <http://www.solabiaa.org/ojs3/index.php/RELBAA/article/view/23>

Revista politécnica (2016). Determinación analítica de nitratos en aguas usando el método de ion selectivo. Recuperado el 18 de febrero del 2018 de <http://revistas.elpoli.edu.co/index.php/pol/article/view/901>

Ospina H. (2005). *Guías silviculturales: El Aliso o Cerezo*. Blanecolor. Colombia. Recuperado el 13 de abril del 2018 de <https://www.cenicafe.org/es/publications/aliso.pdf>

Pacto Global-Red Ecuador. (2017). *ODS-Acción por el clima*. Recuperado el 13 de julio del 2017 de <http://www.pactoglobal-ecuador.org/buenas-practicas-de-desarrollo-sostenible/accion-por-el-clima/>.

Palacios W. (2016). *Árboles del Ecuador*. Ibarra, Ecuador. Recuperado el 10 de abril del 2018 de <https://www.researchgate.net/project/Publicacion-del-libro-Arboles-del-Ecuador>

Parker R. (2000). La ciencia de las plantas. Recuperado el 14 de julio del 2018 de <https://www.casadellibro.com/libro-la-ciencia-de-las-plantas/9788428326544/726771>

Pérez, Y. G., Leblanch, E. R., Rodríguez, I. F., & Pérez, G. A. (2017). Evaluación ecotoxicológica de las aguas del refugio de fauna “San Miguel de Parada” mediante los biomodelos *Lactuca sativa* L. y *Artemia* sp. Recuperado el 10 de junio del 2018 de <http://www.latindex.org/latindex/ficha?folio=23059>

Petrucci R., Harwood W., Herring G. (2003). *Química general*. Recuperado el 20 de abril del 2018 de <https://extensionquimica.wordpress.com/textos-2/quimica-general-petrucci/>

- Presidencia de la República del Ecuador. (2014). Texto Unificado de Legislación Secundaria. Libro VI, ANEXO 1. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua. Recuperado el 02 de julio del 2018 de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>
- Ramírez, J. P. R., & Rodríguez, R. V. (2017). IMPACTOS AMBIENTALES POR LAS ACTIVIDADES AGROPECUARIAS DE JALISCO, MÉXICO: PRIMERA DÉCADA DEL SIGLO XXI. ENVIRONMENTAL IMPACTS BY THE FARMER ACTIVITIES IN JALISCO, MÉXICO DURING THE FIRST DECADE OF 21ST CENTURY. Recuperado el 03 de abril del 2018 de <http://www.eumed.net/rev/caribe/2016/08/ganaderia.html>
- Redalyc. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. Tropical and Subtropical Agroecosystems Recuperado el 12 de julio del 2018 de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93911243003>
- Revista Cubana de Ciencias Forestales (2016). Expansión de la frontera agropecuaria sobre la vegetación de ribera del río Santa Cruz. Recuperado el 10 de julio del 2018 de <http://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/141/pdf>
- Scielo. (2012). Calidad del bosque de ribera del río El Tunal, Durango, México; mediante la aplicación del índice QBR. Recuperado el 10 de marzo del 2018 de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-66432012000100014](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-66432012000100014)
- Scribd. (2004). Introducción a la botánica. Recuperado el 15 de junio del 2018 de <https://www.scribd.com/doc/315954687/Introduccion-a-La-Botanica-Nabors-2006>
- Secretaría Nacional del Agua. (2012). Diagnóstico de las estadísticas del agua en el Ecuador. Informe de Gestión del 2012.. Recuperado el 12 de julio del 2018 de <http://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/download/Diagnostico%20de%20las%20Estadisticas%20del%20Agua%20Producto%20Ilic%202012-2.pdf>

- Agronomía costarricense (2005). Variación del contenido foliar de nutrientes de *Alnus acuminata*. Recuperado el 03 de junio del 2018 de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/6831>
- Sterner O. (2010). *Chemistry, health and environment*. Weinheim, Alemania. Wiley-Blackwell.
- Szoradova A., Praus L., Kolarik J. (2012). *Evaluation of the root system resistance against failure of urban trees using principal component analysis*. Recuperado el 03 de abril del 2018 de <https://pdfs.semanticscholar.org/5ee2/3cd4e66912dcad5e8f141f340aa798c0ba27.pdf>
- Torres C. (2015). Estudio de calidad fisicoquímica, microbiológica y biológica. Universidad Politécnica Salesiana. Quito, Ecuador. Universidad Politécnica Salesiana. Recuperado el 22 de abril del 2018 de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/9401/1/UPS-QT07093.pdf>
- Springer. (2005). *Soil and water pollution, monitoring, protection and remediation*. Recuperado el 18 de junio del 2018 de <https://www.springer.com/gp/book/9781402047268>
- UNESCO. (2017). Gran parte de las aguas residuales industriales se vierten sin tratamiento en los cursos de agua abiertos, lo cual reduce la calidad de mayores volúmenes de agua. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP). Párr 2-7. Recuperado el 30 de enero del 2018 de <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact-36-industrial-wastewater/>
- Uniciencia. (2017). Modificación del índice de calidad de riberas: Inclusión del componente social en la evaluación de la calidad ribereña de la microcuenca del río Burío-Quebrada Seca. Recuperado el 10 de julio del 2018 de <http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/uniciencia/article/view/9043>

Universidad de Huelva (2016). La contaminación minera de los ríos Tinto y Odiel. Geología de la provincia de Huelva. Recuperado el 08 de marzo del 2018 de <http://rabida.uhu.es/dspace/handle/10272/8336>

Walker C. Sibly R., Hopkin S., Peakall D. (2012). *Principles of ecotoxicology* (4ta edición). Florida, Estados Unidos de América, CRC Press (Taylor & Francis Group).

