



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

CUANTIFICACIÓN DE LA PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS EN LA
CUENCA ALTA DEL RÍO GUAYLLABAMBA

AUTORA

Jackeline Mishell Donoso Lemos

AÑO

2018



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

CUANTIFICACIÓN DE LA PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS EN LA
CUENCA ALTA DEL RÍO GUAYLLABAMBA

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

Profesor Guía

Ph.D. Blanca Patricia Ríos Touma

Autora

Jackeline Mishell Donoso Lemos

Año

2018

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

"Declaro haber dirigido el trabajo, Cuantificación de la presencia de microplásticos en la Cuenca Alta del Río Guayllabamba, a través de reuniones periódicas con el estudiante Jackeline Mishell Donoso Lemos, 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".

Blanca Patricia Ríos Touma

Doctora en Estudios Avanzados de Ecología

C.I.: 1707113765

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

"Declaro haber revisado este trabajo, Cuantificación de la presencia de microplásticos en la Cuenca Alta del Río Guayllabamba, de Jackeline Mishell Donoso Lemos, en el semestre 2018-2, 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 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.”

Jackeline Mishell Donoso Lemos

C.I.: 1721994547

AGRADECIMIENTOS

A Dios, a la vida, a mis padres y a mi pequeña gran familia.

A Blanca, Christian e Indira por su apoyo y paciencia en este proyecto.

Al equipo de laboratorio por su ayuda.

A mis amigas Gabriela y Wendy

A Verónica, KarolG, Nicole y Juan, por su amistad desde el primer día en la universidad.

DEDICATORIA

A Jean Pierre, quien dejo de acompañarme pero siempre está presente.

A León, Magdalena, Margarita y Patricia por su amor y paciencia incondicional.

RESUMEN

En los últimos años la problemática de la contaminación por microplásticos se ha hecho más notoria. Actualmente se conoce que estas partículas inferiores a los 5 mm pueden llegar a ocasionar problemas tanto a nivel ecosistémico como a nivel de salud debido a la toxicidad de sus componentes. A pesar de esto la información sobre este tema se ha enfocado más en los océanos dejando a un lado los ríos los cuales son lo que poseen una mayor contaminación por estas partículas y las conducen a los océanos, y la información está limitada a ciertos ríos en países del hemisferio norte. En Sudamérica la información es prácticamente nula. Actualmente se conoce que estas partículas están principalmente asociadas con las zonas de desagües tanto domésticos como industriales e incluso botaderos o quebradas. Es debido a estas razones que este estudio se enfocó en realizar una cuantificación de los microplásticos presentes en la cuenca alta del Río Guayllabamba la cual está relacionada con todas las descargas y desechos que se producen en la ciudad de Quito-Ecuador, en donde además no hay tratamiento de aguas residuales. Realizamos un análisis por categorías de microplásticos en los diferentes puntos de muestreo. La contaminación de microplásticos existe desde las cabeceras de los ríos con importantes aumentos en las zonas urbanas del Distrito Metropolitano de Quito, con valores superiores a los registrados en la literatura para ríos.

ABSTRACT

In recent years the problem of contamination by microplastics has become more noticeable. Currently it is known that these particles less than 5 mm can lead to problems at both ecosystem level and health level due to the toxicity of its components. In spite of this, information on this topic has focused more on the oceans, leaving aside the rivers which are the ones that have the greatest contamination by these particles and which lead them to the oceans, and the information is limited to certain rivers in countries of the northern hemisphere. In South America, the information is practically nil. It is now known that these particles are mainly associated with the drainage areas, both domestic and industrial, and even dumps or streams. It is due to these reasons that this study focused on quantifying the microplastics present in the upper basin of the Guayllabamba River, which is related to all the discharges and waste produced in the city of Quito-Ecuador, where it also does not have wastewater treatment. We perform an analysis by categories of microplastics in the different sampling points. The contamination of microplastics exists from the headwaters of the rivers with significant increases in urban areas of the Metropolitan District of Quito, with values higher than those recorded in the literature for rivers.

Índice

1. Introducción	1
1.1 General.....	1
1.2 Antecedentes	2
1.3 Justificación	3
1.4 Objetivos del Proyecto.....	5
1.4.1 General:	5
1.4.2 Específicos:.....	5
1.5 Alcance.....	5
2. Marco Teórico	6
2.1 Contaminación de los ríos.....	6
2.2 ¿Qué son los microplásticos?.....	6
2.3 Plásticos primarios y secundarios.....	7
2.4 Bioacumulación de los microplásticos	8
2.5 Presencia de microplásticos en los cuerpos de agua	8
2.6 Problemas a nivel de tratamiento de aguas	8
2.7 Plásticos en el agua.....	9
2.8 Caracterización de microplásticos	9
2.9 Parámetros Físicoquímicos del agua.....	10
2.9.1 Turbidez.....	10
2.9.2 Temperatura.....	10
2.9.3 pH	11
2.9.4 Conductividad	11
2.9.5 Oxígeno Disuelto	11
3. Metodología	12
3.1 Área de Estudio.....	12
3.2 Recolección de muestras.....	14
3.3 Medidas Físico-Químicas del agua	15
3.4 Medición del Caudal.....	16
3.5 Procesamiento de Microplásticos	17

3.6 Análisis de Datos	19
4. Resultados y Discusión	19
4.1 Resultados de la Cantidad de Microplásticos encontrados en la Cuenca Alta del Río Guayllabamba	19
4.2 Cambios en la cantidad de Microplásticos encontrados Antes y Después de las Zonas Urbanas	24
4.3 Comparación del Estado de la Cuenca con ríos a nivel mundial	28
4.4 Discusión.....	31
5. CONCLUSIONES.....	35
REFERENCIAS	37
ANEXOS.....	46

1. Introducción

1.1 General

En los últimos años se han realizado varios estudios en los cuales se señala la contaminación por microplásticos como un tema de importancia para la salud humana y ecosistémica (Wagner et al., 2014). Uno de los primeros trabajos realizados fue “Lost at Sea: Where Is All the Plastic?” el cual fue publicado en el año 2004, donde se explica qué es lo que pasa cuando el plástico llega al agua (Thompson et al., 2004). A partir de ello se han realizado varias investigaciones sobre esta temática pero la mayoría se han enfocado en la dinámica de los microplásticos en los océanos, por lo que la información en ríos es limitada. A pesar de ello las problemáticas en los ecosistemas acuáticos se encuentra bien definida (Mani, Hauk, Walter & Burkhardt-Holm, 2015).

Los microplásticos presentan una alta toxicidad, ya que cuando entran a los organismos vivos llegan a causar: estrés por ingestión, fuga de aditivos de los mismos y exposición a los contaminantes asociados (Anderson, Park, Palace, 2016), lo cual puede llevar a una bioacumulación o a una biomagnificación de compuestos como son los hidrocarburos aromáticos policíclicos que son carcinógenos o agentes endocrinógenos (Chae, Kim, I., Kim, S., Song & Shim, 2015). Además, los microplásticos tienen la capacidad de ser fragmentados con facilidad por lo que sus partículas se pueden encontrar en casi todos los ecosistemas acuáticos, parte de esta problemática se pudo ver evidenciada en una investigación realizada por la Universidad de Minnesota y la Universidad del Estado de Nueva York, en donde se reveló que el agua de consumo en 14 países incluido Ecuador posee partículas de microplásticos. En el estudio se mostró que el 75% del agua recolectada del grifo de municipalidades como Quito contenían partículas de microplásticos (Browne et al., 2011).

Otro dato importante se tiene que el agua potable alrededor del mundo contiene entre 0-57 partículas por litro dando como media 4 partículas con un tamaño entre los 0.1 y 5 milímetros, lo que es un valor muy relevante tomando en cuenta que una persona consume al día cerca de 2 litros de agua (Browne et al., 2011).

Se han reportado casos en donde las partículas de microplásticos han sido encontradas en la sal de mesa. Esto se debe a que la contaminación por estas partículas ha llegado incluso a ecosistemas salitres donde se extrae la sal para consumo humano (Yang et al., 2015). Es debido a estas razones que es de suma importancia el estudio de la temática de los microplásticos, ya que de esta manera se podrá comprender de una mejor forma cómo es la dinámica de éstos en los ríos Altoandinos y así en un futuro generar planes para evitar la llegada de estas partículas a los ríos y su posterior ingreso a los ecosistemas y al agua de consumo animal y humana.

1.2 Antecedentes

Al estar en una era en donde la mayoría de productos son de vida útil muy corta, la mayoría de productos se desechan y terminan acumulándose. Esto ha ido generando una presión no sólo en ecosistemas terrestres sino también en ecosistemas acuáticos, y parte de ello se debe a que nos encontramos en una “era de plástico”, en donde se ha producido un manejo inadecuado de desechos, un uso desmesurado e insostenible de plástico y todo esto ha ejercido una presión sobre los ecosistemas (Wagner et al., 2014). Se han encontrado partículas de microplásticos en cuerpos de agua naturales, en ecosistemas marinos e incluso se han reportado en sedimentos y organismos vivos (Anderson et al., 2017).

Según un estudio realizado, entre los años 2011 y 2014 empiezan a aparecer investigaciones de la dinámica de los microplásticos en los ecosistemas de agua dulce, enfocados principalmente en sistemas lénticos y en los últimos años se han enfocado en el análisis de estas partículas en ríos y plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR's) (Blair, Waldron, Phoenix & Gauchotte, 2017). Estos estudios mostraron que los ríos funcionan como sumideros temporales de los microplásticos ya que retrasan su liberación a los océanos y en épocas lluviosas su tasa de flujo es mucho mayor (McCormick et al., 2014).

Y con la información que se ha logrado generar en los últimos años, lo que más ha resaltado es que los microplásticos se han convertido en un problema a nivel

ambiental, debido a que su presencia puede generar varios efectos como son las afecciones físicas a los organismos vivos, afectar las propiedades de los sustratos y los sedimentos y poseer sustancias tóxicas (Duis & Coors, 2016). Debido a esto, se han realizado varios estudios en Estados Unidos, países europeos y asiáticos, pero esta no ha sido razón suficiente para seguir generando información ya que se ha dejado a un lado a los países de América latina y África (Blair et al., 2017), que además presentan serios problemas de manejo de desechos y depuración de aguas.

1.3 Justificación

En Ecuador los ríos juegan un papel muy importante debido a que no solo funcionan como depuradores naturales sino también tienen un rol económico en el país (Céleri & Feyen, 2009). Es por esto que la correcta gestión de los recursos hídricos debería ser de vital importancia para asegurar la conservación y mejor aprovechamiento de los mismos (Murtinho, Tague, de Bievre, Eakin & Lopez-carr, 2013).

A pesar de ello, la contaminación de los recursos hídricos y la degradación de los ecosistemas acuáticos han sido un problema de constante crecimiento. A esto se le atribuye el crecimiento poblacional, expansión de la frontera agrícola, el aumento de la demanda del recurso y la falta o el incumplimiento de normativas de control (Salmore et al., 2006). Como resultado se ha visto comprometida la calidad del agua debido al vertimiento de aguas residuales, la mala gestión de residuos sólidos y los productos que son el resultado de la agricultura los cuales se han desplazado debido a la escorrentía (Ecuador-CEPAL, 2012).

La Cuenca Alta del Río Guayllabamba posee un área de 4707 Km² aproximadamente, está ubicada al norte del Ecuador en la Región Interandina y posee 4 ríos principales que son: el Machángara con una longitud de 22.5 km, el Monjas con 24.3 Km, el San Pedro con 53.9 km y el Guayllabamba con 175.3 km. A lo largo de la cuenca se ubica el Distrito Metropolitano de Quito que posee

un área de 4230 km² y una población superior a los 2.5 millones de habitantes (SENAGUA, 2009 y Landázuri et al., 2014). La ciudad de Quito al desechar sus aguas no posee ningún sistema de tratamiento por lo que la cuenca del Río Guayllabamba es la que recibe todas las descargas puntuales y difusas tanto de las zonas urbanas como de las zonas agrícolas, ganaderas e industriales (Landázuri et al., 2014).

A este problema de las aguas residuales se le debe aumentar la mala gestión de la basura debido a que en la ciudad de Quito muchas quebradas han funcionado como botaderos y como receptoras de aguas servidas (Egas & Ordóñez, 2015). Es por esto que cuando el agua llega a los ríos, contiene una gran carga de contaminantes, siendo las quebradas en parte las culpables de aportar con los microplásticos a los ríos (Mani et al., 2015). También se debe tomar en cuenta que Quito se encuentra en la cabecera de la Cuenca Alta del Río Guayllabamba, la cual forma parte de la Cuenca del Esmeraldas. Es por ello que las contaminaciones de estas cuencas generan varios problemas a nivel de calidad de agua debido a que sus aguas tienen usos múltiples en distintas poblaciones, incluyendo la provisión de agua para la ciudad de Esmeraldas.

El aporte de los microplásticos también se produce debido a que muchos productos de uso cotidiano, poseen éstas partículas en su contenido. Pueden ser productos de belleza como exfoliantes o cremas (Talvitie, Mikola, Koistinen & Setälä, 2017) y pastas dentales. Incluso una simple lavada de ropa aporta con cerca de 700.000 fibras de microplásticos al agua que pueden ser de poliéster o acrílicos (Brownie et al., 2011). Y son estas partículas que poseen tamaños inferiores a los 5 mm las que al ser ingeridas por animales e incluso personas pueden ser causantes de varios problemas tanto a nivel de la salud humana y ecosistémica (Deng, Zhang, Lemos & Ren, 2017). Cuando los organismos vivos ingieren microplásticos se convierten en vectores de las sustancias tóxicas que poseen estas partículas, de igual manera cuando los microplásticos están en el agua interfieren en los procesos naturales del agua (Chae et al., 2015).

Este estudio de los microplásticos busca cuantificar la cantidad de estas partículas que llegan a la cuenca del río Guayllabamba. De esta manera se podrá

conocer la situación actual de la Cuenca Alta del Río Guayllabamba con respecto a estas partículas, información de suma importancia ya que en la legislación no existe un valor máximo para las aguas de distintos usos ni se conocen las cargas de los mismos en el país.

1.4 Objetivos del Proyecto

1.4.1 General:

Cuantificar los microplásticos en los ríos de Quito.

1.4.2 Específicos:

- Determinar diferencias en la cantidad de microplásticos encontrados en los ríos antes y después de las zonas urbanas.
- Comparar los valores encontrados con otros ríos a nivel mundial.

1.5 Alcance

Con la investigación se buscó generar información sobre los microplásticos en la Cuenca Alta del Río Guayllabamba. Como primera parte se buscó hacer una cuantificación de los microplásticos en la cuenca y después de eso, con la información obtenida se realizó una comparación entre los ríos de esta cuenca y ríos estudiados en la temática a nivel mundial.

La presente investigación se enmarca en el proyecto de investigación de la UDLA "Ecological and microbiological status of the Upper Guayllabamba River Basin, historic trends, biodiversity threats and health risks" (Ríos-Touma & Guerrero-Latorre, 2016). Se obtuvieron estos resultados mediante el análisis de muestras de redes de deriva. Después de obtener la cantidad de microplásticos por muestra se realizó un análisis estadístico en donde se relacionó la cantidad de microplásticos por habitantes y por área.

2. Marco Teórico

2.1 Contaminación de los ríos

En América Latina, los conflictos generados por el desmesurado crecimiento poblacional, la explotación de los recursos, las actividades agrícolas, la mala gestión de los residuos y la industrialización han generado problemas a nivel de manejo de cuencas hidrográficas. Esto ha generado un crecimiento irregular e inestable de acciones para el manejo de las cuencas hidrográficas ocasionando afecciones a los cursos y cuerpos hídricos (Dourojeanni, 1994). En Ecuador en específico, la mayoría de sus ríos provienen de nevados y su calidad se ha visto afectada por la expansión urbana, la industrialización y por la intensificación de las prácticas ganaderas y agrícolas (Jacobsen, 2003). Esto ha producido que en los ecosistemas acuáticos entren contaminantes, lo cual genera problemas de eutrofización de ríos, haciendo que estos vayan perdiendo su capacidad para albergar vida (Navalpotro et al., 2009).

2.2 ¿Qué son los microplásticos?

Se los define como partículas de polímeros orgánico sintéticos con una dimensión entre 100 nm-5 mm, producto de la degradación de partículas más grandes o que han sido desechadas (Frère et al., 2017). Estos microplásticos al ser liberados al ambiente pueden provocar una serie de consecuencias medioambientales como son pérdidas a nivel ecosistémico (Duis et al., 2016).

Tabla 1.

Clasificación por tamaño de muestras de plásticos utilizadas por varios autores a nivel mundial (Baker, Besseling, Corcoran, Faure, Fischer, Lechner, y Sánchez)

Prefijo	Clasificación por Tamaño	Rango de Tamaño
Nano	Nano, micro milímetro (NMM)	No Disponible

	Nanoplástico	< 0.2 mm
		< 100 mm
Micro	Microbasura	Apx. 0.06 – 0.5 mm
	Micropástico	<0.5mm
		0.333 – 5 mm
	Microfragmentos	< 2 mm
		< 1 mm
		0.2 – 1 mm
	Microplásticos Largos	> 0.3 mm
		1 – 5 mm
Meso	Mesobasura	> 0.5 mm
		5 – 25 mm
	Mesofragmentos	2 – 20 mm
		> 5 mm
Macro	Macoplásticos/Macrobasura	> 25 mm
		20 mm
		> 5 mm
Mega	Megabasura	100 mm

Adaptado de Blair et al., 2017

2.3 Plásticos primarios y secundarios

Se denominan microplásticos primarios aquellos que han sido fabricados de estos tamaños, tales como pellets, materia prima para fabricación, e incluso pequeñas partículas utilizadas para el cuidado personal etc. (Eerkes-Medrano &

Thompson. 2017). Mientras que los plásticos secundarios son productos de la degradación o fragmentación de partículas de plástico más grandes, esta fragmentación puede ocurrir por el uso o desgaste e incluso cuando los materiales de plástico han sido liberados al ambiente (Vaughan et al., 2017).

2.4 Bioacumulación de los microplásticos

Estas partículas pueden ser ingeridas por diversos organismos, empezando desde el plancton, peces pequeños, hasta mamíferos o aves y se van acumulando en la red alimenticia de los ecosistemas acuáticos. Debido a que los microplásticos poseen aditivos químicos van a ir adsorbiendo contaminantes y éstos van a transferirse a otros organismos mediante la ingestión; por lo que los microplásticos van a ser vectores de otros contaminantes del medio (Anderson, 2016). A esto se le debe sumar el problema de que mientras más pequeña es la partícula de plástico, su potencial de bioacumulación es mayor (Wagner et al., 2014).

2.5 Presencia de microplásticos en los cuerpos de agua

Estas partículas han sido documentadas en varias partes del mundo ya que están presentes en cuerpos de agua dulce y sedimentos, terminando en los ecosistemas marinos. Los microplásticos han sido encontrados en varios niveles de la cadena trófica y su presencia está poniendo no solo en riesgo la salud de los animales sino también de las personas. A esto se le debe sumar la existencia de una brecha de información entre el océano y los ríos, siendo estos últimos en donde existe una mayor falta de información (Anderson et al., 2017).

2.6 Problemas a nivel de tratamiento de aguas

Durante los últimos años las PTAR han servido para tratar y mejorar la calidad de los efluentes de aguas residuales que van hacia el cauce de ríos. A pesar de

ello, sus tecnologías no han sido de gran ayuda al momento de retener los microplásticos. Esto se debe a que no han sido diseñadas para este propósito, por lo que se han convertido en una fuente de microplásticos hacia los ecosistemas acuáticos (Leslie, 2017). Aunque en teoría los pre tratamientos de las PTAR deberían funcionar como barreras y retener los microplásticos, estas plantas al tratar grandes caudales de agua no logran retirar los microplásticos de los efluentes de descarga (Talvitie et al., 2017).

2.7 Plásticos en el agua

Los plásticos pueden llegar al agua debido a descargas al cauce de los ríos, una mala gestión de residuos, derrames de materia prima entre otras. Una vez que los plásticos llegan al agua empiezan a sufrir un proceso de degradación o mineralización de los polímeros. Estos procesos pueden llegar a tomar cientos de años, lo cual es mucho mayor al tiempo en que los compuestos químicos que se adhieren a los plásticos se mineralizan haciéndose menos tóxicos (Glaser, 2015). Y son los procesos de degradación los responsables de que con el tiempo las partículas de plástico se vayan descomponiendo hasta convertirse en partículas más y más pequeñas (Leslie et al., 2017).

2.8 Caracterización de microplásticos

La caracterización de estas partículas se da mediante el uso de un estereomicroscopio, todas las fracciones que se sospeche que son microplásticos serán analizadas, contadas y estarán clasificadas en las siguientes categorías como son: fragmentos, escapas, películas o pellets, para después ser documentadas. Las partículas con estructuras suaves o que al momento de ser manipuladas se desintegran serán excluidas del análisis (Talvitie et al., 2017).

2.9 Parámetros Físicoquímicos del agua

La calidad del agua se puede valorar a partir de variables físicas, químicas y/o biológicas, estas se pueden evaluar individual o grupalmente. Los parámetros físico-químicos van a dar información sobre de la naturaleza de las especies químicas del agua y de sus propiedades físicas (Samboni, 2007). La ventaja del uso de los parámetros físicoquímicos es que son mucho más rápidos y son más fáciles de monitorear (Ruíz et al., 2007) y permiten detectar afecciones concretas y realizar un seguimiento en los ríos. Los principales son:

2.9.1 Turbidez

Se la define como el grado en que el agua va a perder transparencia a causa de partículas en suspensión, estas partículas pueden ser contaminantes (Dodds, 2001). Las partículas en suspensión pueden llegar a formar sistemas coloidales, es decir que reducen la transparencia ya que se encuentran suspendidas en el agua. A pesar de que una alta turbiedad no se ha relacionado todavía con problemas de salud, su apariencia provoca un rechazo por las personas al momento de ser consumida el agua. Según la EPA, el agua de consumo debe estar en un intervalo entre 1 y 5 UNT (EPA, 2000). Para ecosistemas acuáticos, a este parámetro se lo relaciona con la transmisión de luz y de cómo ésta tiene una incidencia sobre los productores primarios y el flujo de energía dentro del agua, esto se debe a que cuando existe una mayor turbidez, existe menos incidencia de luz (Roldán y Ramírez, 2008).

2.9.2 Temperatura

Se encuentra entre los parámetros a medir más importantes debido a que esta influye en el grado en que los microorganismos presentes en el agua van a actuar. También se relaciona con el grado de absorción de oxígeno, precipitación de compuestos, etc. Su valor también depende de factores medioambientales (Ruíz et al., 2007). Los ríos ubicados en la cordillera de los Andes presentan una gran variación de su temperatura. Esto se debe a que existe una relación entre un aumento de altitud y una disminución en la temperatura (Acosta, 2009).

2.9.3 pH

Es un parámetro que va a indicar si un agua es básica o ácida, existen varios aspectos que influyen en la acidez o basicidad del agua de un río como son el tipo de vegetación, los sustratos existentes, las actividades de la zona (Roldán y Ramírez, 2008). Esta variable está relacionada con el CO₂ aportado a los sistemas fluviales. Esto se debe a que mientras existe más liberación a la atmósfera, el pH en el sistema fluvial aumentará (Acosta, 2009). Su valor se relaciona con el tipo de reacciones químicas que se pueden dar en el agua y de igual manera, de esto dependerá el tipo de tratamiento que se le puede dar al agua antes y de después de su uso (Galvin, 2006).

2.9.4 Conductividad

La conductividad del agua es la facilidad que tiene el agua para conducir corriente eléctrica gracias a la cantidad de sales disueltas que esta posee (Dodds, 2002). Es por ello que la conductividad eléctrica que existe en estas zonas es producto de todos los procesos que se dan debido a las interacciones de los compuestos que existen en estos ríos en particular (Villamarín, 2012). Por eso los electrolitos presentes en el agua, los cuales van a depender de las características del lugar, tales como, el tipo de suelo presente en el área, el tipo de desechos que recibe el cauce del río, el pH, la mineralogía del lugar entre otros, van a determinar la conductividad del agua (Galvin, 2006).

2.9.5 Oxígeno Disuelto

Hace referencia a la cantidad de oxígeno presente en el agua, su alto valor se relaciona con una buena calidad del agua mientras que los valores más bajos son indicadores de contaminación elevada, alta actividad bacteriana e incluso condiciones sépticas (Orozco, 2002). Las aguas superficiales en buen estado se caracterizan por poseer alta saturación de oxígeno y su contenido va a depender de la temperatura, aireación e incluso de las plantas que se encuentren en ella (Ruíz et al., 2007). A medida que existe una mayor altitud, la concentración de oxígeno y la temperatura en el agua van a disminuir (Burneo & Gunkel, 2003).

3. Métodos

3.1 Área de Estudio

En el estudio se evaluaron 5 puntos de muestreo (Tabla 2) situados en la cuenca alta del Río Guayllabamba, cerca de la ciudad de Quito. Estos puntos se encuentran en los ríos Pita, San Pedro y Guayllabamba (Figura 1).

El Río Pita se ubica entre las provincias de Pichincha, Napo y Cotopaxi y su superficie de cobertura es aproximadamente de 586 km². Es uno de los ríos que abastece de agua al Distrito Metropolitano de Quito, además sus aguas cumplen una función importante en el ámbito de la agricultura y ganadería de sus zonas aledañas (FONAG, 2008). A pesar de su importancia, este río se ha visto afectado por la contaminación debido a que recibe aguas provenientes de las zonas urbanas, existe tala indiscriminada en su área de drenaje y es receptor de la escorrentía de las zonas agrícolas y ganaderas. Todo esto ha generado también problemas en la cuenca debido a la disminución de caudal del río.

El Río San Pedro pasa a través del valle de Machachi y su superficie de cobertura es de aproximadamente 752 km². Éste río al igual que el Pita, proporciona agua al Distrito Metropolitano de Quito (FONAG. 2008). Las principales actividades que se realizan dentro de su sub-cuenca son la agricultura y la ganadería, por lo que el agua cumple una función muy importante en estos ámbitos. Además de esto, el río proporciona energía eléctrica debido a que sus aguas abastecen a la central hidroeléctrica de Guangopolo (PDOT Cantón Mejía, 2015).

Estos puntos fueron elegidos en base a una investigación que actualmente se está realizando en la Cuenca del Río Guayllabamba por el Centro de Investigación de la UDLA bajo el proyecto “Ecological and microbiological status of the Upper Guayllabamba River Basin, historic trends, biodiversity threats and healthy risks” (Ríos-Touma & Guerrero-Latorre, 2016). Los 2 primeros puntos fueron escogidos debido a que sirvieron como indicadores al estar ubicados en las cabeceras de los 2 ríos, el primero se encuentra en Machachi y el segundo en Pintag. El tercer punto se encuentra en San Rafael, donde el río ya se ha visto

afectado por las actividades humanas. El cuarto punto se encuentra en Guangopolo, cerca de la central hidroeléctrica. El quinto punto se encuentra debajo del antiguo puente del Río Guayllabamba, aquí el río recibe la contaminación proveniente de las cuencas de los ríos anteriores y de la ciudad de Quito.

Tabla 2.

Puntos de muestreo de la Cuenca Alta del Río Guayllabamba.

Río	Elevación	Longitud	Latitud	Punto	Clave
San Pedro	2923	-78.552438	-0.533825	1	SP7
Pita	2844	-78.383733	-0.400956	2	3.2PI
Pita	2465	-78.459882	-0.296142	3	SP3
San Pedro	2386	-78.452697	-0.264217	4	SP2
Guayllabamba	1945	-78.373258	-0.068651	5	M5

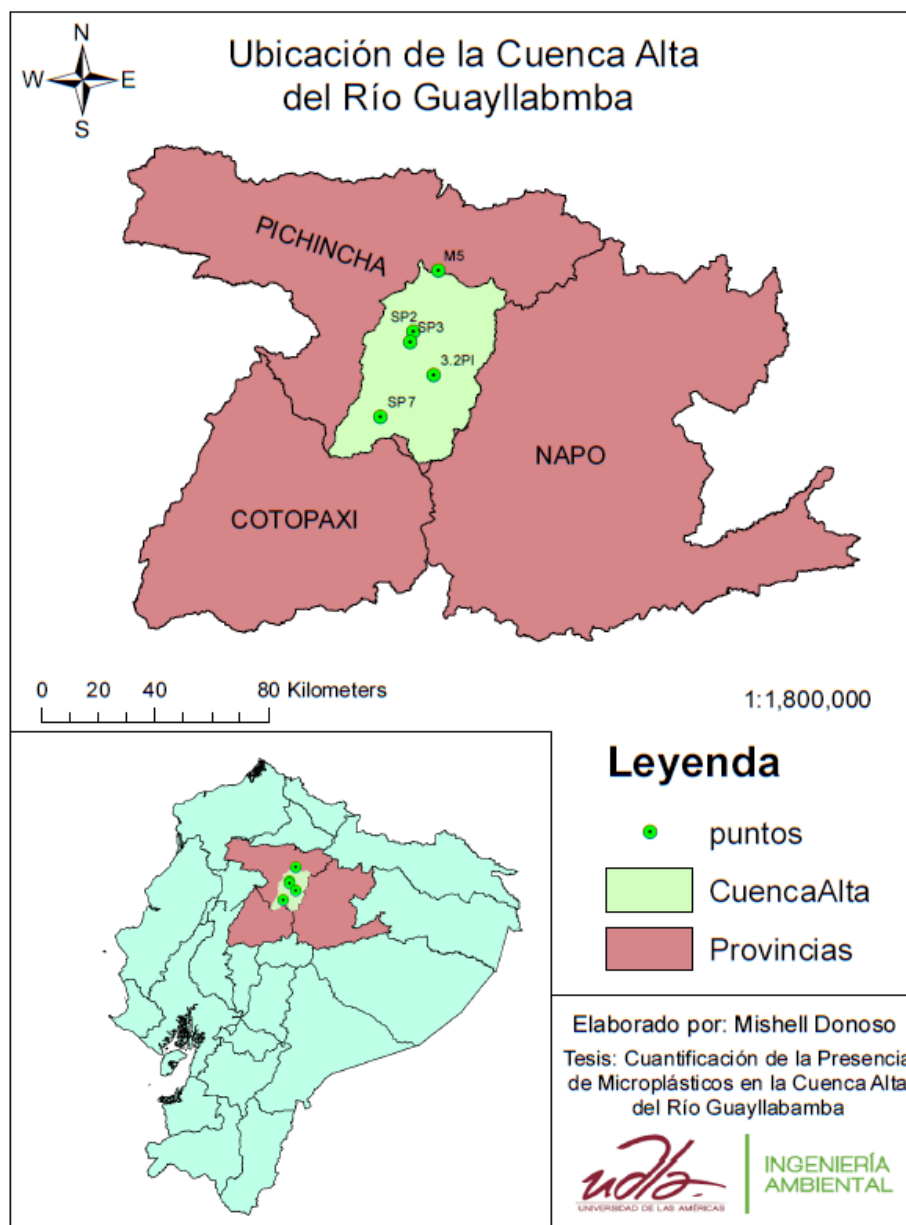


Figura 1. Mapa de la ubicación de la Cuenca de Alta del Río Guayllabamba con los cinco puntos de muestreo marcados (en color verde).

3.2 Recolección de muestras

La recolección de las muestras fue realizada en base a las metodologías de McCormick (2016) y Hoellein (2017). Para la recolección de muestras en agua

se utilizó una red de deriva con malla de 250 um compuesta de 4 sub redes con dimensiones de 35cm de alto y 17cm de ancho. Los muestreos se realizaron a día consecutivo (jueves y viernes). Para evitar errores de medición las redes fueron lavadas con el agua del río antes de la recolección para evitar el ingreso de partículas que se hayan quedado de muestreos anteriores. Se empezó el muestreo en los puntos de mayor elevación y se fue bajando a lo largo de la cuenca. El tiempo de muestreo fue 20 minutos por punto y las muestras fueron recolectadas y almacenadas en bolsas ziploc con agua destilada a 4°C hasta ser analizadas.

3.3 Medidas Físico-Químicas del agua

Para el análisis de agua se tomaron muestras de agua en botellas color ámbar. Al momento de la toma de muestra, la botella fue lavada con el agua del río 3 veces para evitar alguna contaminación externa al momento de realizar las mediciones de los parámetros ex situ. En el laboratorio las muestras de agua fueron analizadas mediante los protocolos establecidos en la Tabla #3.

Tabla 3.

Protocolo de análisis de las muestras de agua de los puntos ubicados en la Cuenca Alta del Río Guayllabamba.

Parámetro	Protocolo
Aceites y Grasas	Implementación de un sistema de validación de métodos físico-químicos para análisis de: aceites y grasas, cloruros, fósforo total y nitratos en muestras de agua. Basado en lo establecido en las metodologías 5520 B 5520 C, 5520 F de la Dirección nacional de medio ambiente
Alcalinidad	Dirección nacional de medio ambiente. Laboratorio Dinama - Edición 1996

Amonio	Standard methods Inorganic Nonmetals 4500-NH 3 F. Phenate Method
Cloruros	Dirección nacional de medio ambiente. Laboratorio Dinama - Edición 1996.
Color	Manual del equipo Nanocolor UV/VIS II Quickstar guide
DBO	Manual OxiTop
DQO	Dirección nacional de medio ambiente. Laboratorio Dinama - Edición 1996
Fosfatos	Standard methods 4500-P. Ascorbic Acid Method
Nitratos	Standard methods 4500 - NO 3 - (Screening Method)
Nitritos	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Nitrito en agua por espectrofotometría)
Sulfatos	Standard methods Inorganic Nonmetals 4500-SO 4 2- E. Turbidimetric Method.
Turbidez	Manual del equipo Nanocolor UV/VIS II Quickstar guide

Las metodologías fueron tomadas de Standard Methods (2017); Dinama (1996), Quickstar guide (2015), OxiTop Manual (2006).

Los parámetros in situ se midieron con los siguientes equipos: Potenciómetro: YSI Marca Pro 1030 Modelo (Conductividad, sólidos disueltos, Ph, temperatura)

Oxígeno Disuelto: YSI Marca Pro ODO Modelo

3.4 Medición del Caudal

La medición del caudal se realizó en los puntos SP7, 3.2PI, SP3 y SP2. Esta se calculó midiendo el ancho del río y la velocidad del agua en varios puntos de un transepto. Para el caso del punto M5 debido a ser un río muy caudaloso, los

métodos no eran apropiados por lo que para este río se buscó la información del caudal en los registros de FONAG (2009).

3.5 Procesamiento de Microplásticos

Se usó la metodología adaptada según “Métodos de Laboratorio para el Análisis de Microplásticos” por NOAA Marine Debris Program 2015 (Figura 2).

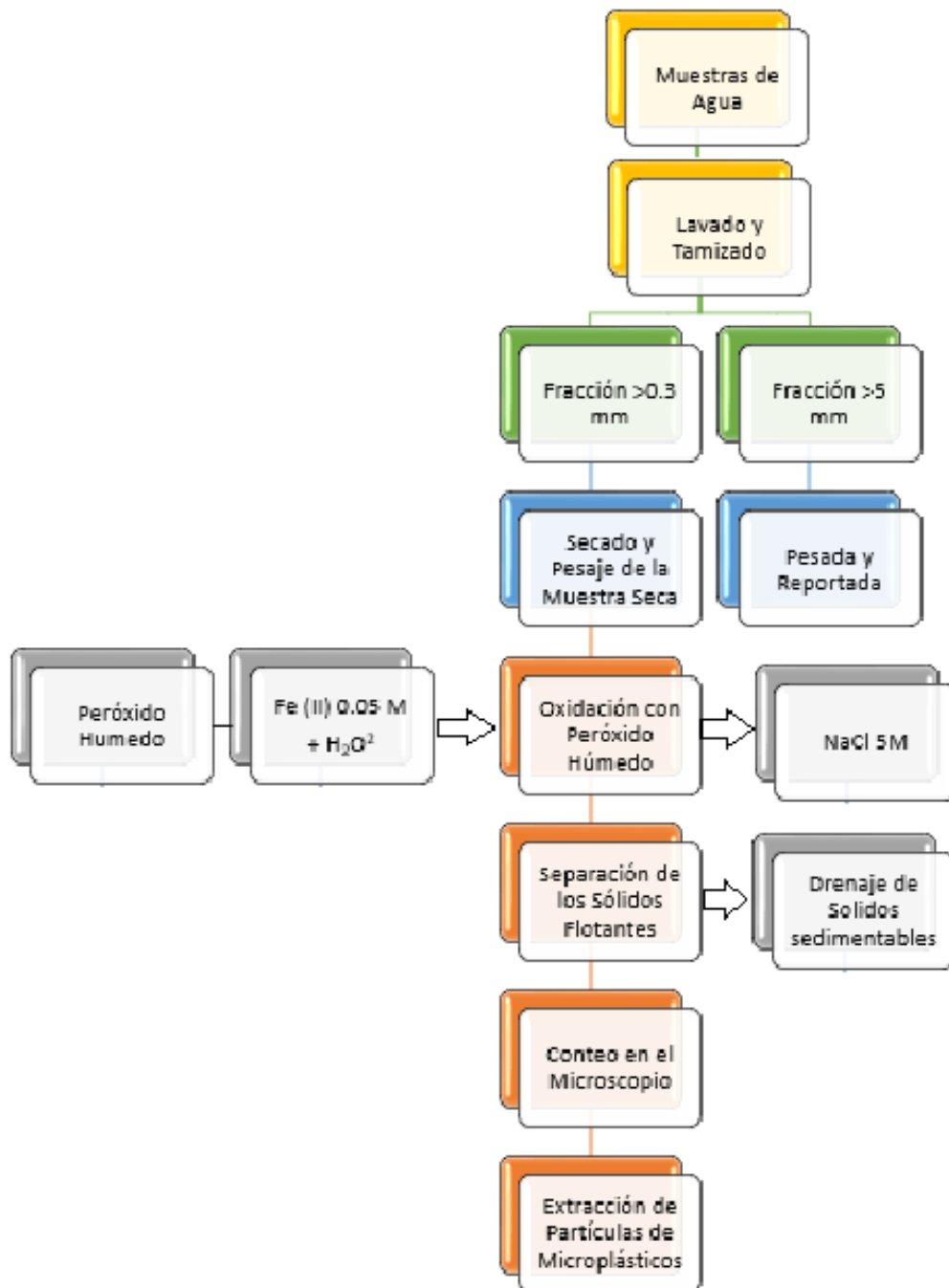


Figura 2. Diagrama de procesos para análisis de muestras.

Tamizado de muestras

Inicialmente se pasaron las muestras de agua superficial a través de tamices apilados de 5 mm, 1.1 mm y 0,3 mm según el punto de muestreo. Para las muestras de puntos limpios (3.2PI y SP7) la muestra se pasó a través de los tamices de 5 mm y 0.3 mm debido a la poca cantidad de muestra que se quedaba retenida. Para las muestras de puntos contaminados (SP3, SP2 y M5) se utilizaron los 3 tamices apilados separando la muestra en partículas de 5mm a >1.1mm y 1.1mm-0.3mm Las muestras se colocaron en vasos de precipitación previamente tarados, para dejarlas en la estufa por 24h a 90°C. Después se pesaron para sacar el peso neto de la muestra.

Digerimiento

A los vasos de precipitación con muestra seca se les colocó 20 ml de H₂O₂ al 30% y 20 ml de Fe (II) al 0.05M. Se procedió a agitar sobre una plancha térmica a 75°C hasta que se degrade la materia orgánica, para el caso de las muestras contaminadas en donde la degradación no se dio en su totalidad se agregaron 10 ml de H₂O₂ hasta que se degrade la materia orgánica por completo. Después agregaron 5 ml de solución NaCl 5M al vaso de precipitación en donde se agitó hasta que se homogenice.

Separación

Se colocó la solución en un embudo de vidrio para la separación de microplástico basada en las diferentes densidades. La muestra se dejó en los embudos durante la noche para que se pueda dar la separación de las partículas. Se desechó el material sedimentado y se recogió todo el material suspendido que son los microplásticos flotantes, estos se pasaron a través de filtros de fibra de vidrio marca Whatman de 0.7um y 47 mm.

Conteo

Se asignaron 5 categorías: fragmento, espuma, pellet, película y fibra. Se utilizó un enfoque de submuestreo contando el número de partículas en 3/8 campos de vista para el filtro. Se promedió el número de partículas en cada campo y luego

se amplió a todo el filtro usando las áreas relativas del campo de visión y filtro. Para las muestras de agua superficial, se calculó el número de partículas de microplástico por volumen de agua de río muestreada y los valores fueron presentados como número no.Mp / m³. Para el caso de las muestras que fueron demasiado grandes se realizó un submuestreo y se repitieron los pasos desde el digirimiento.

3.6 Análisis de Datos

Se realizó una correlación de Spearman con el programa Statistica para conocer la relación de la cantidad de microplásticos con las variables físico-químicas. También se realizó un análisis de Kruskal Wallis para observar como varía la cantidad de microplásticos según el punto.

Adicionalmente con el promedio de la cantidad de microplásticos obtenidos por punto se realizó un análisis para conocer cuánto microplásticos existen por kilómetro cuadrado y por habitante dentro de la cuenca.

Este trabajo de investigación fue realizado en el marco del proyecto: “Ecological and microbiological status of the Upper Guayllabamba River Basin, historic trends, biodiversity threats and healthy risks” (AMB.BRT.17.01), diseñado por Blanca Ríos Touma y Laura Guerrero Latorre y financiado por la Universidad de las Américas, Ecuador.

4. Resultados

4.1 Resultados de la Cantidad de Microplásticos encontrados en la Cuenca Alta del Río Guayllabamba

Para conocer el estado actual de la Cuenca Alta del Río Guayllabamba en la temática de microplásticos inicialmente se calculó la cantidad de estas partículas que existen por m³ en cada uno de los puntos y por fechas (Tabla 5).

Las correlaciones de Spearman Rank (Tabla 2) se realizaron con los datos de las características físico-químicas por punto y fechas y la cantidad de microplásticos por punto y fecha. Los resultados obtenidos mostraron que para las variables de oxígeno disuelto, porcentaje de oxígeno y caudal de red, tanto la cantidad de microplásticos en peso y número tenían una relación inversamente proporcional. Para el caso de otras variables físico-químicas (Anexo 1-4) relacionadas con la contaminación de los ríos como son la turbidez, los nitritos y nitrados, el amonio, los fosfatos, la alcalinidad, los cloruros, el DBO, el DQO, la conductividad entre otros, la correlación de Spearman Rank mostró que la cantidad de partículas de microplásticos tanto en peso como en número son directamente proporcionales, es decir que mientras mayores son los valores de estas variables, mayor es la cantidad de microplásticos que se van a encontrar.

Tabla 4.

Correlaciones de Spearman Rank de la cantidad de microplásticos en relación a los parámetros Físico-químicos.

Variable	Cantidad de Microplásticos (#Mp/m³)	Cantidad de Microplásticos (gMp/m³)
Caudal de la Red	-0.621429	-0.650000
TDSC	0.529044	*0.416443
Conductividad (mS/cm)	0.743521	0.648794
Temperatura	0.636853	0.576030
% OD/I	-0.521895	-0.570152
OD (mg/l)	-0.625559	-0.641645
Turbidez NTU	0.534054	*0.473121
Nitritos (mg/l)	0.837962	0.816476
Nitratos (mg/l)	0.531307	*0.486584
Amonio (mg/l)	0.645797	0.737032

Fosfatos (mg/l)	0.685153	0.708409
DBO5 (mg O ₂ /l)	0.610144	0.682350
DQO (mg O ₂ /l)	0.580649	0.620076
Cloruros (mg/l)	0.855614	0.780277
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /l)	0.554087	0.523000

Nota: Todas las correlaciones son significativas a excepción de los valores con asterisco ()*

Con la cantidad de microplásticos encontrados en cada uno de los puntos de estudio se pudo hacer una relación de cuantas de estas partículas pasan por la columna de agua por segundo (Tabla 5).

Tabla 5.

Relación de la cantidad de microplásticos que pasan por la columna de agua de cada uno de los ríos estudiados.

Río	Caudal (m³/s)	Cantidad de Mp (#Mp/s)
Pita	8	241.44
San Pedro	18	3026.16
Guayllabamba	22	34853.06

Datos del Caudal tomados de FONAG (2009).

Los resultados del estudio también mostraron que en los puntos la cantidad de fibras supera al resto de partículas de microplásticos encontrados. Un ejemplo claro de esto se puede encontrar en el punto M5, cuyo valor es extremadamente alto en relación a los puntos SP2 y SP3 (Figura 3). Para el caso de los puntos SP7 y 3.2 PI la cantidad de fibras es similar en relación a los otros tipos de partículas de microplásticos encontrados.

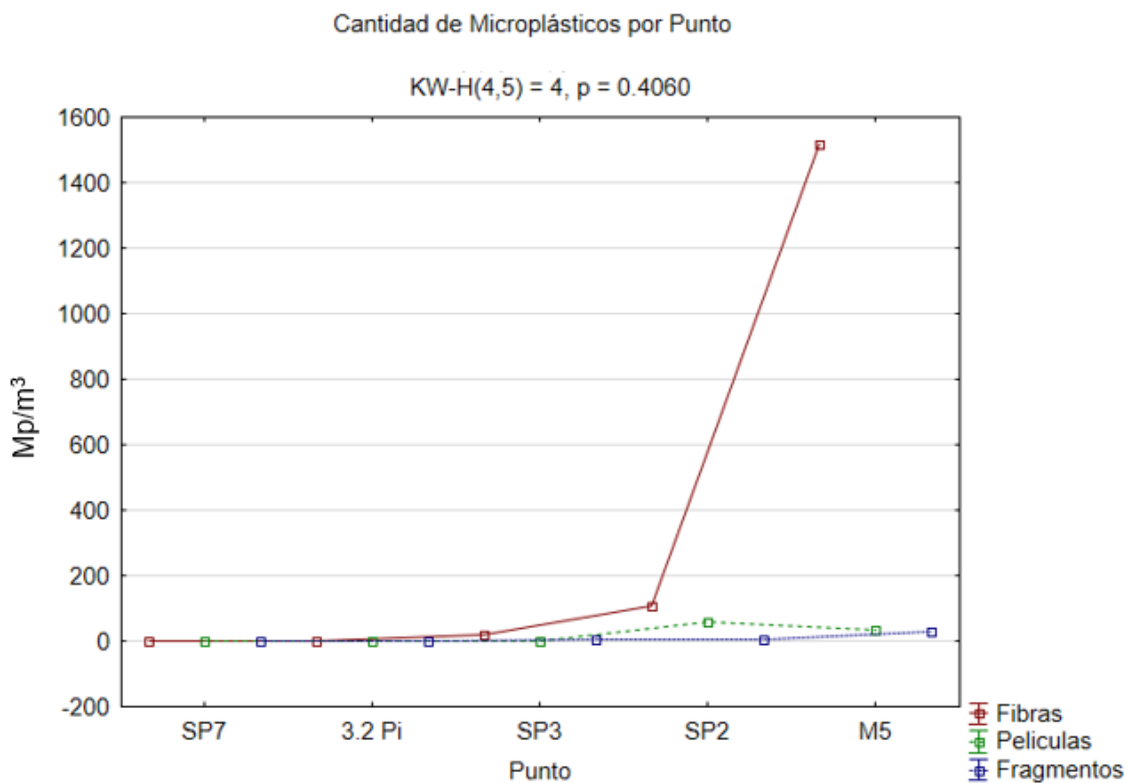


Figura 3. Cantidad de Microplásticos ($\#Mp/m^3$) por categoría y por punto encontrados en la Cuenca Alta del Río Guayllabamba.

La cantidad de microplásticos encontrados tanto en peso como en cantidad (Figura 4 y 5) siguen patrones específicos. En las 3 fechas del estudio la cantidad de microplásticos era menor en los puntos 3.2 PI y SP7. Estos 2 puntos al estar ubicados en las cabeceras de 2 cuencas diferentes llevan las partículas de microplásticos hasta sus siguientes puntos en las mismas cuencas SP3 y SP2 en donde la cantidad de microplásticos aumenta. Finalmente, todos estos puntos llegan al M5 en donde el aumento de estas partículas es notablemente mayor. Un patrón similar se encuentra al relacionar la cantidad de microplásticos en peso sobre metro cubico. En el caso del peso para el punto SP2 de la fecha 2 se debe a que una mayor cantidad de microplásticos en número no es necesariamente mayor en peso debido al tamaño que va entre 5mm y 0.1 mm de las partículas que se encuentran.

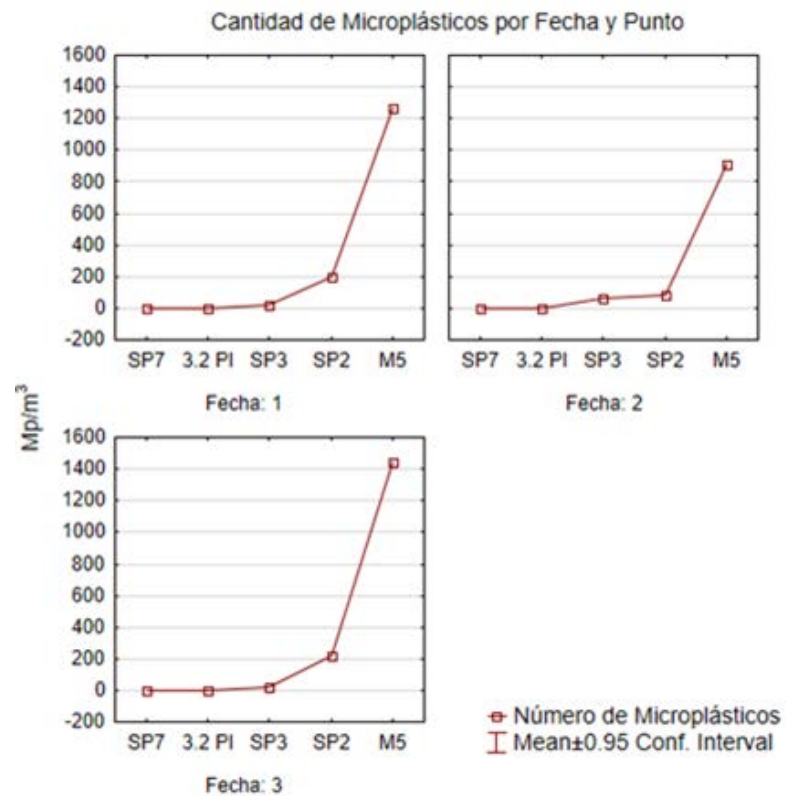


Figura 4. Variación de la cantidad de microplásticos en número (#Mp/m³) por fecha encontrados en la Cuenca Alta del Río Guayllabamba.

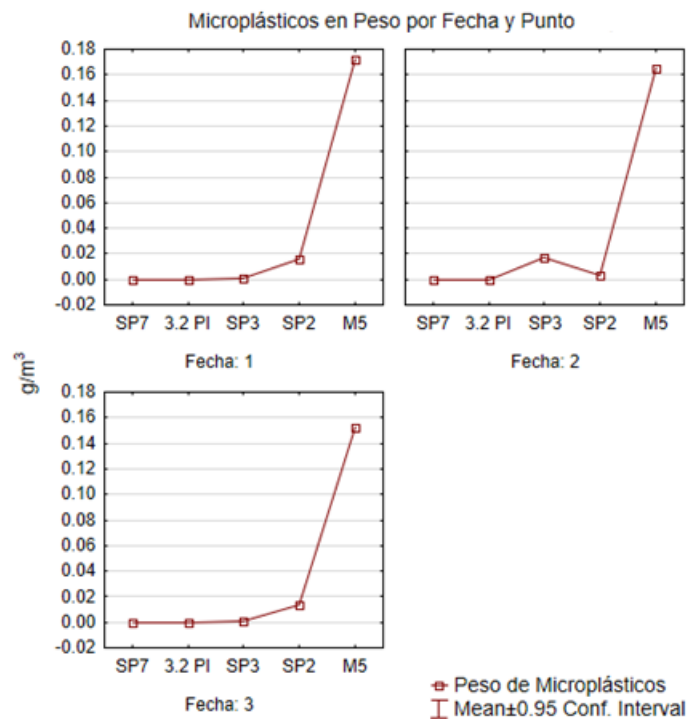


Figura 5. Variación de la cantidad de microplásticos en peso (g/m³) por fecha encontrados en la Cuenca Alta del Río Guayllabamba.

4.2 Cambios en la cantidad de Microplásticos encontrados Antes y Después de las Zonas Urbanas

Los Ríos Pita y San Pedro en sus puntos más altos, 3.2 PI y SP7 respectivamente, fueron utilizados como referencias debido a que estos puntos están alejados de las zonas urbanas, perteneciendo en su mayoría a poblados de la zona rural. Las actividades principales que se dan dentro de las cuencas son la ganadería y la agricultura y por ende estos 2 puntos fueron los que poseen una menor cantidad de partículas de microplásticos por metro cúbico. En cambio, estas mismas cuencas en sus puntos más bajos, SP3 y SP2 respectivamente se han visto más afectados por la influencia de las zonas urbanas, siendo receptores de contaminación con un aumento consecuente de todos los contaminantes (Tabla 6) y microplásticos en sus diferentes tamaños (Tabla 1). Finalmente se tiene el punto M5 del Río Guayllabamba, el cual es receptor de toda la contaminación producto del arrastre de los ríos mencionados anteriormente. Este punto (M5) capta el agua residual de más de 2 millones de personas y recibe la contaminación proveniente de un área de 2578.2 km².

Al hacer una relación entre la cantidad de microplásticos encontrados y el área de drenaje de la cuenca se puede observar que el número de estas partículas por kilómetro cuadrado en los puntos iniciales es mucho más bajo que en el punto final que es M5 (Tabla 7). Esto se debe a que el área de influencia en la cuenca de los puntos 3.2 Pi y SP7 no poseen una relación tan directa con la población urbana ya que se encuentran lejos de estas zonas, sin embargo, sí se detectaron microplásticos en estos puntos (Figura 6). En cambio, en los siguientes puntos, SP3, SP2 y M5, la cantidad de microplásticos por kilómetro cuadrado va aumentando conforme aumentan las zonas urbanas. Lo mismo sucede si se hace una relación entre la cantidad de microplásticos encontradas en relación a la cantidad de habitantes en la cuenca (Figura 7). El punto 3.2PI presenta los valores más bajos del estudio debido a que la influencia por el área urbana es casi nula. Esto no sucede en los puntos SP2 y M5 debido a que estos presentan los valores más altos del estudio y poseen la mayor cantidad de microplásticos

en relación al número de habitantes. Para el caso de SP2, donde la cantidad de microplásticos en relación a la población existente es alta incluso al compararlo con M5.

Tabla 6.

Relación de la cantidad de microplásticos por área y habitantes en los puntos muestreados.

Punto	Mp/m ³	Área de drenaje	Población	Rel	Rel
				$\frac{\#MP/m^3}{Km^2}$	$\frac{\#MP/m^3}{hab}$
SP7	2.23	209	42399	0.01	5.3×10^{-5}
3.2PI	0.73	58.5	17930	0.01	4.1×10^{-5}
SP3	30.18	1338.2	67121	0.02	4.5×10^{-4}
SP2	168.12	1405.5	126910	0.11	1.3×10^{-3}
M5	1584.23	2578.2	2205901	0.61	7.2×10^{-4}

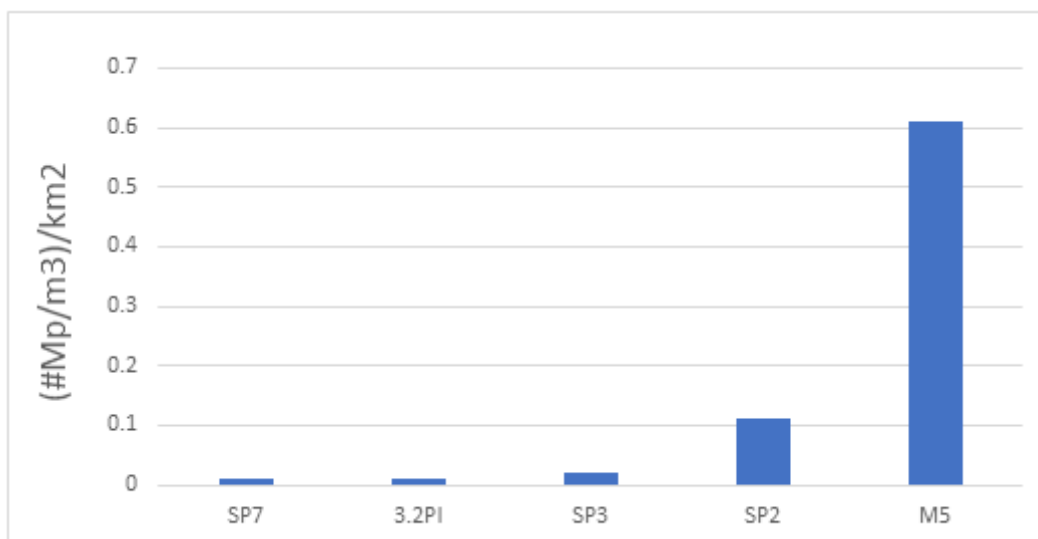


Figura 6. Cantidad de microplásticos (#Mp/m³) que existe por kilómetro cuadrado dentro de la cuenca de estudio en los diferentes puntos.

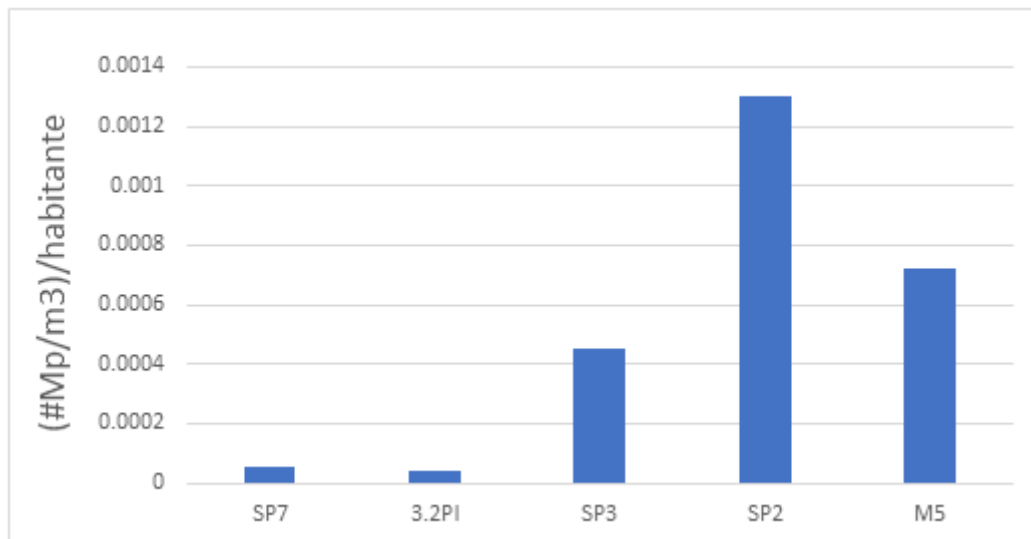


Figura 7. Cantidad de microplásticos (Mp/m³) que existe por habitante dentro de la cuenca de estudio en los diferentes puntos.

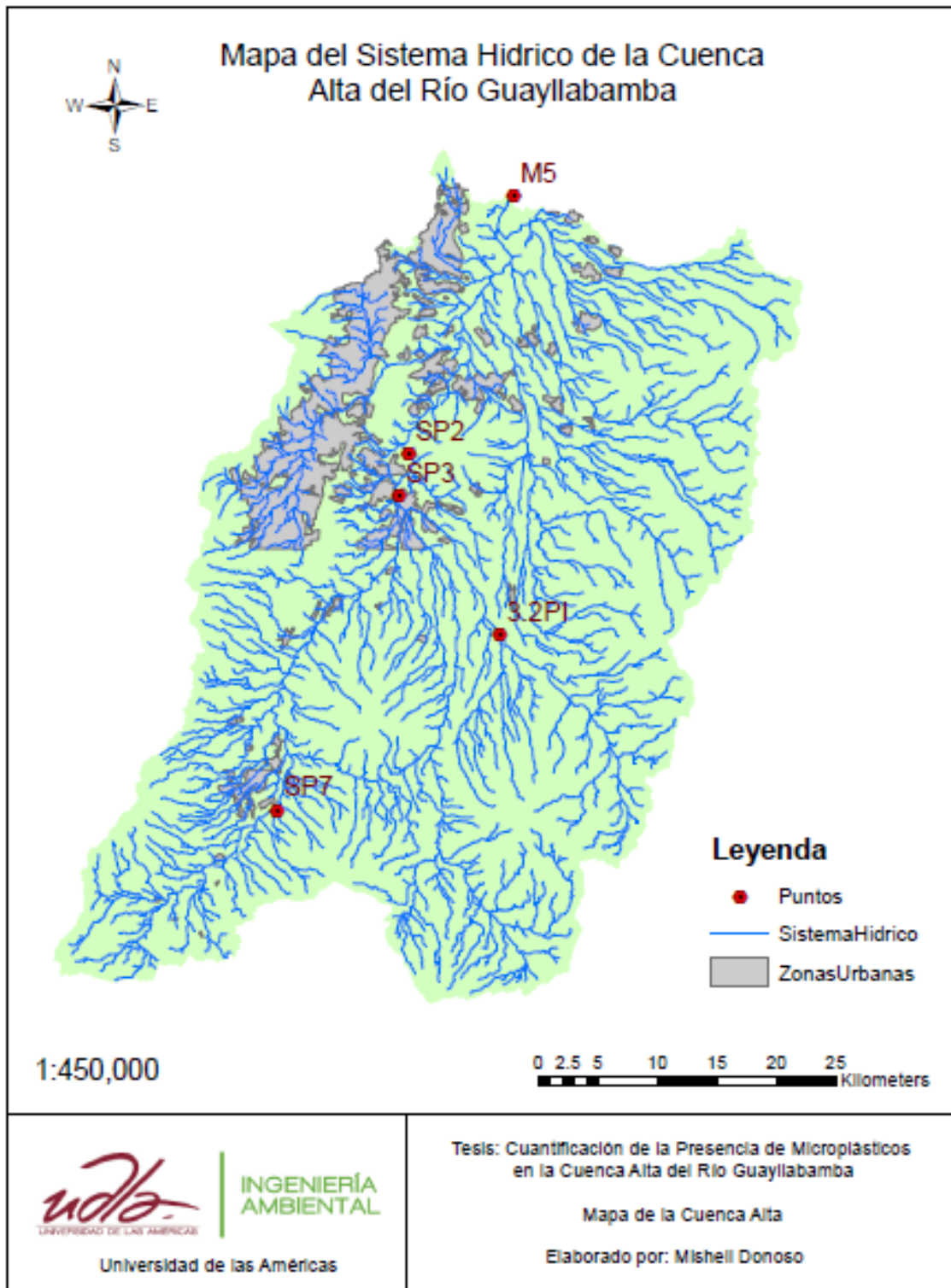


Figura 8. Sistema Hídrico de la Cuenca Alta del Río Guayllabamba con los puntos de muestreo y las zonas urbanas.

A medida que existe un aumento de zonas urbanas (Figura 8), la cantidad de microplásticos aumenta. Como se puede observar en la Figura 9, los puntos 3.2 PI y SP7 son los que poseen una menor cantidad de partículas de microplásticos pero desde el punto SP3 se empiezan a encontrar diferencias cada vez más significativas mostrando la diferencia $(KW-H(4,15) = 13.2333, p= 0.0102)$. Es desde el punto SP3 en donde las diferencias se vuelven notorias, ya que por arrastre, la presencia de estos microplásticos va a ser mayor aguas abajo. A esto se le debe aumentar toda la influencia que los puntos SP3, SP2 y M5 reciben al tener una mayor influencia por las zonas urbanas.

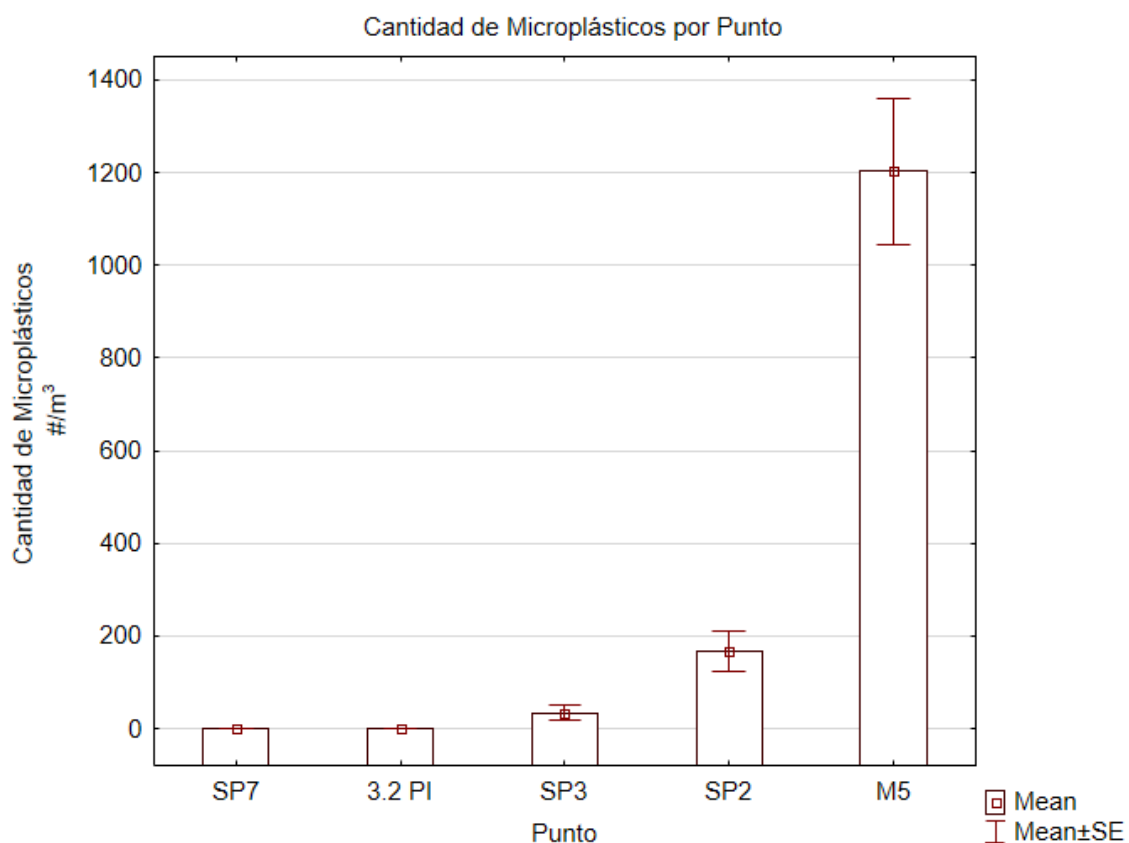


Figura 9. Cantidad de microplásticos por punto encontrados en la Cuenca Alta del Río Guayllabamba en donde se muestra la desviación estándar por fecha.

4.3 Comparación del Estado de la Cuenca con ríos a nivel mundial

La ciudad de Quito posee alrededor de 2.5 millones de habitantes pero cerca del 84% de sus habitantes descarga sus aguas residuales por el sistema de

alcantarillado. Es decir que la Cuenca Alta del Río Guayllabamba recibe las descargas sin tratamiento de cerca de 2.2 millones de personas, además capta el agua que proviene de los ríos Pita y San Pedro ocasionando que el punto M5 se convierta en el punto más contaminado del estudio. Si se compara este punto con otros a nivel mundial se puede encontrar diferencias significativas no solo por el hecho de la cantidad de partículas de microplástico encontradas por metro cubico sino también por el estado y características de la cuenca (Tabla 7, Figura 10). Esto se debe a que en otros países la descarga de aguas residuales va hacia plantas de tratamiento o de recirculación por lo que la cantidad de microplásticos se encuentra en valores bajos, siendo M5 el caso contrario. Casi todos los puntos estudiados (a excepción del 3.2PI) presentan valores más altos de microplásticos por m^3 que los reportados en la literatura.

Tabla 7.

Cantidad de microplásticos (#Mp/m³) encontrados en los sitios de estudio y en otros ríos a nivel mundial.

Río/Punto	Cantidad de Mp/m³	Área de la Cuenca	Población	Presencia de PTAR's	País
Guayllabamba/ M5	1584.23	2578.2	2205901	-	Ecuador
San Pedro/ SP2	168.12	1405.5	126910	-	Ecuador
Pita /SP3	30.18	1338.2	67121	-	Ecuador
San Pedro /SP7	2.23	209	42399	-	Ecuador
Pita /3.2PI	0.73	58.5	17930	-	Ecuador
Higgen's Cr.	0.57	168.8672	264000	11.22	E.E.U.U
Springbrook Cr.	1.17	173.529	63000	5.39	E.E.U.U
L Kickapoo	1.24			0.80	E.E.U.U

N. Shore Ch.	3.36	67.97	45000	6.60	E.E.U.U
Goose Cr.	4,37	370.368	1300000	2.53	E.E.U.U
DuPage R.	5.92			10.28	E.E.U.U
W Br DuPage R.	0.93		24000	2.96	E.E.U.U
Salt Cr.	0.48			3.73	E.E.U.U
E Br DuPage R.	3.14			8.86	E.E.U.U
Rio Rin (Duisburg)	-	232.8	499845	8.84	Alemani a
Rio Rin (Rees)	-	109,7	22267	11.05	Alemani a

Adaptado en base según las investigaciones realizadas por: Mani, 2015 y McCormick, 2016

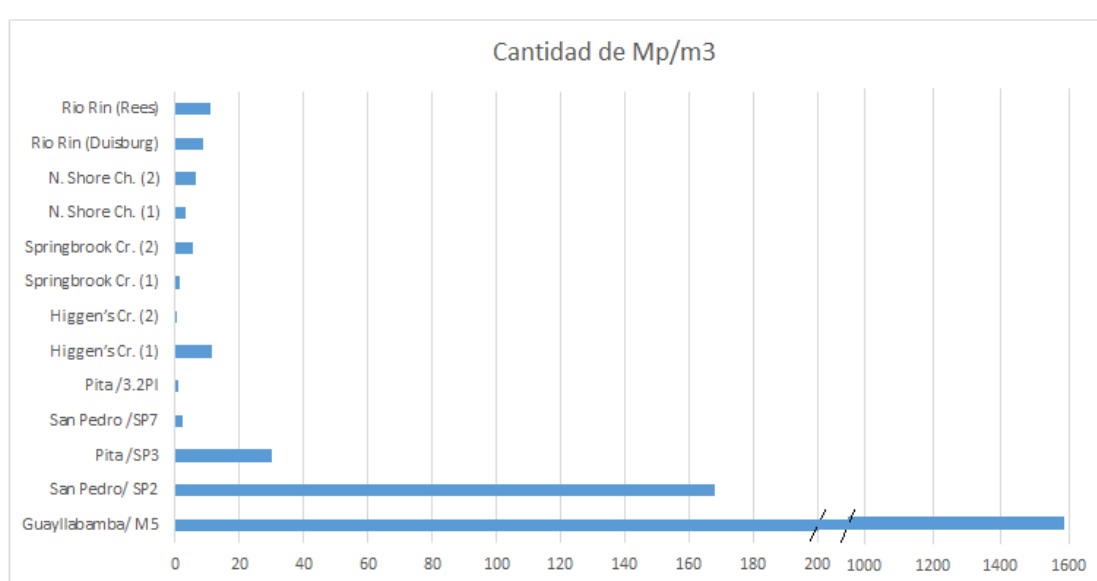


Figura 10. Cantidad de microplásticos por metro cubico encontrados en la cuenca de estudio y en otros ríos a nivel mundial. Se indica un corte entre las líneas negras en Guayllabamba (M5) debido a la cantidad de microplásticos encontrados.

4.4 Discusión

El objetivo principal de este estudio fue cuantificar los microplásticos en los ríos de Quito. Todo esto se realizó dentro de la Cuenca Alta del Río Guayllabamba en donde se estudiaron los Ríos Pita, San Pedro y Guayllabamba. Para ello inicialmente se determinaron las diferencias antes y después de las zonas urbanas y finalmente se compararon los valores encontrados con otros ríos a nivel mundial.

La cantidad de microplásticos encontrados en la Cuenca Alta del Guayllabamba fue presentando valores cada vez superiores conforme se unían más ríos. Estos valores altos se deben a que existe una relación entre factores de contaminación en ríos con la cantidad de microplásticos, principalmente con la urbanización (McCormick, 2017). Para el caso de los puntos SP7 y 3.2 PI que están relacionados con las zonas agrícolas y ganaderas se encontraron valores de microplásticos muy bajos, tanto en peso como en número. Una de las razones para que estas partículas hayan llegado al río se debe a la escorrentía y al mal manejo de residuos sólidos, debido a que las zonas aledañas a estos ríos relacionados a estas industrias (agrícolas y ganaderas) no poseen una cobertura adecuada del suelo para evitar que los contaminantes como envases o pedazos de plástico lleguen al agua (Acosta, 2015). Si se toma en cuenta que los puntos 3.2 PI y SP7 pertenecen a zonas agrícolas y ganaderas, estos puntos y los 3 restantes cumplen con todos parámetros para riego agrícola (Anexo 1) y límites permisibles de descargas al cuerpo receptor (Anexo 2) a excepción de aceites y grasas para el primer caso. Por lo que estos microplásticos pueden llegar a formar parte de la cadena alimenticia debido a que dentro de la cuenca muchas personas aún utilizan el agua del río para realizar sus actividades como riego y ganadería. Incluso otros problemas pueden surgir por desconocimiento al consumir el agua proveniente de los puntos más contaminados ya que las personas piensan que ésta es apta para diferentes usos.

Dentro del estudio la mayoría de partículas reportadas en todos los puntos fueron las fibras. Estas fibras están relacionadas a productos sintéticos y han generado gran preocupación debido a su alarmante cantidad (Anderson, 2017). Dentro del

estudio se encontró que estas van aumentando conforme se va avanzando en la cuenca y las áreas urbanas van aumentando. Aunque en los primeros estudios las fibras no parecían ser una fuente de contaminación, actualmente se conoce que son las que tienen una mayor facilidad para fraccionarse y estas aumentan de manera significativa en las zonas donde la población es mayor (Anderson & Blair et al., 2017).

Según lo indicado en las correlaciones de Spearman, la cantidad de microplásticos es directamente proporcional a la cantidad de contaminantes presentes en el agua. Los puntos más contaminados fueron M5, SP2 y SP3 respectivamente fueron los puntos en las que se encontró una mayor cantidad de microplásticos. Esto se debe a que el agua durante su recorrido va a atravesar varias cuencas hidrográficas, lo que provocará un arrastre de contaminantes y de partículas de microplástico conforme se va bajando en la cuenca (Ramírez 2017). Al ser la calidad del agua un hecho que puede causar conflictos entre los grupos sociales, los problemas que genera su mal manejo va a ir aumentando conforme a las necesidades y características de la población, es por ello que las zonas urbanas llegan a ser más exigentes al momento de recibir este recurso, pero igualmente son las menos comprometidas al devolver el recurso a los cauces del río (Zamora, 2011). Este es el caso de M5, en donde el mal manejo del agua residual proveniente de un área urbana que posee más de 2 millones de personas ha generado que la contaminación por microplásticos sea mucho mayor que los registros de estas partículas encontradas a nivel mundial. Incluso si se habla del tratamiento de aguas residuales las cuales poseen una cantidad alarmante de microplásticos debido a las características de las aguas. Por ello si se pensara implementar plantas de tratamiento para descontaminar el agua residual que llega a los ríos a lo largo de la cuenca, estas serían muy costosas a causa de la complejidad de los procesos que se deben realizar en la planta para remover un porcentaje estas partículas (Westphalen & Abdelrasoul, 2018).

Al comparar la cantidad de microplásticos encontrados en los puntos menos contaminados de la cuenca (3.2 PI y SP7) con los puntos menos contaminados en un estudio de Estados Unidos se puede encontrar valores similares. Una de las razones a las que se pueden atribuir bajos valores a estos ríos de Estados

Unidos es que los ríos de estudio provienen del efluente del Río Illinois el cual cada cierto tiempo pasa por procesos de limpieza y dragado, lo cual no permite que las partículas se sigan degradando y sigan viajando aguas abajo (FI&ND, 2001). Esto no pasa en los ríos de Quito debido a que no existe un manejo correcto de las aguas residuales ni de residuos sólidos, por lo que todo esto termina en los ríos.

Para los valores reportados en el Río Rin, se pudo notar que en la zona de Rees, la cantidad de partículas de microplásticos en relación al área de influencia es similar a la de los valores obtenidos en los puntos 3.2 PI y SP7. En cambio, para los valores reportados en Desiburg se pudo notar que la densidad de microplásticos por kilómetro cuadrado es mucho menor a estos puntos e incluso se puede decir que sus valores son similares a los encontrados en los océanos (Mani et al., 2015). Igualmente, si se toma en cuenta la relación de microplásticos por habitantes, el punto de Deinsburg posee valores similares a los puntos 3.2PI y SP7. Esto no pasa en Rees ya que su cantidad de microplásticos por habitantes es similar al punto SP3 en donde se nota que existe ya contaminación por influencia de las zonas urbanas. Esta baja contaminación en Densiburg que va subiendo a medida que se llega a Rees se debe a que existe un arrastre de contaminantes, aunque los valores no son tan altos a comparación de los puntos SP2 y M5. La baja cantidad de microplásticos encontrados se debe a que por su parte Alemania ha establecido varias políticas durante años para evitar problemas de contaminación en sus ríos ya que décadas atrás la situación de los ríos en Alemania (especialmente el Río Rin) estuvo en un estado crítico (Mani et al., 2015 & Vaughan, 2017). En Ecuador no pasa esto debido a la falta de políticas para el manejo de aguas residuales, la mala gestión de residuos sólidos y al mal manejo de los recursos hídricos lo cual fue evidente a lo largo de la cuenca por ello la cantidad de microplásticos encontrados en los lugares de estudio fue aumentando significativamente según el punto.

Las zonas estudiadas de Europa se han visto influenciados por las alteraciones humanas de los entornos naturales. Entre las principales causas de estas alteraciones se encuentran la remoción de la vegetación debido a que 2/3 partes de esta ha sido destruida y remplazada por otros usos de suelo (Leslie, 2016 &

Acosta, 2015). Problemas similares a estos se han presentado a lo largo de la Cuenca Alta del Río Guayllabamba en donde el cambio de uso de suelo cerca de los ecosistemas de ribera ha generado problemas de contaminación por microplásticos, pero a diferencia de los estudios en Europa, los datos encontrados en la Cuenca Alta del Río Guayllabamba son mucho mayores. Otra de las causas es la contaminación de sus aguas la cual va a aportar con partículas de microplástico, a esto se le suman las modificaciones hidrogeológicas de los ríos lo cual va a generar problemas aguas abajo debido al arrastre de contaminantes. Si se suman estos 2 factores se puede encontrar problemas de contaminación directa por la escorrentía, esto va a generar que en el recorrido de las aguas éstas vayan adquiriendo cierta composición química la cual va a variar en función de las condiciones ambientales del medio. Para Europa, los lugares donde se encuentran las cabeceras de los ríos suelen ser pobres en nutrientes y es a medida que se va bajando que se llegan a encontrar ecosistemas ribereños más afectados no solo por microplásticos sino también otros contaminantes (Sotelo-Navalpotro, 2006). Un caso similar sucede dentro de la cuenca de estudio debido a que en las cabeceras de los ríos los problemas de contaminación no son alarmantes hasta llegar a las zonas urbanas en donde los valores de microplásticos empiezan a aumentar significativamente y son incluso mayores a los reportados en la bibliografía.

5. CONCLUSIONES

Los datos de la cantidad de partículas de microplásticos encontrados en los ríos de la Cuenca Alta del Río Guayllabamba simbolizan los primeros datos de este tipo para ríos en Ecuador. Las concentraciones de estas partículas en algunos casos son relativamente bajas como es el caso de los ríos en la cabecera de la cuenca como son los puntos 3.2PI y SP7, pero a medida que los ríos atraviesan áreas urbanas, estas concentraciones se vuelven muy alarmantes ya que llegan a exceder por mucho a los datos de la bibliografía encontrada como es el caso para SP3, SP2 y M5.

Las descargas de aguas residuales hacia los ríos están altamente relacionadas con la cantidad de microplásticos presentes en estos, esta relación se hace más notable en las zonas urbanas debido al aumento poblacional, la mala gestión de residuos urbanos, a la pérdida de cobertura vegetal y a la falta de tratamiento de aguas residuales por lo que la cantidad de microplásticos en los últimos puntos es cada vez más alta, un ejemplo de esto se tiene en M5, que presenta valores de 1584 partículas de microplástico por metro cúbico.

Al hacer una comparación de la cantidad de microplásticos encontrados en los ríos de estudio con otros ríos a nivel mundial, se pudo notar que la situación actual de la Cuenca Alta del Río Guayllabamba presenta valores muy alarmantes en SP3, SP2 y M5 ya que estos puntos poseen cantidades de microplásticos que superan a las encontradas en ríos a nivel mundial

A pesar de que los estudios sobre los microplásticos son áreas altamente llamativas e interdisciplinarias debido a que cubren campos investigativos como son el biomonitorio, hidrología, modelamiento de contaminantes, riesgos en la salud humana y ecosistémica, la información que existe actualmente para ríos y sistemas de agua dulce es muy pobre dificultando así que las personas tengan un conocimiento más claro de lo que la contaminación por microplásticos puede ocasionar. Un ejemplo de esto es el caso de Quito, debido a que el agua de sus ríos tiene un potencial de contaminación muy alto ya que sus aguas siguen abasteciendo a poblaciones más abajo de la cuenca como es el caso de

Esmeraldas y durante su trayecto el agua es utilizada para la agricultura y ganadería por lo que los microplásticos llegarían a tener impactos muy notorios debido a que podrían ingresar a la cadena alimenticia lo cual llevaría a problemas de salud tanto de animales como de personas.

REFERENCIAS

- Acosta, R. (2009) Estudio de la Cuenca Altoandina del río Cañate (Perú): Distribucion altitudinal de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y caracterización hidroquímica de sus cabeceras cársticas. Memoria de título de Doctor por la Universidad de Barcelona.
- Álvarez, M. (1973). LA LUCHA CONTRA LA CONTAMINACION DE LAS AGUAS. PROBLEMAS JURIDICOS Y ADMINISTRATIVOS. *Revista De Estudios De La Administración Local*, (177). Recuperado el 23 de mayo de 2018 de: doi:<http://dx.doi.org.bibliotecavirtual.udla.edu.ec/10.24965/real.vi177.7811>
- Álvarez, M. (1981). LA CONTAMINACION DE LAS AGUAS SUPERFICIALES. *Revista De Estudios De La Administración Local*, (210). Recuperado el 12 de abril de 2018 de: doi:<http://dx.doi.org.bibliotecavirtual.udla.edu.ec/10.24965/real.vi177.7811>
- Anderson, J., Park, B. & Palace, B. (2016). *Microplastics in aquatic environments: Implications for Canadian ecosystems. Environmental Pollution*, 218, 269-280.
- Anderson, P. J., Warrack, S., Langen, V., Challis, J. K., Hanson, M. L., & Rennie, M. D. (2017). *Microplastic contamination in lake Winnipeg, Canada. Environmental pollution*, 225, 223-231.
- Blair, R. Waldron, S. Phoenix, V. Gauchotte, L. (2017). *Micro- and Nanoplastic Pollution of Freshwater and Wastewater Treatment Systems. Springer Science Reviews*. 2213-7793. -017-0044-7.
- Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., & Thompson, R. (2011). *Accumulation of microplastic on shorelines*

woldwide: Sources and sinks. Environmental Science & Technology, 45(21), 9175. Recuperado el 2 de abril de 2018 de: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es201811s>

- Céleri, R., & Feyen, J. (2009). *The hydrology of tropical andean ecosystems: Importance, knowledge status, and perspectives. Mountain Research and Development (Online), 29(4), 350-355.*
- Chae, D., Kim, I., Kim, S., Song, Y. K., & Shim, W. J. (2015). *Abundance and distribution characteristics of microplastics in surface seawaters of the Incheon/Kyeonggi coastal region. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 69(3), 269-278.*
- Deng, Y., Zhang, Y., Lemos, B., & Ren, H. (2017). *Tissue accumulation of microplastics in mice and biomarker responses suggest widespread health risks of exposure. Scientific Reports (Nature Publisher Group), 7, 46687.* Recuperado el 1 de mayo de 2018 de: <https://www.nature.com/articles/srep46687>
- Dodds, W. K. (2002). *Freshwater ecology: concepts and environmental applications. Academic press.* Recuperado el 1 de mayo de 2018 de: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=3OR0102I7n4C&oi=fnd&pg=PP1&dq=Freshwater+ecology:+concepts+and+environmental+applications&ots=WUdLQSc1la&sig=sAhF-ftJlwzYVaSY-xeZdvMfpiU#v=onepage&q=Freshwater%20ecology%3A%20concepts%20and%20environmental%20applications&f=false>
- Dourojeanni, A. (2001). INSTRUMENTOS ECONÓMICOS PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA: CONDICIONES Y CASOS DE APLICACIÓN*. *Debate Agrario (Perú), 141-165.*
- Dourojeanni, A. (1994). LA EVOLUCIÓN DE LA GESTIÓN DE CUENCAS EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. *Debate Agrario, (18), 65-88,191.*

Egas, J. & Ordóñez, J. (2015). Plan de Intervención Ambiental Integral en las Quebradas de Quito. NOVUM, Asesora y Consultora Ambiental. Recuperado el 17 de mayo de 2018 de: http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria_Ambiente/Documentos/patrimonio_natural/quebradas/plan_de%20intervencion.pdf

Gómez-Duarte, O. (2018). *Water pollution in low and middle resources countries: A global health public problem. Revista De La Facultad De Medicina*, 66(1), 7-8. Recuperado el 19 de marzo de 2018 de: DOI:10.15446/.v66n1.70775

Hoellein, T. McCormick, A. Hittie, J. London, M. Scott, J. & Kelly, J. (2017). *Longitudinal patterns of microplastic concentration and bacterial assemblages in surface and benthic habitats of an urban river. Freshwater Science*. 36(3):000–000. Recuperado el 25 de marzo de 2018 de: <https://www.journals.uchicago.edu/doi/abs/10.1086/693012>

Landázuri, A., Quevedo, J., Torres, M., Mayorga, A., & Gómez, L. (2014). Muestreo y Caracterización de la Descarga “Iñaquito”, representativa de la Cuenca Urbana de la Quebrada El Batán: Quito-Ecuador. Programa de Descontaminación de los Ríos de Quito. Recuperado el 8 de mayo de 2018 de: https://www.researchgate.net/publication/268804605_MUESTREO_Y_CHARACTERIZACION_DE_LA_DESCARGA_CENTRAL_INAQUITO_REPRESENTATIVA_DE_LA_CUENCA_URBANA_DE_LA_QUEBRADA_EL_BATAN_QUITO_-_ECUADOR

Mani, T., Hauk, A., Walter, U., & Burkhardt-Holm, P. (2015). *Microplastics profile along the Rhine river. Scientific Reports (Nature Publisher Group)*, 5, 17988. Recuperado el 3 de marzo de 2018 de: <https://www.nature.com/articles/srep17988>

- McCormick, A. Hoellein, T. London, M. Hittie, J. Scott, J. & Kelly, J. (2016). *Microplastic in surface waters of urban rivers: concentration, sources, and associated bacterial assemblages*. *Ecosphere* 7(11):e01556. 10.1002/ecs2.1556. Recuperado el 26 de febrero de 2018 de: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ecs2.1556>
- Murtinho, F., Tague, C., de Bievre, B., Eakin, H., & Lopez-carr, D. (2013). *Water scarcity in the andes: A comparison of local perceptions and observed climate, land use and socioeconomic changes*. *Human Ecology*, 41(5), 667-681.
- Masura, J. Baker, J. Foster, G. Courtney, A. (2015). *Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments*. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48. Recuperado el 12 de febrero de 2018 de: <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/10296>
- Navalpotro, J. A. S., Alcolea, M. Á., Quiroga, F. G., & Pérez, M. S. (2009). La degradación medioambiental de la cuenca mediterránea: Conservación vs. gestión de unos recursos y de un patrimonio compartido/The environmental degradation of the mediterranean basin preservation vs. management of the shared resources and patrimony. *Observatorio Medioambiental*, 12, 167-206. Recuperado el 24 de abril de 2018 de: <https://core.ac.uk/download/pdf/38809122.pdf>
- Orozco, C., Perez, A., González, M. N., Rodríguez, F. J., & Alfayate, J. M. (2002). *Contaminación ambiental: Una visión desde la química*. Recuperado el 22 de mayo de 2018 de: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=nUoOx-8knyUC&oi=fnd&pg=PA87&dq=Contaminaci%C3%B3n+ambiental:+Una+visi%C3%B3n+desde+la+qu%C3%ADmica&ots=HITeRGGmDI&sig=xxnEDr_pRz-

q59JdKhBgkUCctPU#v=onepage&q=Contaminaci%C3%B3n%20ambiental%3A%20Una%20visi%C3%B3n%20desde%20la%20qu%C3%ADmica&f=false

ProQuest (2005). EL CANON DE CONTROL DE VERTIDOS ESTATALY LOS CÁNONES DE SANEAMIENTO AUTONÓMICOS. BREVE APUNTE DE DERECHO COMPARADO ALEMÁN. Revista De Estudios De La Administración Local y Autonómica, (298-299). Recuperado el 4 de mayo de 2018 de: <https://search.proquest.com/openview/8d8c89bbfd2d181fc5ea62f4e76a671b/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2046214>
DOI:10.24965/reala.vi298-299.9279

ProQuest (2005). Diseño, construcción y aplicabilidad del índice de evaluación ambiental de ecosistemas acuáticos (IEAEA). Interciencia, 30(3), 126-133. Recuperado el 14 de mayo de 2018 de: <https://search-proquest-com.bibliotecavirtual.udla.edu.ec/docview/748680085/DA9702CBBC5447DBPQ/1?accountid=33194>

ProQuest (2016). Fuentes terrestres de contaminación en la zona costera de la guajira, Colombia. Revista De Investigación Agraria y Ambiental, 7(1), 123-138. Recuperado el 25 de febrero de 2018 de: <https://search-proquest-com.bibliotecavirtual.udla.edu.ec/docview/1954861941?accountid=33194>

ProQuest (2009). EVALUACIÓN FISICOQUÍMICA, MICROBIOLÓGICA Y TOXICOLÓGICA DE LA DEGRADACIÓN AMBIENTAL DEL RÍO ATOYAC, MÉXICO. Interciencia, 34(12), 880-887. Recuperado el 28 de abril de 2018 de: <https://search-proquest-com.bibliotecavirtual.udla.edu.ec/docview/748437204/84859509B2564035PQ/1?accountid=33194>

ProQuest (2011). Modelización de escenarios de cambio potencial en la vegetación y el uso de suelo en la sierra madre oriental de San Luis potosí, México. *Journal of Latin American Geography*, 10(2), 65-86. Recuperado el 25 de abril de 2018 de: <https://search-proquest-com.bibliotecavirtual.udla.edu.ec/docview/1023285658/2328FE42C3434FA4PQ/1?accountid=33194>

ProQuest (2006). Algunos problemas medioambientales en Europa. *Canales De Geografía De La Universidad Complutense*, 26, 299-320. Recuperado el 19 de mayo de 2018 de: <https://search-proquest-com.bibliotecavirtual.udla.edu.ec/docview/204249259/9B2793566E414669PQ/2?accountid=33194>

ProQuest (1981). El deterioro del medio natural. *Documentación Administrativa*, (190). Recuperado el 29 de abril de 2018 de: <https://search-proquest-com.bibliotecavirtual.udla.edu.ec/docview/2012163643?accountid=33194>

ProQuest (2015). Caracterización físico-química y microbiológica del agua del río Soacha, Cundinamarca, Colombia/*Physico-chemical and microbiological characterization of Soacha river water Cundinamarca, Colombia/Caracterização microbiológica físico-químicas da água de rio Soacha, Cundinamarca, Colombia*. *Revista De Investigación Agraria y Ambiental*, 6(2), 119-144. Recuperado el 22 de abril de 2018 de: <https://search-proquest-com.bibliotecavirtual.udla.edu.ec/docview/1819934228?accountid=33194>

ResearchGate (2003). *Ecology of a high Andean stream, Rio Itambi, Otavalo, Ecuador*. *Limnologica*. Recuperado el 7 de marzo de: https://www.researchgate.net/profile/Patricia_Burneo/publication/259620967_Ecologia_del_Rio_Itambi_San_Pablo_Otavalo_Ecuador/link

s/58fa1dde4585152edeceb119/Ecologia-del-Rio-Itambi-San-Pablo-Otavalo-Ecuador.pdf

Rios-Touma, B. & Guerrero-Latorre, L. (2016). *Ecological and microbiological status of the Upper Guayllabamba River Basin, historic trends, biodiversity threats and health risks. Research Project*. Universidad de Las Américas.

Ramírez, J. P. (2017). Agricultura y grandes urbes mexicanas en el conflicto por el agua. *El Cotidiano*, 32(201), 39-44.

Roldán, G., y Ramíres, L. (2008) Fundamentos de limnología neotropical. (Universidad de Antioquia, Ed. 2. Recuperado el 12 de marzo de 2018 de:

<https://books.google.com.ec/books?id=FA5Jr7pXF1UC&printsec=frontcover&dq=fundamentos+de+limnolog%C3%ADa+neotropical&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj8z9mP0aHdAhVK0VMKHdghCQUQ6AEIJTAA#v=onepage&q=fundamentos%20de%20limnolog%C3%ADa%20neotropical&f=false>

Salmore, A. K., Hollis, E. J., & McLellan, S. L. (2006). *Delineation of a chemical and biological signature for stormwater pollution in an urban river. Journal of Water and Health*, 4(2), 247-262. Recuperado el 30 de marzo de 2018 de: doi:10.2166/wh.2006.006

Samboni Ruiz, N. E., Carvajal Escobar, Y., & Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e investigación*, 27(3).

Secretaría General de la Comunidad Andina, Ministerio del Ambiente (Ecuador) / Proyecto de Adaptación al Impacto del Retroceso Acelerado de Glaciares en los Andes Tropicales (PRAA), Fondo para la Protección del Agua (FONAG), 2012. Estudio de Disponibilidad de Agua. Quito,

EC. 19p. Recuperado el 9 de marzo de 2018 de:
<http://www.ambiente.gob.ec/proyecto-praa/>

Talvitie, J., Mikola, A., Koistinen, A. & Setälä, O. (2017). *Solutions to microplastic pollution. Removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies. Water Research. (123), 401-407.*

Tavera, J. (2001, 09). EVOLUCIÓN DE LAS CORRIENTES COMERCIALES Y SUS IMPACTOS AMBIENTALES EN EL PERÚ. *Debate Agrario (Peru)*, 123-139.

Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., & al, e. (2004). *Lost at sea: Where is all the plastic? Science, 304(5672), 838.*

Villamarín, C., Prat, N., & Rieradevall, M. (2014). Caracterización física, química e hidromorfológica de los ríos altoandinos tropicales de Ecuador y Perú/*Physical, chemical and hydromorphological characterization of Ecuador and Peru tropical highland Andean rivers. Latin American Journal of Aquatic Research, 42(5), 1072-1086.*

Wagner, M. Scherer, C. Alvarez-Muñoz, D. Brennholt, N. Bourrain, X. Buchinger, S. Fries, E. Grosbois, C. Klasmeier, J. Marti, T. Rodriguez-Mozaz, S. Urbatzka, R. Vethaak, A.D. Winther-Nielsen, M. & Reifferscheid, G. (2014). *Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know. Environmental Sciences Europe 2014, 26:12.*

Westphalen, H & Abdelrasoul, A. (2018). *Challenges and Treatment of Microplastics in Water, Water Challenges of an Urbanizing World. Chapter 5.* Recuperado el 6 de mayo de 2018 de:
<https://www.intechopen.com/books/water-challenges-of-an-urbanizing-world/challenges-and-treatment-of-microplastics-in-water>
DOI: 10.5772/intechopen.71494

Yang, D., Shi, H., Li, L., Li, J., Jabeen, K., & Kolandhasamy, P. (2015). *Microplastic pollution in table salts from China. Environmental science & technology, 49(22), 13622-13627*. Recuperado el 4 de abril de 2018 de: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.5b03163>

Zamora. A. (2011). Discursos y conflictos en la gestión de los recursos hídricos: Agricultores, ambientalismo y sostenibilidad. Una aportación desde la antropología social para la gobernanza del agua/*Discourses and conflicts in water resources management: Farmers, environmentalism and sustainability. contribution from social anthropology to water governance*. Revista De Antropología Social, 20, 137-170. Recuperado el 2 de marzo de 2018 de: <https://core.ac.uk/download/pdf/38821933.pdf>

ANEXOS

Anexo #1. Datos de los análisis físico-químicos de los puntos de muestreo

Punto	Fecha	Caudal Red (m3/seg)	Masa de Sólidos Totales (g)	Cantidad de Microplásticos	Microplásticos en peso (g)	pH	TDSC
SP7	1	0.231	84.212	0.83	0.0001	7.86	0.3300
3.2 PI	1	0.108	37.850	1.23	0.0001	8.22	0.1550
SP3	1	0.021	11.435	21.27	0.0010	7.58	0.5900
SP2	1	0.038	16.880	200.94	0.0155	8.18	0.5890
M5	1	0.045	9.398	1,261.41	0.1724	8.14	0.4620
SP7	2	0.112	1,848.921	1.35	0.0001	7.86	0.3300
3.2 PI	2	0.122	60.127	0.44	0.0000	8.75	0.1000
SP3	2	0.011	23.746	65.45	0.0168	7.34	0.2602
SP2	2	0.065	83.892	78.77	0.0028	8.12	0.3832
M5	2	0.080	26.893	905.39	0.1656	8.17	0.2718
SP7	3	0.060	2,257.789	1.71	0.0001	7.37	0.2648
3.2 PI	3	0.115	13.903	0.58	0.0000	7.99	0.1384
SP3	3	0.039	11.980	16.75	0.0012	6.95	0.3249
SP2	3	0.036	23.253	218.63	0.0133	7.98	0.4112
M5	3	0.049	236.272	1,440.51	0.1525	7.82	0.2805

Anexo #2. Datos de los análisis físico-químicos de los puntos de muestreo

Punto	Fecha	Conductividad (mS/cm)	Temperatura °C	% OD/L	OD (mg/L)	Color UPC
SP7	1	278.4	13.0	105.8	7.91	3
3.2 PI	1	134.8	11.8	99.3	7.77	42
SP3	1	411.5	21.3	10.7	0.71	85

SP2	1	428.3	19.5	92.6	6.45	94
M5	1	350.9	17.5	96.2	7.36	67
SP7	2	278.4	13.0	105.8	7.91	3
3.2 PI	2	158.2	8.2	103.2	8.79	96
SP3	2	400.2	17.9	41.4	2.92	99
SP2	2	590.0	20.6	90.5	6.14	126
M5	2	416.9	15.9	95.5	7.58	115
SP7	3	315.9	11.8	101.5	7.80	177
3.2 PI	3	213.0	11.4	104.1	8.18	108
SP3	3	500.0	19.7	10.1	6.72	96
SP2	3	632.0	22.5	91.6	6.02	169
M5	3	435.8	16.5	97.6	7.64	169

Anexo #3. Datos de los análisis físico-químicos de los puntos de muestreo

Punto	Fecha	Turbidez NTU	Nitritos mg/l	Nitratos mg/l	Amonio mg/l	Fosfatos mg/l
SP7	1	5	0.007	2.85	0.25	1.32
3.2 PI	1	9	0.001	1.52	0.28	0.99
SP3	1	14	0.084	2.21	2.98	15.53
SP2	1	13	0.321	2.50	3.13	15.99
M5	1	26	0.538	2.91	2.84	7.55
SP7	2	5	0.007	2.85	0.25	1.32
3.2 PI	2	20	0.001	1.21	0.21	0.74
SP3	2	13	0.097	1.96	4.94	12.30
SP2	2	10	0.332	2.64	1.45	15.81
M5	2	53	0.376	2.92	1.12	7.26
SP7	3	220	0.022	2.87	0.25	1.02
3.2 PI	3	11	0.002	1.13	0.24	0.80
SP3	3	9	1.038	2.47	2.68	7.21
SP2	3	76	0.395	2.81	0.58	4.06

M5	3	76	0.395	2.81	0.58	4.06
----	---	----	-------	------	------	------

Anexo #4. Datos de los análisis físico-químicos de los puntos de muestreo

Punto	Fecha	DBO5 mgO2/l	DQO mgO2/l	Cloruros mg/l	Sulfatos mg/l	Aceites y Grasas mg/l	Alcalinidad mg CaCO3/l
SP7	1	2	9.375	7.835	21.236	0.007	51.213
3.2 PI	1	2	7.500	0.922	25.463	0.007	37.246
SP3	1	39	51.250	32.262	19.203	0.008	74.492
SP2	1	24	47.500	44.245	21.724	0.010	74.492
M5	1	21	39.375	35.027	19.285	0.003	60.525
SP7	2	2	9.375	7.835	21.236	0.007	51.213
3.2 PI	2	1	6.250	1.383	22.699	0.008	27.935
SP3	2	29	40.625	33.184	15.220	0.045	65.181
SP2	2	14	40.625	44.706	25.057	0.019	65.181
M5	2	18	38.125	35.488	19.285	0.027	62.387
SP7	3	2	7.500	7.835	24.976	0.002	65.181
3.2 PI	3	1	6.875	0.461	24.488	0.009	27.935
SP3	3	34	66.250	33.644	15.951	0.026	74.492
SP2	3	7	28.125	35.949	22.537	0.013	65.181
M5	3	7	28.125	35.949	22.537	0.013	65.181

Anexo #5. Parámetros de calidad de agua para riego agrícola

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Aceites y grasas	Película Visible		Ausencia
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico	As	mg/l	0,1
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro	B	mg/l	0,75
Cadmio	Cd	mg/l	0,05
Cinc	Zn	mg/l	2,0
Cobalto	Co	mg/l	0,01
Cobre	Cu	mg/l	0,2
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	1000
Cromo	Cr ⁺⁶	mg/l	0,1
Flúor	F	mg/l	1,0
Hierro	Fe	mg/l	5,0
Huevos Parásitos			Ausencia
Litio	Li	mg/l	2,5
Materia Flotante	Visible		Ausencia
Manganeso	Mn	mg/l	0,2
Mercurio	Hg	mg/l	0,001
Molibdeno	Mo	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	0,2
Nitritos	NO ₂	mg/l	0,5
Oxígeno Disuelto	OD	mg/l	3
Potencial de hidrógeno	pH	---	6-9
Plomo	Pb	mg/l	5,0
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	250
Vanadio	V	mg/l	0,1
Sólidos Sedimentables	SSE	ml/l	20,0

Anexo #6. Límites máximos permisibles para el cuerpo receptor

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	
			Alcantarillado	Cauce de agua
Aceites y grasas	A y G	mg/l	70	30
Explosivos e inflamables	Sustancias	mg/l	Cero	
Alquil Mercurio		mg/l	No detectable	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1	0,1
Bario	Ba	mg/l		2,0
Boro	B	mg/l		2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02	0,02
Cianuro Total	CN ⁻	mg/l	1,0	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5	0,5
Cloroformo	Ext. carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/l		1000
Cobre	Cu	mg/l	1,0	1,0
Cobalto Total	Co	mg/l	0,5	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml		Remoción>al 99,9%
Color real	Color real	Unidades Pt-Co		*Inapreciable en dilución:1/20
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2	0,2
Cromo Hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	170	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	350	160
Dicloroetileno	Expresada como Dicloroetileno	mg/l	1,0	
Estaño	Sn	mg/l		5,0
Fluoruros	F	mg/l		5,0
Fósforo Total	P	mg/l	15	10
Hierro	Fe	mg/l	25	10
Hidrocarburos Totales	TPH	mg/l	20	10
Materia flotante	Visible	-	Ausencia	Ausencia
Manganeso	Mn	mg/l	10,0	2,0
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,01	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l		30
Nitrógeno Total	N	mg/l	60,0	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados Totales	mg/l	0,05	0,05
Organofosforados	Especies Totales	mg/l	0,1	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,5	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,5	0,2
Potencial de hidrógeno***	pH	---	6-9	6-9
Selenio	Se	mg/l	0,5	0,1
Sulfuros	S	mg/l	1,0	0,5
Sólidos Suspendidos	SS	mg/l	100	80
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	120	100
Sólidos Totales	ST	mg/l	1200	1200
Sólidos Sedimentables	SSE	ml /l	20,0	
Sulfatos	SO ²⁻	mg/l	400	1000
Temperatura	-	°C	< 40	Condición natural +/- 3
Tensoactivos	Substancias activas al azul de metileno	mg/l	1	0,5
Turbidez	-	NTU		**
Zinc	Zn	mg/l	2,0	2,0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbon	mg/l	1,0	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0	

Anexo #7. Muestreo de agua



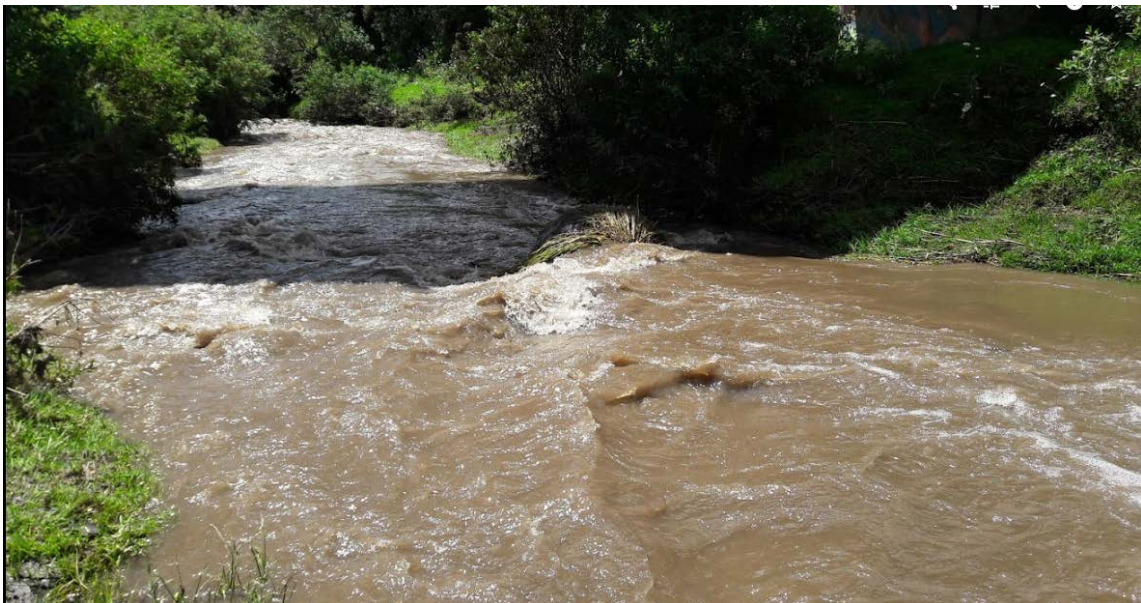
Anexo #8. Punto 3.2 PI



Anexo #9. Punto SP7



Anexo #10. Punto SP7



Anexo #11. Punto SP3



Anexo #12. Punto SP2



Anexo #13. Punto M5



Anexo #14. Microplásticos flotando en el embudo de vidrio



