



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y
BIOTECNOLOGIA
CARRERA DE INGENIERÍA BIOQUÍMICA



Cuantificación de indicadores de contaminación fecal en ríos y canales de agua de riego de cinco provincias del Ecuador.

Proyecto de investigación: Evaluación de la presencia de determinantes de resistencia a antibióticos emergentes en aguas de riego y superficiales del Ecuador, año 2018-2019.

Resolución: 0453-CU-P-2018

Proyecto de Trabajo de Titulación, modalidad de proyecto de investigación, previa la obtención del Título de Ingeniero Bioquímico, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Autor: Romelia Elizabeth Quingaluisa Parra

Tutor: PhD. William Ricardo Calero Cáceres

Ambato – Ecuador

Diciembre - 2019

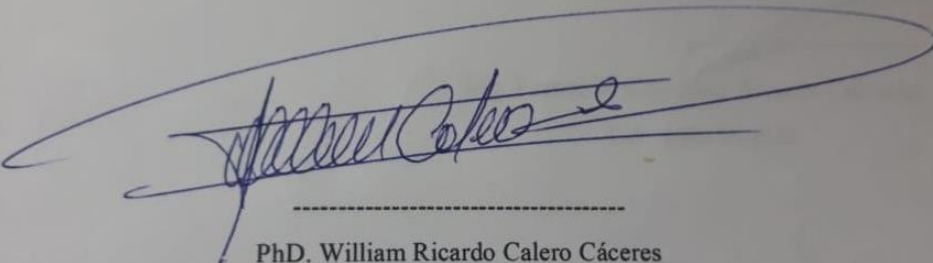
APROBACIÓN DEL TUTOR

PhD. William Ricardo Calero Cáceres

CERTIFICA

Que el presente trabajo de titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Trabajo de Titulación bajo la modalidad de Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad.

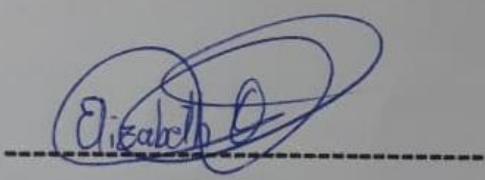
Ambato, 17 de septiembre del 2019



PhD. William Ricardo Calero Cáceres
C.I. 171434885-9
TUTOR

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Romelia Elizabeth Quingaluisa Parra, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Proyecto de Investigación, previo a la obtención de título de Ingeniera Bioquímica son absolutamente originales, auténticos y personales a excepción de las citas.



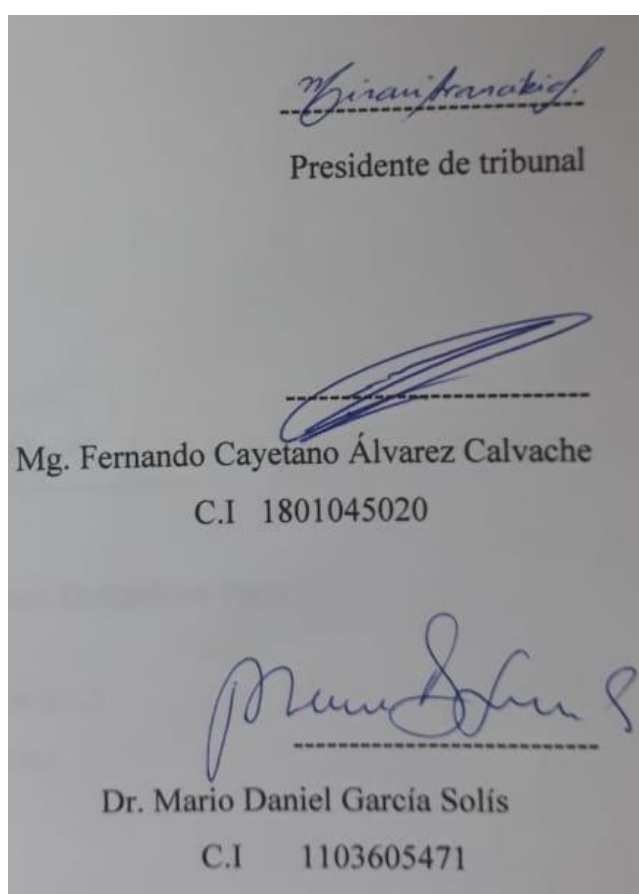
Srta. Romelia Elizabeth Quingaluisa Parra

050408164-7

Autor

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Profesores Calificadores, aprueban el presente Trabajo de Titulación, modalidad proyecto de investigación el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

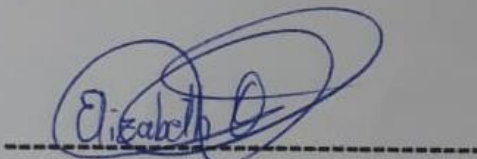


Ambato 13 de Diciembre del 2019

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la universidad técnica de Ambato, para que se haga de este proyecto de investigación o parte de él, un documento posible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la institución.

Cedo los derechos en línea patrimonial de mi proyecto, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este proyecto dentro de las regulaciones de la universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



Srta. Romelia Elizabeth Quingaluisa Parra

050408164-7

Autor

DEDICATORIA

*El presente trabajo está dedicado a la persona más importante que existe y ahora es un ángel, esa persona es **mi Mamá** la señora **Mariana Parra**, ya que sin ella nada de esto hubiera sido posible. Sé que desde el cielo me está mirando y esto es para que ella se sienta orgullosa de mí.*

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a mi Papá, Ricardo Quingaluisa, por apoyarme de los modos posibles para que este sueño se haga realidad, para que el sueño de mi Mamá de verme una profesional se cumpla. A mis hermanos, Daniel y Gabriel, por ser el motivo por el cual no me rendí y seguí adelante. A mis primas: Margarita y Paola Parra, a la única persona que puedo llamar Tía Julita Larraga por permanecer conmigo en los momentos más difíciles de mi vida, demostrándome que eran la única familia que en verdad me apreciaba, brindarme un abrazo y un hombro para llorar, gracias por no darme la espalda como lo hizo el resto y a David Bonifaz Parra por quererme mucho y en su corta edad demostrarme que le importo. De la misma manera un agradecimiento para mi Tío, Domingo Quingaluisa, por velar por mis hermanos y mi papá, por estar a nuestro lado y permanecer pendiente de nosotros siempre. Además agradezco a todas esas personas que me hicieron daño, gracias por tratar de hacer leña del árbol caído, ya que el odio que siento hacia ellas, fue uno de los impulsos que me ayudo a sobre salir y demostrarles con hechos que no era la niñita que se quedó desamparada y que podían hacer con ella lo que se les venía en gana. Agradezco a mis amigos en general por compartir gratos momentos y ayudarme en todo, por estar en los momentos buenos y malos. Igualmente, un agradecimiento especial a una persona que se me cruzo en el camino, no sé si fue destino o casualidad pero estoy muy agradecida que haya llegado a mi vida, ya que me ayudo en todo lo que estaba a su alcance y se preocupó por mí en determinados momentos, siempre tendrá un lugar muy especial en mi corazón (A). Finalmente agradezco a mi tutor Dr. William Calero por la paciencia y toda la ayuda que me brindo para que este trabajo de investigación haya culminado con éxitos.

Índice

Índice.....	8
Índice de tablas.....	10
Índice de Gráficos	11
Resumen.....	12
Abstract.....	13
CAPITULO I.....	14
1. MARCO TEÓRICO	14
1.1. Antecedentes investigativos	14
1.1.1. Generalidades	14
1.1.2. Indicadores de contaminación fecal de aguas.....	15
1.1.2.1. <i>Escherichia coli</i>	15
1.1.2.2. Coliformes Totales.....	16
1.1.2.3. Bacteriófagos o Colifagos Somáticos.....	16
1.2. Objetivos	18
CAPÍTULO II	19
2. Metodología.....	19
2.1. Materiales.....	19
2.2. Métodos.....	20
2.3. Trabajo de laboratorio.....	22
2.4. Tratamiento de la información y análisis estadístico.....	25
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
3.1. Análisis y Discusión de los resultados	26
3.1.1. Aguas.....	26
3.1.1.1. Pichincha.....	26
3.1.1.2. Cotopaxi	30
3.1.1.3. Tungurahua	33
3.1.1.4. Manabí	36
3.1.1.5. Guayas.....	40
3.1.2. Sedimentos	52
3.1.2.1. Pichincha.....	52
3.1.2.2. Cotopaxi	55
3.1.2.3. Tungurahua	57
3.1.2.4. Manabí	59
3.1.2.5. Guayas.....	61

3.2. Verificación de Hipótesis.....	73
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	75
4.1. Conclusiones	75
4.2. Recomendaciones.....	76
BIBLIOGRAFÍA.....	77

Índice de tablas

Tabla N.1: Datos de los indicadores de contaminación fecal de agua de río y canales de riego de la provincia de Pichincha.....	28
Tabla N.2: Datos de los indicadores de contaminación fecal de agua de río y canales de riego de la provincia de Cotopaxi.....	31
Tabla N.3: Datos de los indicadores de contaminación fecal de agua de río y canales de riego de la provincia de Tungurahua.....	34
Tabla N.4: Datos de los indicadores de contaminación fecal de agua de río y canales de riego de la provincia de Manabí.....	37
Tabla N.5: Datos de los indicadores de contaminación fecal de agua de río y canales de riego de la provincia de Guayas.....	40
Tabla N.6: Ratios de agua (%) <i>E. coli</i> R/ <i>E. coli</i> T y Coliformes R/Coliformes T en cada punto de muestreo.....	41
Tabla N.7: Datos de los indicadores de contaminación fecal en sedimentos de río y canales de riego de la provincia de Pichincha.....	52
Tabla N.8: Datos de los indicadores de contaminación fecal en sedimentos de río y canales de riego de la provincia de Cotopaxi.....	55
Tabla N.9: Datos de los indicadores de contaminación fecal en sedimentos de río y canales de riego de la provincia de Tungurahua.....	57
Tabla N.10: Datos de los indicadores de contaminación fecal en sedimentos de río y canales de riego de la provincia de Manabí.....	59
Tabla N.11: Datos de los indicadores de contaminación fecal en sedimentos de río y canales de riego de la provincia de Guayas.....	62
Tabla N.12: Ratios de sedimentos (%) <i>E. coli</i> R/ <i>E. coli</i> T y Coliformes R/Coliformes T en cada punto de muestreo.....	63

Índice de Gráficos

Gráfico.1: Descripción de los parámetros tomados en cuenta para la toma de muestra.....	20
Gráfico.2: Puntos de muestreo.....	21
Gráfico N.3: Ratios de agua de la provincia de Pichincha.....	43
Gráfico N.4: Ratios de agua de la provincia de Cotopaxi.....	44
Gráfico N.5: Ratios de agua de la provincia de Tungurahua.....	45
Gráfico N.6: Ratios de agua de la provincia de Manabí sector 1.....	46
Gráfico N.7: Ratios de agua de la provincia de Manabí sector 2.....	46
Gráfico N.8: Ratios de agua de la provincia de Guayas sector 1.....	47
Gráfico N.9: Ratios de agua de la provincia de Guayas sector 2.....	48
Gráfico N.10: Ratios de sedimentos de la provincia de Pichincha	65
Gráfico N.11: Ratios de sedimentos de la provincia de Cotopaxi.....	66
Gráfico N.12: Ratios de sedimentos de la provincia de Tungurahua sector 1.....	67
Gráfico N.13: Ratios de sedimentos de la provincia de Tungurahua sector 2.....	67
Gráfico N.14: Ratios de sedimentos de la provincia de Manabí sector 1.....	68
Gráfico N.15: Ratios de sedimentos de la provincia de Manabí sector 2.....	69
Gráfico N.16: Ratios de sedimentos de la provincia de Guayas sector 1.....	70
Gráfico N.17: Ratios de sedimentos de la provincia de Guayas sector 2.....	70

Resumen

En Latinoamérica, la cobertura de sistemas de tratamiento de aguas residuales es baja, ocasionando un incremento en sus niveles de contaminación en ecosistemas naturales y en los riesgos sanitarios para las poblaciones de influencia. En Ecuador, se estima que el 70% de las cuencas hídricas por debajo de 2.800 msnm no son aptas para el consumo humano directo, debido a la contaminación química y biológica. Este hecho puede repercutir significativamente sobre la seguridad alimentaria del país. Pocos estudios sobre contaminación de recursos hídricos han sido realizados. En la presente investigación, se realizó la cuantificación de indicadores de contaminación fecal en ríos y canales de agua de riego de cinco provincias del país; detectando que el río Machángara (Pichincha), junto con el canal de riego Ambato-Huachi-Pelileo (sector Terremoto) (Tungurahua), presentan los mayores índices de contaminación biológica entre los puntos evaluados. Adicionalmente, se analizó las densidades de microorganismos resistentes a cefalosporinas de tercera generación, detectando que el canal de riego Ambato-Huachi-Pelileo (Tungurahua) y el canal Latacunga- Salcedo (Cotopaxi) presentan las densidades más altas entre los puntos evaluados. Los sedimentos actúan como un reservorio de microorganismos con fenotipo de resistencia, siendo notables las detectadas en el ramal 1 de Naranjito (Guayas) y la del ramal del río Portoviejo (Manabí). A nivel general, se establece que tanto los ríos y canales de riego se ven afectados directamente por la actividad antropogénica circundante, la cual merece una atención prioritaria y estudios complementarios.

Palabras claves

Indicadores de contaminación fecal, aguas, sedimentos, *Escherichia coli*, resistencia a antibióticos, Coliformes, Colifagos somáticos.

Abstract

In Latin American countries, the coverage of Wastewater Treatment Plants (WWTPs) is deficient, causing an increment of chemical and biological pollutants in aquatic natural ecosystems. Thus, the sanitary risks related to unsafe water for the inhabitants is considerable. In Ecuador, it is estimated that 70% of superficial water below 2.800 meters-above-sea-level cannot be used for human purposes. Nowadays, few studies about water quality in this country have been made. This investigation was focused on the detection of microbial indicators of fecal pollution (*Escherichia coli*, coliforms, somatic coliphages, ceftriaxone-resistant-mesophilic bacteria) in selected rivers and irrigation channels of five provinces of Ecuador. The anthropogenically impacted points Machángara river (Pichincha) and Ambato-Huachi-Pelileo irrigation channel (Tungurahua) presents the highest levels of biological pollution. In addition, the irrigation channels Ambato-Huachi-Pelileo (Tungurahua) and Latacunga-Salcedo-Ambato (Cotopaxi) shown increased ratios of microorganisms with resistance phenotype to a clinically relevant antibiotic. These findings are worrying because demonstrates the high influence of human activities in the biological quality of the rivers and irrigation channels in Ecuador. Complementary studies are needed to take opportune measures aimed to improve the sanitary conditions of water in Ecuador.

Keywords

Microbial source tracking, water, sediments, antibiotic resistance, *Escherichia coli*, somatic coliphages, coliforms.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos

1.1.1. Generalidades

Uno de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (MDGs, del inglés *Millenium Development Goals*) es la mejora de los sistemas de saneamiento y de acceso a agua limpia en el mundo, el cual planificaba entregar agua segura al menos al 50% de la población mundial (ONU, 2015). Sin embargo, un estudio realizado por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) revela que el mundo posee una carencia en cuanto al cumplimiento de los objetivos relacionados a saneamiento, y estiman que el mundo no alcanzaría ni la mitad de los objetivos relativos al saneamiento hasta el año 2025 (UNESCO, 2016). De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, los sistemas de saneamiento inadecuados constituyen una causa importante de morbilidad en todo el mundo (OMS, 2013). El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) revela que alrededor del 80% de las aguas residuales de origen humano son descartadas en cuerpos de agua sin tratamiento previo (PNUD, 2016). Se estima que una mejora en la calidad de agua reduciría los decesos anuales ocasionados por enfermedades transmitidas por agua, los cuales se estiman que son superiores a los 3 millones de defunciones anuales en todo el mundo (WHO, 2018).

1.1.1.1. Contaminación fecal de las aguas

De acuerdo al Programa Mundial de Ambiente de las Naciones Unidas (UNEP), alrededor del 15% de los ríos de América Latina, África y Asia presentan altos niveles de contaminación con patógenos, representando un peligro notable en relación al consumo de agua y otros usos domésticos (UNEP, 2016). La principal fuente de contaminación fecal son las aguas residuales de origen doméstico, debido a la presencia de altas densidades de microorganismos patógenos provenientes directamente de la excreta de personas y animales, y la actividad agrícola (Ríos-Tobón, Agudelo-Cadavid, & Gutiérrez-Builes, 2017).

Los sistemas sanitarios en Latinoamérica han mejorado de manera significativa en los últimos años. Sin embargo, la cobertura de sistemas de tratamiento de aguas residuales es baja, lo que ocasiona la presencia de niveles de contaminación muy altos en ecosistemas naturales y un incremento en los riesgos sanitarios para las poblaciones de influencia a los ecosistemas contaminados (UNEP, 2016). De acuerdo a la información de la Secretaría Nacional del Agua en Ecuador, se estima que el 70% del agua de cuencas hídricas por debajo de 2.800 msnm, no es apta para el consumo humano directo, debido a la contaminación con microorganismos patógenos y la presencia de sustancias químicas tóxicas (SENAGUA, 2017). Un reciente estudio realizado en el país, ha detectado que existe una notable correlación entre el acceso a agua segura y grupos étnicamente vulnerables, evidenciando que los grupos étnicos indígena y afroecuatoriano poseen una mayor probabilidad de morbilidad en relación al consumo de agua contaminada (Redacción Médica, 2019). Por lo expuesto anteriormente, es imperativo la realización de investigaciones que evalúen los niveles de contaminación fecal en fuentes de agua del país.

1.1.2. Indicadores de contaminación fecal de aguas.

Entre los microorganismos patógenos que alteran la calidad de agua se encuentran las bacterias, virus y protozoos (Bonet y Calzadilla, 2011). Con la finalidad de evaluar la presencia de estos contaminantes biológicos, a nivel experimental se utilizan ciertos microorganismos como indicadores de los niveles de patógenos en fuentes de agua (Hagedorn, Blanch, & Harwood, 2011). El monitoreo de los niveles de coliformes totales y *Escherichia coli* ha sido uno de los principales recursos para la evaluación de contaminación fecal total en ríos, lagos, estuarios y aguas costeras (Pandey et al., 2014). Otro indicador de contaminación fecal del agua son los colifagos somáticos (virus bacterianos que infectan *E. coli*), los mismos que utilizan *E. coli* y otras especies emparentadas próximamente con ella como hospedadores (Schaper M, 2002). Los colifagos comparten muchas características estructurales con los virus entéricos, lo que implica que pueden ser considerados como modelo del comportamiento viral y resistencia a condiciones ambientales y de tratamiento de desinfección (Hagedorn et al., 2011).

1.1.2.1. *Escherichia coli*

E. coli es uno de los indicadores de contaminación fecal más utilizados, es un tipo de bacteria Gram negativa, anaerobia facultativa de la familia *Enterobacteriaceae*, se encuentra en cantidades abundantes en el intestino de animales y del ser humano y se excreta mediante heces fecales. *E. coli* representa el miembro del grupo de los coliformes termo-tolerantes más abundante y representativo (**Hagedorn et al., 2011**).

El comportamiento de la bacteria *E. coli* se asume que es idéntico al de otras bacterias fecales cuando se liberan en el medio, su presencia en el agua alerta sobre la posible existencia de bacterias patógenas intestinales, indicando que puede existir riesgo de salud pública en la población (**Streitenberger & Baldini, 2016**).

1.1.2.2. Coliformes Totales

Los coliformes totales incluyen a bacterias entéricas de los géneros *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Escherichia* y *Klebsiella*; las cuales son constituyentes habituales de los tractos gastrointestinales de humanos y animales. Estas bacterias se transmiten por excretas y por la ingestión de aguas contaminadas (**Mora & Calvo, 2010**).

Los coliformes se caracterizan por ser microorganismos de origen fecal únicamente, soportan temperaturas elevadas, por lo que son considerados termo-tolerantes, tienen una excelente capacidad de sobrevivir fuera del intestino, sobre todo porque las condiciones de materia orgánica, pH y humedad son favorables. Por lo tanto, son considerados indicadores de contaminación fecal de cuerpos de agua (**Rivera-Pesántez & Ochoa-Delgado, 2018**).

1.1.2.3. Bacteriófagos o Colifagos Somáticos

Los bacteriófagos son un grupo de microorganismos que pueden emplearse como indicadores de contaminación fecal de aguas. Estos microorganismos específicamente, son virus que infectan y lisan bacterias, están constituidos únicamente por material genético y proteínas (**Segundo A, Hernández B, López V, & Torres A, 2010**). Este tipo de microorganismo son sustitutos o modelos útiles para evaluar el comportamiento de los virus entéricos en medios acuáticos y su sensibilidad a los procesos de tratamiento y desinfección, debido a su resistencia a condiciones ambientales y su asociación a materia fecal (**Robert, 2014**).

La detección de patógenos en aguas representa un serio problema sanitario, y la identificación de las fuentes principales de contaminación así como la evaluación de los potenciales impactos en sistemas de agua es crucial. Por este motivo, consideramos prioritario el análisis de la contaminación microbiológica de ríos y canales de riego en cinco provincias del Ecuador, con la finalidad de conocer los niveles de estos indicadores de contaminación antropogénica. Adicionalmente, serán aislados microorganismos Gram negativos con un fenotipo de resistencia a ceftriaxona (cefalosporina de tercera generación), con la finalidad de obtener microorganismos resistentes a betalactámicos y que serán útiles para la investigación macro del proyecto “Evaluación de la presencia de determinantes de resistencia a antibióticos emergentes en aguas de riego y superficiales del Ecuador, año 2018-2019”. Se espera que esta investigación sirva de base para la realización de investigaciones complementarias que permitan la evaluación general de diferentes indicadores de contaminación antropogénica en el país.

1.2. Objetivos

1.2.1. General

Cuantificar indicadores de contaminación fecal en ríos y canales de agua de riego en las provincias: Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Guayas y Manabí.

1.2.2. Específico

- Calcular los niveles de *E.coli*, coliformes totales y colifagos somáticos en agua y sedimentos de los ríos Guachal, Pita y Machángara en la provincia de Pichincha; el río Cutuchi en la provincia de Cotopaxi; el río Ambato en la provincia de Tungurahua; los ríos Guayas, Milagro, Daule y Paute en la provincia de Guayas y el río Portoviejo en la provincia de Manabí.
- Calcular los niveles de *E.coli*, coliformes totales y colifagos somáticos en agua y sedimentos de canales de agua de riego del río Pita y Guachal en la provincia de Pichincha; canal de riego Latacunga-Salcedo-Ambato en la provincia de Cotopaxi; canal de riego Ambato-Huachi-Pelileo y canal de riego Patate en la provincia de Tungurahua, canal de riego Ramal Santa Lucía 1, 2 y 3, Ramal Nobol, Ramal 1 y 2 de Naranjito, ramal 3 Guayaquil en la provincia del Guayas y los canales de riego ramal Carrizal, ramal río Chico, ramal río Portoviejo en la provincia de Manabí.
- Analizar los ratios de los indicadores de contaminación fecal, de acuerdo a las ubicaciones de los puntos de muestreo.

CAPÍTULO II

2. Metodología

2.1. Materiales

- Medios de cultivo Chromocult®
- Medio de cultivo Mac Conkey
- Medio de cultivo TSB
- Solución tampón PBS
- Cajas Petri
- Rampa de filtración
- Botellas de tapa azul de 1000 mL y 100 mL.
- Matraz Erlenmeyer
- Agitador magnético
- Pipetas
- Pera de succión
- Micropipetas
- Balanza
- Tubos de ensayo de 10mL
- Tubos eppendorf
- Frascos de orina estéril
- Micro filtros de 0.2 μ m
- Filtros de 0.45 μ m
- Jeringuillas
- Plancha de calentamiento
- Centrifuga
- Termostato
- Incubadora

2.2.Métodos

2.2.1. Trabajo de campo

2.2.1.1.Recolección de las muestras

El protocolo de muestreo de aguas a seguir está basado en las Normas US EPA-600/4-79-0120 "Métodos para la Recolección y Análisis de Agua y Residuos".

La muestra de agua que se recolectó fue de tipo simple, tomada de la superficie y se la recolectó en un frasco estéril (500 mL por punto). Posteriormente, se midió los parámetros *in situ* como pH y temperatura de la muestra de agua, se tapó el frasco y fue transportada al laboratorio a una temperatura de $5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el lapso no mayor a 12 horas desde la toma de muestra para la cuantificación microbiana. Además, se tomó nota de la descripción del lugar en el cual se ha recolectado la muestra y la ubicación exacta por medio de GPS.

Para la toma de muestra de sedimento, se recolectó 100 g aproximadamente. Dirigiendo el frasco hacia abajo hasta alcanzar una profundidad de 25 a 40 cm, orientando luego el frasco de manera que el cuello se dirija hacia arriba, se tapó el frasco y se transportó al laboratorio a una temperatura de $4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el lapso no mayor a 12 horas desde la toma de muestra para la cuantificación microbiana. Además se tomó nota de la descripción del lugar en el cual se ha recolectado la muestra y la ubicación exacta por medio de GPS. En cada punto, las muestras se tomaron por triplicado, con intervalos de 1 minuto entre muestras, de acuerdo al protocolo de muestreo de **Lekunberri, Balcázar & Borrego, (2018)**.

Los parámetros para la toma de muestra se consideraron realizarlas antes, durante y después del centro poblado, con la finalidad de evaluar el efecto de la población sobre las densidades de microorganismos en el agua y los sedimentos. Además por medio de un análisis espacio-temporal de los parámetros de uso de suelo y de población humana.

Este análisis fue ejecutado por el Instituto Nacional de Investigación en Salud Pública (INSPI) y la Universidad Técnica de Ambato. El software utilizado fue QGIS. La descripción de los parámetros considerados se la describen en el Gráfico N.-1 y la descripción de los puntos de muestreo se detalla en el gráfico N.-2.



GRÁFICO N.-1 Descripción de los parámetros tomados en cuenta para la toma de muestra.

Elaborado por: Instituto Nacional de Investigación en Salud Pública (INSPI) y la Universidad Técnica de Ambato

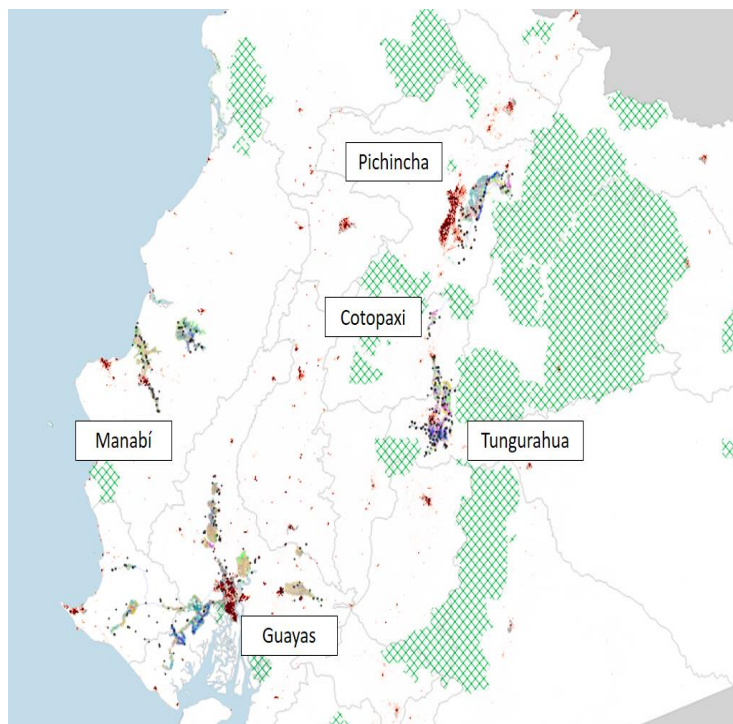


GRÁFICO N.-2 Puntos de Muestreo

Elaborado por: Instituto Nacional de Investigación en Salud Pública (INSPI) y la Universidad Técnica de Ambato

2.3.Trabajo de laboratorio

2.3.1. Aislamiento y recuento de *E. coli* y de bacterias coliformes

La metodología está basada en la norma ISO 9308-1 (2014) para detección y enumeración de *E. coli* y bacterias coliformes en el agua.

Se filtró un volumen apropiado de la muestra de 100 mL de agua, usando una membrana de filtración de 0.45µm. En el caso del sedimento, se pesó 1 g del sedimento en un tubo de ensayo con tapa y se agregó 9 mL de PBS, se centrifugó por 5 minutos a 300x g, y luego se filtró con la bomba de filtración al vacío. Se colocó el filtro sobre la placa con medio de cultivo Chromocult®. Se rotuló la caja con el nombre de la muestra, la dilución y la fecha. Se incubó aerobiamente las placas inoculadas en posición invertida a 35-37 °C. Después de la incubación, se examinó las placas para comprobar la presencia de las típicas colonias violetas de *E. coli* y colonias rojas de bacterias coliformes. Por último, se calculó la unidad formadora de colonias:

$$UFC/mL = \frac{\text{Número de colonias} * \text{Factor de dilución}}{\text{volumen de la muestras sembrada}}$$

2.3.2. Aislamiento y recuento de *E. coli* y de bacterias coliformes resistentes a ceftriaxona

Se filtró un volumen apropiado de la muestra de 100 mL de agua, usando una membrana de filtración de 0.45µm. En el caso del sedimento, se pesó 1g del sedimento en un tubo de ensayo con tapa y se agregó 9 mL de PBS, se centrifugó por 5 minutos a 300x g, y luego se filtró con la bomba de filtración al vacío. Se colocó el filtro sobre la placa con medio de cultivo Chromocult® con antibiótico ceftriaxona (antibiótico de la clase de cefalosporinas de tercera generación, de amplio espectro frente a bacterias Gram negativas y Gram positivas). Se rotuló la caja con el nombre de la muestra, la dilución y la fecha. Se incubó aerobiamente las placas inoculadas en posición invertida a 35-37 °C. Después de la incubación, se examinó las placas para comprobar la presencia de las típicas colonias violetas de *E. coli* y colonias rojas de bacterias coliformes totales. Por último, se calculó la unidad formadora de colonias:

$$UFC/mL = \frac{\text{Número de colonias} * \text{Factor de dilución}}{\text{volumen de la muestras sembrada}}$$

2.3.3. Aislamiento y recuento de microorganismos Gram negativos aerobios resistentes a ceftriaxona

Se filtró un volumen apropiado de la muestra de 100 mL de agua, usando una membrana de filtración de 0.45µm. En el caso del sedimento, se pesó 1g del sedimento en un tubo de ensayo con tapa y se agregó 9 mL de PBS, se centrifugó por 5 minutos a 300x g, y luego se filtró con la bomba de filtración al vacío. Se colocó el filtro sobre la placa con medio de cultivo Mac Conkey con antibiótico ceftriaxona (es un antibiótico de la clase de cefalosporinas de tercera generación, por lo que tiene acciones de amplio espectro en contra de bacterias Gram negativas y Gram positivas). Se rotuló la caja con el nombre de la muestra, la dilución y la fecha. Se incubó aerobiamente las placas inoculadas en

posición invertida a 35-37 °C. Después de la incubación, se examinó las placas y contabilizar las colonias. Por último, se calculó la unidad formadora de colonias:

$$UFC/mL = \frac{\text{Número de colonias} * \text{Factor de dilución}}{\text{volumen de la muestras sembrada}}$$

2.3.4. Aislamiento y recuento de bacteriófagos

La metodología está basada en la norma ISO 10705-2:2000, para el recuento de colifagos somáticos.

Se absorbió con una jeringuilla una alícuota de 1mL de la muestra de agua y se filtró a través de un micro filtro de 0.2µm en un tubo eppendorf. En el caso del sedimento se pesó 1g del sedimento en un tubo de ensayo con tapa y se agregó 9 mL de PBS, se centrifugó por 5 minutos a 300 x g y se recolectó el sobrenadante con una jeringuilla y se filtró a través del micro filtro. Seguido, se fundó el medio MSA semisólido, se agregó los aditivos (cloruro de calcio) y se colocó 2.5 mL en tubos pequeños con tapa, previamente esterilizados, y se los introdujo en el termostato a 45 grados centígrados, se sacó uno por uno los tubos del termostato y se agregó 1000 µL de la muestra filtrada y 1000 µL de la bacteria *E. coli* WG5 (la bacteria se activa en medio TSB 2 a 3 horas antes del muestreo), se agitó el tubo evitando la formación de burbujas y se vertió en una placa con medio MSA, se dispersó por toda la placa. Se rotuló la caja con el nombre de la muestra, la dilución y la fecha. Se llevó a la incubadora a 37 grados centígrados por 24 horas. Por último, se realizó los cálculos:

$$UFP/mL = \frac{\text{Número de bacteriófagos} * \text{Factor de dilución}}{\text{volumen de la muestras sembrada}}$$

2.3.5. Ratios de microorganismos resistentes/totales

Con la finalidad de evaluar los cambios en las densidades bacterianas de los puntos muestreados, se calculó el ratio de las densidades de microorganismos resistentes versus los microorganismos totales. Con esta evaluación se buscó evidenciar el potencial efecto de las descargas urbanas sobre las densidades de microorganismos resistentes en aguas y sedimentos, considerando que las abundancias de bacterias y genes de resistencia a antibióticos son directamente relacionadas a contaminación fecal en el medio ambiente (**Karkman, Pärnänen, & Larsson, 2019**).

Los ratios se calcularon utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Ratio 1} = \frac{\text{Log}_{10} \left[\frac{\text{UFC}}{100 \text{ mL}} \text{ E. coli R} \right]}{\text{Log}_{10} \left[\frac{\text{UFC}}{100 \text{ mL}} \text{ E. coli Total} \right]}$$

$$\text{Ratio 2} = \frac{\text{Log}_{10} \left[\frac{\text{UFC}}{100 \text{ mL}} \text{ Coliformes R} \right]}{\text{Log}_{10} \left[\frac{\text{UFC}}{100 \text{ mL}} \text{ Coliformes Total} \right]}$$

Los valores de las ratios se ubicaron en los Gráficos de las cuencas analizadas utilizando el software QGIS.

2.4. Tratamiento de la información y análisis estadístico

Los valores por debajo del límite de detección son reportados como el valor inferior al límite de detección del parámetro analizado. El análisis de varianza completamente al azar se aplicó con la finalidad de detectar las diferencias entre las series de resultados, utilizando el software Stastix, considerando a las diferencias significativas aquellas con una $P < 0.05$ (**Rubiano, Agulló-Barceló, Casas-Mangas, Jofre, & Lucena, 2012**).

CAPITULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y Discusión de los resultados

3.1.1. Aguas

La detección de la contaminación de fuentes de agua por organismos patógenos es considerada como un desafío global, tomando en cuenta sus implicaciones sanitarias, económicas y sociales (Pandey, Kass, Soupir, Biswas, & Singh, 2014). Actualmente en el Ecuador, un elevado porcentaje de las aguas residuales urbanas son descartadas sin tratamientos previos de depuración a cuerpos de agua superficial; los cuales, en ciertos casos pueden representar la fuente de agua de los sistemas de riego agrícolas (Diario la Hora, 2016); ocasionando problemas ambientales y de salud pública. Pocas investigaciones han sido realizadas sobre los niveles de contaminantes microbiológicos en estas matrices. Es por tal razón que este estudio se enfocó en la cuantificación de los indicadores de contaminación fecal de los ríos y canales de riego de 5 provincias del Ecuador (Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Manabí y Guayas).

3.1.1.1. Pichincha

De acuerdo al análisis de los indicadores de contaminación fecal, en UFC/100 mL, de agua de los ríos y canales de riego de la provincia de Pichincha, se observó que el río Machángara presentó la mayor cantidad de *E. coli*, coliformes, mesófilos Gram negativos y bacteriófagos (Tabla 1 y Anexo 1); de los cuales, el recuento de bacteriófagos fue el más alto con un valor de $4,25 \times 10^4$ UFC/100 mL. En base al TUSLAM, (libro VI, anexo I, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua), los límites permisibles de coliformes totales en agua de regadío es de $1,00 \times 10^3$ UFC/100 mL y de acuerdo a las US EPA (United States Environmental Protection Agency) y Rock & Rivera (2014), los límites permisibles de *E.coli* para aguas superficiales es $5,75 \times 10^2$ UFC/100 mL; es decir, que la cantidad de indicadores de contaminación fecal de este río sobrepasaron los límites permisibles establecidos. Por lo tanto, se lo considera como una fuente hídrica con altos índices de contaminación antropogénica fecal. Según Quinga

(2017), la contaminación fecal del río Machángara está relacionada principalmente por las descargas domésticas clandestinas, otras de alcantarillado y el incremento de la población en los alrededores del río provocando un incremento en la producción de desechos. En la investigación de **Campaña, Gualoto, & Chiluisa-Utreras (2017)**, demostraron que el río Machángara para el año 2017 presentó una contaminación por coliformes de $3,37 \times 10^5$ UFC/100 mL. Mientras que **Guerrero-Latorre et al. (2018)**, identificó una cantidad elevada de *E. coli* obtenida de tres diferentes muestras recolectadas a lo largo del río Machángara los valores se encontraron entre $5,30 \times 10^5$ y $8,48 \times 10^5$ UFC/ 100 mL respectivamente, demostrando que actualmente la contaminación por *E. coli* y coliformes es variable, pero en todos los casos sobrepasan los límites permisibles.

En los puntos de muestreo de río Guachal y río Pita no se sobrepasaron los límites permisibles para los indicadores de contaminación fecal; sin embargo, en el punto de muestreo del río Guachal, la cantidad de *E. coli* y coliformes es la más elevada en relación a los canales de riego del mismo río, a pesar de que el primer punto de captación fue tomado de un sector con menos evidencia de impacto antropogénico, por otra parte los canales de riego de dicho río presentaron una disminución de la cantidad de microorganismos, entre la muestra tomada en el sector de Yaruquí y la del sector de Pifo, ya que los puntos de muestreo poseen una distancia de 7.51 km, este recorrido provoca que los índices de contaminación fecal disminuyan a la mitad hasta llegar al punto de muestreo del sector Pifo, a pesar de que fueron sectores con mayor actividad agrícola y más población que el primer punto; sin embargo, el río atraviesa un sector rural y no urbano como en el caso del río Machángara, por ende su contaminación es menor.

En cambio en el río Pita, el primer punto de muestreo fue el que menor cantidad de microorganismos presentó, ya que los indicadores de contaminación fecal disminuyen en un logaritmo en comparación la del río Guachal; la muestra fue tomada en el Sector Ruta Viva, Tumbaco, en un punto con baja presencia de población humana y animal, por lo tanto no hay mayor influencia de impacto antropogénico y por ende no hay presencia significativa de los indicadores de contaminación fecal. Sin embargo, a medida que el río avanza por la zona, la densidad de los microorganismos aumentó, en el punto de muestreo

del canal de riego derivado del río, el cual se encuentra ubicado a una distancia de 17.98 km del primero. En este punto, los indicadores de contaminación fecal fueron cuantificados en un logaritmo por encima del punto precedente. Entre los potenciales factores que pueden influenciar este incremento son la mayor cantidad de población, actividad agrícola y presencia de animales en la zona de muestreo. Los sectores de Pita y Guachal son de demarcación rural y el uso principal de estas aguas es para regadío, por lo tanto no hay problemas significativos de contaminación fecal en los dos sectores, de acuerdo a los límites TULSMA y EPA.

Por otro lado, en las muestras de esta provincia se detectaron elevadas densidades de mesófilos Gram negativos resistentes, mientras que los coliformes y *E. coli* resistentes no fueron aisladas en cantidades relevantes, a excepción del punto de muestreo del río Machángara que presenta una cantidad de $1,30 \times 10^2$ UFC/mL para *E. coli* y $1,71 \times 10^3$ UFC/mL para coliformes a pesar que la muestra fue tomada a las afueras de la parte céntrica de la provincia.

Tabla 1. Datos de los indicadores de contaminación fecal de agua de río y canales de riego de la provincia de Pichincha

PROVINCIA	PUNTO DE MUESTREO	COORDENADAS	NO RESISTENTES		RESISTENTES			Bacteriófagos
			<i>E. coli</i>	Coliformes	<i>E. coli</i>	Coliformes	Mesófilos G-	
			UFC/100mL					
PICHINCHA	Río Guachal	17 M 0814772	1,50x10 ² (1,41x10 ¹)	5,15x10 ² (7,07x10 ⁰)	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	1,15 x10 ² (7,07x10 ⁰)	5,00x10 ¹ (7,07x10 ¹)
	Canal de riego río Guachal Sector Yaruquí	17 M0799527	8,00x10 ¹ (1,41x10 ¹)	3,10x10 ² (1,41x10 ¹)	>1.0x10 ¹	5,00 x10 ⁰ (7,07x10 ⁰)	2,65 x10 ² (7,07x10 ⁰)	3,50x10 ² (7,07x10 ¹)
	Canal de riego río Guachal Sector Pifo	17 M 0796829	1,50x10 ¹ (7,07x10 ⁰)	1,55x10 ² (7,07x10 ⁰)	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	4,60 x10 ² (1,41x10 ¹)	7,50x10 ² (7,07x10 ¹)
	Río Pita	17 M 0789308	5,00x10 ⁰ (7,07x10 ⁰)	5,50x10 ¹ (7,07x10 ⁰)	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	1,0x10 ⁰
	Río Machángara	17 M 0787630	1,29x10⁴ (1,41x10 ²)	3,07x10⁴ (2,12x10 ²)	1,30x10 ² (1,41x10 ¹)	1,71 x10³ (1,41x10 ¹)	1,51 x10⁴ (1,41x10 ²)	4,25x10⁴ (3,54x10 ³)
	Canal de riego Río Pita	17 M 0789318	4,00x10 ¹ (1,41x10 ¹)	7,95x10 ² (7,07x10 ⁰)	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	7,30x10⁴ (3,87x10 ⁴)

NOTA: El valor que se encuentra entre paréntesis corresponde al valor de la desviación estándar de cada dato.

3.1.1.2. Cotopaxi

En base a los resultados obtenidos en la provincia de Cotopaxi (**Tabla 2 y Anexo 2**), los puntos de muestreo que sobrepasan los límites permisibles de contaminación fecal fueron: el punto de captación canal Latacunga-Salcedo, sector Hospital del IESS, con *E. coli* y coliformes; el canal Latacunga- Salcedo (sector La Argentina), en una distancia de 8.74 km de recorrido, los indicadores de contaminación fecal disminuyen para *E.coli* y Coliformes en un logaritmo, pero a pesar de ello Coliformes se encuentra en gran cantidad ya que continua sobrepasando los límites permisibles. El desagüe del canal Latacunga-Salcedo (sector de Cunchibamba), de la misma manera sobrepasaron los límites permisibles en coliformes, y de la misma manera se detectó un nivel elevado de bacteriófagos; la cantidad de mesófilos resistentes se encontraron en cantidades significativas en los puntos del punto de captación del canal de riego Latacunga-Salcedo, sector Hospital del IESS y en el punto de muestreo del mismo canal en el sector de Cunchibamba.

El punto de muestreo que presentó la menor cantidad de indicadores de contaminación fecal fue el canal Latacunga- Salcedo-Ambato, sector de Cunchibamba. En este caso, la muestra fue tomada de una zona donde existen únicamente sembríos y no es un sector urbanizado; por lo tanto, se presume que no existe influencia notable de actividades humanas que puedan contribuir a la contaminación del canal. En cuanto a las bacterias resistentes, los coliformes presentaron la mayor abundancia, seguido por los mesófilos Gram negativos y finalmente *E. coli* en cantidades reducidas.

De todos los puntos de muestreo que sobrepasaron los límites permisibles de contaminación fecal, el más contaminado fue el punto de muestreo tomado del río Cutuchi, en el punto de captación del canal Latacunga-Salcedo, sector Hospital del IESS. A comparación con la muestra tomada en el sector la FAE, los indicadores de contaminación fecal aumentan a lo largo de una trayectoria de 2.60 km de distancia entre dichos puntos; en un logaritmo para *E.coli*, y en dos logaritmos para los coliformes. Este incremento podría ser ocasionado por la influencia de las descargas urbanas de la ciudad de Latacunga, considerando que en su cauce se ubican puntos críticos, como el Hospital General Latacunga, Hospital del IESS, industrias alimenticias y las descargas urbanas,

las cuales podrían tener relación directa con las densidades bacterianas de este río y del canal Latacunga-Salcedo-Ambato, cuyo caudal principal proviene de este río.

Un estudio realizado por **Mero García (2018)**, reportó que la cantidad de indicadores de contaminación fecal en el ciertos tramos del río Cutuchi se da por y en una cantidad de $7,61 \times 10^5$ UFC/100mL de *E. coli* y $1,99 \times 10^5$ UFC/100mL de coliformes totales, respectivamente, para el año 2018; es decir, que en base a los resultados obtenidos, los niveles de estos indicadores pueden presentar fluctuaciones. Sin embargo, en todos los escenarios analizados continúan sobrepasando los límites permisibles.

Según un reporte de **La Hora (2019)**, el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) realizó un análisis del agua del río Cutuchi y determinó que presenta una contaminación alta en coliformes por la falta de plantas de tratamiento de aguas servidas, además se han evidenciado más de 300 descargas que salen de industrias de forma ilegal a este cuerpo hídrico.

Tabla 2. Datos de los microorganismos indicadores de contaminación fecal de agua de río y canales de riego de la provincia de Cotopaxi

PROVINCIA	PUNTO DE MUESTREO	COORDENADAS	NO RESISTENTES		RESISTENTES			Bacteriófagos
			<i>E.coli</i>	Coliformes	<i>E.coli</i>	Coliformes	Mesófilos G-	
			UFC/100 mL					
COTOPAXI	Río Cutuchi- sector la FAE	17 M 0764172	1,80x10 ² (1,41x10 ¹)	5,05x10 ² (7,07x10 ⁰)	5,00x10 ⁰ (7,07x10 ⁰)	4,50x10 ¹ (7,07x10 ⁰)	3,50x10 ¹ (7,07x10 ⁰)	1,0x10 ⁰
	Río Cutuchi-Punto de captación Canal Latacunga-Salcedo sector Hospital del IESS	17 M 0765606	4,55x10³ (7,07x10 ¹)	1,24x10⁴ (7,07x10 ¹)	6,00x10 ¹ (1,41x10 ¹)	7,45x10 ² (7,07x10 ⁰)	2,95x10 ² (7,07x10 ⁰)	2,95x10³ (7,07x10 ¹)
	Canal Latacunga- Salcedo Sector la Argentina	17 M 0764935	3,68x10 ² (2,47x10 ¹)	1,57x10³ (1,41x10 ¹)	2,50x10 ¹ (7,07x10 ⁰)	1,55x10 ² (7,07x10 ⁰)	2,50x10 ¹ (7,07x10 ⁰)	2,50x10⁴ (1,41x10 ³)
	Canal Latacunga- Salcedo Ambato- Cunchibamba	17 M 0766260	>1.0x10 ¹	6,00x10 ² (1,41x10 ²)	>1.0x10 ¹	3,50x10 ² (7,07x10 ¹)	7,00x10 ² (1,41x10 ²)	7,85x10³ (2,12x10 ²)
	Desagüe Canal Latacunga-Salcedo Cunchibamba	17 M 9767708	1,50x10 ² (7,07x10 ¹)	3,60x10³ (1,41x10 ²)	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	2,50x10 ² (7,07x10 ¹)	1,20x10⁴ (1,13x10 ⁴)

NOTA: (valor).- desviación estándar de cada dato. Datos en negrita indica concentraciones elevadas de los indicadores de contaminación fecal

3.1.1.3. Tungurahua

En la provincia de Tungurahua (**Tabla 3 y Anexo 3; 4**), los ríos y canales de riego que sobrepasan los límites permisibles de contaminación fecal fueron: El río Ambato con una contaminación alta de todos los indicadores de contaminación fecal, y el canal Ambato-Huachi-Pelileo (sector Terremoto). En contraste, en las muestras del mismo canal, sector de Cevallos (9,84 km entre los dos puntos), se observó una disminución de los indicadores de contaminación fecal en un logaritmo. El río Cutuchi, sector puente Patate, de igual manera posee una gran cantidad de mesófilos Gram negativos. En base a estos resultados, la fuente hídrica con mayor presencia de indicadores de contaminación fecal de la provincia de Tungurahua es el río Ambato y el punto de muestreo que presentó la menor cantidad de los indicadores de contaminación fecal fue el canal de riego del sector Mundug y el canal de riego Patate centro, los cuales fueron puntos con una baja influencia antropogénica.

El río Ambato, al atravesar todo el sector industrial, agrícola y urbano de la ciudad, recibe una cantidad considerable de descargas, las cuales influyen su índice de contaminación. Según el diario **La Hora (2018)**, el río Ambato presenta un promedio de 83,64 % de contaminación y su principal origen son las aguas servidas domésticas. Por los resultados obtenidos sobre la contaminación fecal, este río representa un riesgo de salud pública y ambiental en la ciudad.

En el caso del sector de Mundug, cuya densidad microbiológica es baja, el canal de riego donde fue tomada la muestra no presenta influencia de forma directa de impacto antropogénico; únicamente se observaron cultivos frutales en los sectores aledaños. Un escenario similar se pudo observar a 570 metros, en el punto de muestreo Patate centro. No se observaron fuentes de contaminación a lo largo de este canal, el cual transcurre mayoritariamente por una zona de montaña y de actividades agrícolas. Sin embargo, las aguas del río Cutuchi, al paso de este cantón, presentan niveles de contaminación altos, probablemente transportadas desde aguas arriba (**Tabla 2**). Las densidades son menores a las detectadas en Cotopaxi, probablemente debido al efecto de dilución e inactivación de los contaminantes a lo largo del río (**Tabla 3**).

En el caso de los microorganismos resistentes, se cuantificaron elevadas cantidades de mesófilos Gram negativos en el río Ambato, mientras que los coliformes y *E. coli* fueron detectadas en bajas densidades. Los sectores de Cevallos, Mundug y Patate no presentaron microorganismos resistentes a ceftriaxona en sus aguas.

Tabla 3. Datos de los indicadores de contaminación fecal de agua de río y canales de riego de la provincia de Tungurahua.

PROVINCIA	PUNTO DE MUESTREO	COORDENADAS	NO RESISTENTES		RESISTENTES			Bacteriófagos
			<i>E.coli</i>	Coliformes	<i>E.coli</i>	Coliformes	Mesófilos G-	
			UFC/100 mL					
TUNGURAHUA	Río Ambato	17 M 0763446	3,45x10³ (7,07x10 ¹)	7,45x10³ (7,07x10 ¹)	9,50 x 10 ¹ (7,07x10 ⁰)	9,20x10 ² (1,41x10 ¹)	1,76x10³ (1,41x10 ¹)	1,90x10⁴ (1,41x10 ³)
	Canal Ambato- Huachi- Pelileo Sector Terremoto	17 M 0765593	4,05x10 ² (7,07x10 ⁰)	2,29x10³ (1,41x10 ¹)	2,95 x 10 ² (7,07x10 ⁰)	1,18x10³ (7,07x10 ⁰)	1,49 x10³ (7,07x10 ⁰)	4,75x10³ (3,54x10 ²)
	Canal Ambato- Huachi- Pelileo Sector Cevallos	17 M 0765975	9,50x10 ¹ (7,07x10 ⁰)	6,40x10 ² (1,41x10 ¹)	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	6,95x10 ² (7,07x10 ⁰)	2,00x10 ² (1,41x10 ¹)
	Canal de riego sector Mundug	17 M 0777132	>1.0x10 ¹	2,50x10 ¹ (7,07x10 ⁰)	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	1,50x10 ¹ (7,07x10 ⁰)	1,10x10³ (1,41x10 ²)
	Río Cutuchi- Puente Patate	17 M 0776212	1,30x10 ² (1,41x10 ¹)	1,01x10³ (1,41x10 ¹)	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	1,10x10 ² (1,41x10 ¹)	1,75x10⁴ (3,54x10 ³)
	Canal de riego Patate centro	17 M 0777206	>1.0x10 ¹	2,50x10 ¹ (7,07x10 ⁰)	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	1,0x10 ⁰

NOTA: (valor).- desviación estándar de cada dato. Datos en negrita indica concentraciones elevadas de los indicadores de contaminación fecal

3.1.1.4. Manabí

En la provincia de Manabí, se detectó que ninguno de los puntos de muestreo sobrepasó los límites de contaminación por *E. coli*. En el caso de coliformes totales, se sobrepasaron los límites en el Ramal Carrizal, ya que presentó un aumento de dichos microorganismos en un logaritmo, con respecto al punto de captación del mismo nombre. Este incremento podría deberse a que transcurre una trayectoria de 7,18 km en el cual pudo haber recibido un aporte de contaminación; por otra parte, en el mismo ramal analizado en el sector de Tosagua (117 km de distancia), se observa una disminución de dicho microorganismos en la cantidad de un logaritmo. En cuanto al río Tosagua, sobrepasa los límites permisibles para el indicador de coliformes.

En el punto Río Chico (punto de captación y ramal), se evidenció la presencia de aguas turbias, sembríos y animales en las zonas aledañas; la mayor detección de bacteriófagos fue en el ramal del Río Chico, igualmente con presencia de aguas turbias. Adicionalmente, la contaminación por mesófilos resistentes Gram negativos presentó un alto índice de contaminación en 8 de los 13 puntos de muestreo estudiados (**Tabla 4; Anexo 5, 6 y 7**). Estos puntos de muestreo se caracterizaron por presentar aguas turbias, presencia de flora y fauna alrededor de los ríos y canales de riego. Adicionalmente, los caudales de los ríos de la Costa presentan caudales significativamente más altos que los ríos de la Sierra, motivo por el cual las diferencias en las densidades bacterianas entre ambas ubicaciones puede estar influenciada por factores de dilución de los contaminantes. Este efecto se ha observado a nivel de indicadores bacteriológicos y moleculares en aguas alrededor del mundo (**Calero-Cáceres, Méndez, Martín-Díaz, & Muniesa, 2017; García-Aljaro et al., 2017; Tornevi, Bergstedt, & Forsberg, 2014**).

En su estudio efectuado en el año 2010 sobre la calidad de aguas de la zona Carrizal-Chone-La Esperanza, se reportó que las concentraciones de coliformes totales en Carrizal fue de $2,40 \times 10^3$ UFC/100 mL (**Barahona Dos Santos & Tapia Ortega, 2010**). En comparación a los datos obtenidos en el presente estudio, se detectó que se encuentran en densidades similares en el año 2019. Por el contrario, río Chico y sus ramales, previamente sus densidades de coliformes totales se encontraban alrededor de $1,0 \times 10^0$ UFC/ 100 mL (**Barahona Dos Santos & Tapia Ortega, 2010**); en la actualidad, se

promedian densidades de $3,05 \times 10^3$ UFC/ 100 mL; es decir, existe un claro aumento de la contaminación fecal.

Además, la presencia de mesófilos resistentes Gram negativos en la mayoría de ríos y canales de riego de Manabí, demuestran que se encuentra altos índices de contaminación en la provincia. Los mesófilos son microorganismos que se encuentran en la flora saprófita intestinal (**Ríos-Tobón et al., 2017**), los cuales son utilizados para determinar el grado de contaminación de una muestra (**Campuzano F, Mejía Flórez, Madero Ibarra, & Pabón Sánchez, 2017**). Los niveles de *E. coli* y coliformes resistentes, en la mayoría de puntos de muestreo se encontraron en cantidades inferiores a 1.0×10^1 UFC/100mL.

Tabla 4. Datos de los indicadores de contaminación fecal de agua de río y canales de riego de la provincia de Manabí.

PROVINCIA	PUNTO DE MUESTREO	COORDENADAS	NO RESISTENTES		RESISTENTES			Bacteriófagos
			<i>E.coli</i>	Coliformes	<i>E.coli</i>	Coliformes	Mesófilos G-	
			UFC/100 mL					
MANABÍ	Punto de captación Carrizal	0° 52' 21,0" S 80° 06' 55,5" W	$>1.0 \times 10^1$	$1,50 \times 10^2$ ($7,07 \times 10^1$)	$>1.0 \times 10^1$	$>1.0 \times 10^1$	$3,50 \times 10^1$ ($7,07 \times 10^0$)	$1,90 \times 10^4$ ($1,41 \times 10^3$)
	Ramal Carrizal	0° 49' 36,1" S 80° 10' 46,6" W	$1,50 \times 10^2$ ($7,07 \times 10^1$)	$1,65 \times 10^3$ ($7,07 \times 10^1$)	$>1.0 \times 10^1$	$>1.0 \times 10^1$	$5,10 \times 10^2$ ($1,41 \times 10^1$)	$1,0 \times 10^0$
	Ramal derivado Carrizal Sector Tosagua	0° 48' 27,6" S 80° 13' 11,3" W	$>1.0 \times 10^1$	$1,50 \times 10^2$ ($7,07 \times 10^1$)	$>1.0 \times 10^1$	$>1.0 \times 10^1$	$1,25 \times 10^2$ ($3,54 \times 10^1$)	$1,0 \times 10^0$
	Tosagua	0° 48' 36,3" S 80° 13' 17,2" W	$3,50 \times 10^2$ ($7,07 \times 10^1$)	$1,25 \times 10^3$ ($7,07 \times 10^1$)	$>1.0 \times 10^1$	$>1.0 \times 10^1$	$5,70 \times 10^2$ ($1,41 \times 10^1$)	$1,0 \times 10^0$
	Río Chico Punto de captación	0° 54' 38,0" S 80° 25' 26,7" W	$1,50 \times 10^2$ ($7,07 \times 10^1$)	$3,05 \times 10^3$ ($7,07 \times 10^1$)	$>1.0 \times 10^1$	$>1.0 \times 10^1$	$1,60 \times 10^3$ ($7,07 \times 10^0$)	$1,0 \times 10^0$
	Río Chico Ramal	0° 57' 14,6" S 80° 26' 59,7" W	$5,00 \times 10^1$ ($7,07 \times 10^1$)	$3,15 \times 10^3$ ($2,12 \times 10^2$)	$2,00 \times 10^1$ ($1,41 \times 10^1$)	$8,00 \times 10^1$ ($1,41 \times 10^1$)	$1,51 \times 10^3$ ($1,41 \times 10^1$)	$2,25 \times 10^4$ ($3,54 \times 10^3$)
	Ramal Río Portoviejo	0° 53' 06,7" S 80° 27' 38,8" W	$>1.0 \times 10^1$	$2,50 \times 10^2$ ($7,07 \times 10^1$)	$>1.0 \times 10^1$	$1,50 \times 10^1$ ($7,07 \times 10^0$)	$6,25 \times 10^2$ ($7,07 \times 10^0$)	$4,00 \times 10^3$ ($1,41 \times 10^1$)
	Canal de riego Río Portoviejo	0° 50' 04,1" S 80° 27' 35,2" W	$>1.0 \times 10^1$	$4,00 \times 10^2$ ($1,41 \times 10^2$)	$>1.0 \times 10^1$	$>1.0 \times 10^1$	$1,60 \times 10^3$ ($7,07 \times 10^0$)	$1,0 \times 10^0$
	Río Portoviejo punto de captación	1° 12' 21,5" S 80° 22' 01,9" W	$4,00 \times 10^1$ ($1,41 \times 10^1$)	$8,65 \times 10^2$ ($7,07 \times 10^0$)	$>1.0 \times 10^1$	$>1.0 \times 10^1$	$5,52 \times 10^3$ ($1,41 \times 10^1$)	$4,00 \times 10^3$ ($1,41 \times 10^3$)
	Ramal 1 Río Portoviejo Punto de captación	1° 08' 56,0" S 80° 22' 41,5" W	$2,00 \times 10^1$ ($1,41 \times 10^1$)	$7,90 \times 10^2$ ($1,41 \times 10^1$)	$>1.0 \times 10^1$	$>1.0 \times 10^1$	$6,03 \times 10^3$ ($1,41 \times 10^1$)	$7,00 \times 10^2$ ($2,83 \times 10^2$)
	Ramal 2 río Portoviejo Punto de captación	1° 08' 08,4" S 80° 23' 49,1" W	$2,85 \times 10^2$ ($7,07 \times 10^0$)	$9,95 \times 10^2$ ($7,07 \times 10^0$)	$>1.0 \times 10^1$	$>1.0 \times 10^1$	$3,11 \times 10^3$ ($7,07 \times 10^0$)	$1,05 \times 10^3$ ($7,07 \times 10^1$)
	Río Portoviejo	1° 04' 20,4" S 80° 25' 56,9" W	$7,00 \times 10^1$ ($1,41 \times 10^1$)	$3,95 \times 10^2$ ($7,07 \times 10^0$)	$>1.0 \times 10^1$	$1,50 \times 10^1$ ($7,07 \times 10^0$)	$3,06 \times 10^3$ ($7,07 \times 10^0$)	$8,50 \times 10^2$ ($7,07 \times 10^1$)
	Río Portoviejo punto 2	0° 55' 22,6" S 80° 28' 14,5" W	$1,50 \times 10^1$ ($7,07 \times 10^0$)	$3,55 \times 10^2$ ($7,07 \times 10^0$)	$5,00 \times 10^0$ ($7,07 \times 10^0$)	$3,50 \times 10^1$ ($7,07 \times 10^0$)	$2,52 \times 10^3$ ($2,12 \times 10^1$)	$1,25 \times 10^3$ ($7,07 \times 10^1$)

NOTA: El valor que se encuentra entre paréntesis corresponde al valor de la desviación estándar de cada dato.

3.1.1.5. Guayas

Los ríos y canales de riego de la provincia de Guayas que sobrepasaron los límites de contaminación fecal fueron: con *E. coli*; Río Daule, ramal 3 Guayaquil y Guayaquil ramal 3; con coliformes totales: Río Daule, ramal Nobol, ramal 3 Guayaquil y Guayaquil ramal 3. En cambio, los puntos con mayor cantidad de mesófilos Gram negativos fueron: río Daule, ramal Santa Lucía 2 y ramal Nobol. Finalmente, con bacteriófagos el mayor índice de contaminación fue en Guayaquil Ramal 3 (**Tabla 5; Anexo 7, 8, 9 y 10**).

La mitad de los puntos de muestreo no presentaron contaminación por *E. coli* ni coliformes. Estos puntos de muestreo fueron tomados principalmente en los puntos del río Guayas y Santa Lucía, que son locaciones rurales, con baja densidad de habitantes; por lo tanto, no se evidencia mayor cantidad de contaminación de origen fecal por la poca producción de desechos en el sector, debido a que las muestras fueron tomadas en lugares suburbanos de los cantones, y en esos sectores la población cuentan con pozos sépticos, más no con alcantarillado. Adicionalmente, cabe considerar el efecto del factor de dilución de los contaminantes, influenciados por el elevado caudal de estos ríos en comparación a sus análogos de la Sierra. En investigaciones relacionadas sobre indicadores microbiológicos del río Guayas, en el año 2017 la cantidad de *E. coli* y coliformes fue elevada con $4,00 \times 10^4$ y $1,43 \times 10^5$ UFC/ mL, en puntos de muestreo cercanos a zonas más pobladas (Rivera-Vinueza, 2017). Sin embargo, la cantidad de indicadores actualmente es notablemente inferior, debido a que la muestra estudiada fue tomada en un sector a las afueras de la zona poblada, en donde los efectos de inactivación y dilución son más notorios.

La presencia de todos los indicadores de contaminación fecal en la provincia demuestra que se encuentran altos índices de contaminación, especialmente en la mayoría de los puntos de muestreo de Guayaquil, Daule y Nobol, que son zonas urbanas y las más pobladas de la provincia. Por lo tanto, representan un potencial problema sanitario, ya que los microorganismos provenientes de heces fecales presentes en el agua a más de acabar con la vida acuática, pueden contaminan los cultivos y provocar enfermedades humanas (**Pianetti, Sabatini, Bruscolini, Chiaverini, & Cecchetti, 2004**). Según un reporte de la (**Revista Sanitaria de Salud Pública, 2019**), el 67 % de las muestras

tomadas del Guayas sobrepasan el máximo permisible de coliformes totales y 31 de 43 sitios estudiados se encuentran en condición crítica o muy crítica.

Con respecto a los mesófilos resistentes, fueron detectados en cantidades elevadas. Las densidades de coliformes y *E. coli* resistentes se encontraron en cantidades no significativas.

A nivel general, la provincia con mayor índice de contaminación fecal fue la provincia de Tungurahua, con la mayor cantidad de puntos de muestreo contaminados con al menos uno de los microorganismos estudiados y que sobrepasaron los límites de contaminación fecal. El lugar más contaminado independientemente de la provincia fue el río Machángara (**Tabla 1**) ya que posee todos los indicadores de contaminación fecal estudiados y con los valores más elevados de UFC/100mL de los mismos.

Tabla 5. Datos de los indicadores de contaminación fecal de agua de río y canales de riego de la provincia de Guayas

PROVINCIA	PUNTO DE MUESTREO	COORDENADA S	NO RESISTENTES		RESISTENTES			Bacteriófagos
			<i>E.coli</i>	Coliformes	<i>E.coli</i>	Coliformes	Mesófilos G-	
			UFC/100 mL					
GUAYAS	Punto de captación Río Guayas	1° 42' 26,8" S 80° 00' 38,7" W	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	2,50 x10 ¹ (7,07x10 ⁰)	1,40x10³ (1,41x10 ²)
	Ramal Santa Lucia 1	1° 46' 06,3" S 80° 01' 17,1" W	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	9,50 x10 ¹ (7,07x10 ⁰)	8,50x10 ² (7,07x10 ¹)
	Ramal Santa Lucia 2	1° 49' 41,4" S 80° 01' 32,7" W	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	1,12 x10³ (1,41x10 ¹)	1,0x10 ⁰
	Ramal Santa Lucia 3	1° 50' 47,0" S 80° 00' 39,8" W	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	2,85 x10 ² (2,12x10 ¹)	1,0x10 ⁰
	Río Daule Santa Lucia	1° 52' 01,3" S 79° 59' 12,8" W	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	4,50 x10 ¹ (7,07x10 ⁰)	3,20 x10 ² (2,83x10 ¹)	1,05x10³ (7,07x10 ¹)
	Río Paute	1° 51' 52,8" S 79° 58' 12,8" W	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	5,00 x10 ⁰ (7,07x10 ⁰)	1,75 x10 ² (7,07x10 ⁰)	6,00x10 ² (1,41x10 ²)
	Río Daule	2° 07' 31,8" S 79° 58' 45,9" W	3,60 x10³ (1,41x10 ²)	2,52 x10⁴ (7,07x10 ⁰)	8,00 x10 ¹ (1,41x10 ¹)	8,95 x10 ² (2,12x10 ¹)	2,99 x10³ (1,41x10 ¹)	1,65x10³ (7,07x10 ¹)
	Ramal Nobol	1° 59' 01,2" S 79° 59' 01,4" W	1,90 x10³ (1,41x10 ²)	1,80 x10⁴ (7,07x10 ¹)	1,65 x10 ² (7,07x10 ⁰)	1,60 x10³ (7,07x10 ⁰)	2,90 x10³ (7,07x10 ⁰)	1,52x10⁴ (2,12x10 ²)
	Ramal 1 de Naranjito	2° 14' 02,1" S 80° 07' 37,3" W	1,75 x10 ² (7,07x10 ⁰)	8,85 x10 ² (7,07x10 ⁰)	5,00 x10 ⁰ (7,07x10 ⁰)	2,50 x10 ¹ (7,07x10 ⁰)	1,85 x10 ² (7,07x10 ⁰)	1,50x10 ² (7,07 x10 ¹)
	Ramal 2 de Naranjito	2° 30' 24,0" S 80° 20' 40,9" W	7,00 x10 ¹ (1,41x10 ¹)	8,15 x10 ² (2,12x10 ¹)	>1.0x10 ¹	1,50 x10 ¹ (7,07x10 ⁰)	2,10 x10 ² (1,41x10 ¹)	3,00x10 ² (7,07x10 ⁰)
	Río Milagro	2° 06' 29,9" S 79° 30' 09,1" W	2,50 x10 ¹ (7,07x10 ⁰)	4,80 x10 ² (1,41x10 ¹)	>1.0x10 ¹	1,50 x10 ¹ (7,07x10 ⁰)	3,50 x10 ¹ (7,07x10 ⁰)	3,00x10 ² (1,41x10 ²)
	Ramal 3 Guayaquil	2° 06' 39,3" S 79° 30' 04,3" W	5,30 x10³ (4,24x10 ²)	1,56 x10⁴ (7,07x10 ¹)	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	3,20x10⁴ (7,07x10 ¹)
	Guayaquil ramal 3	2° 08' 59,1" S 79° 23' 49,2" W	2,95 x10³ (7,07x10 ¹)	8,90 x10³ (1,41x10 ¹)	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	1,50 x10 ¹ (7,07x10 ⁰)	4,05x10⁴ (7,07x10 ¹)

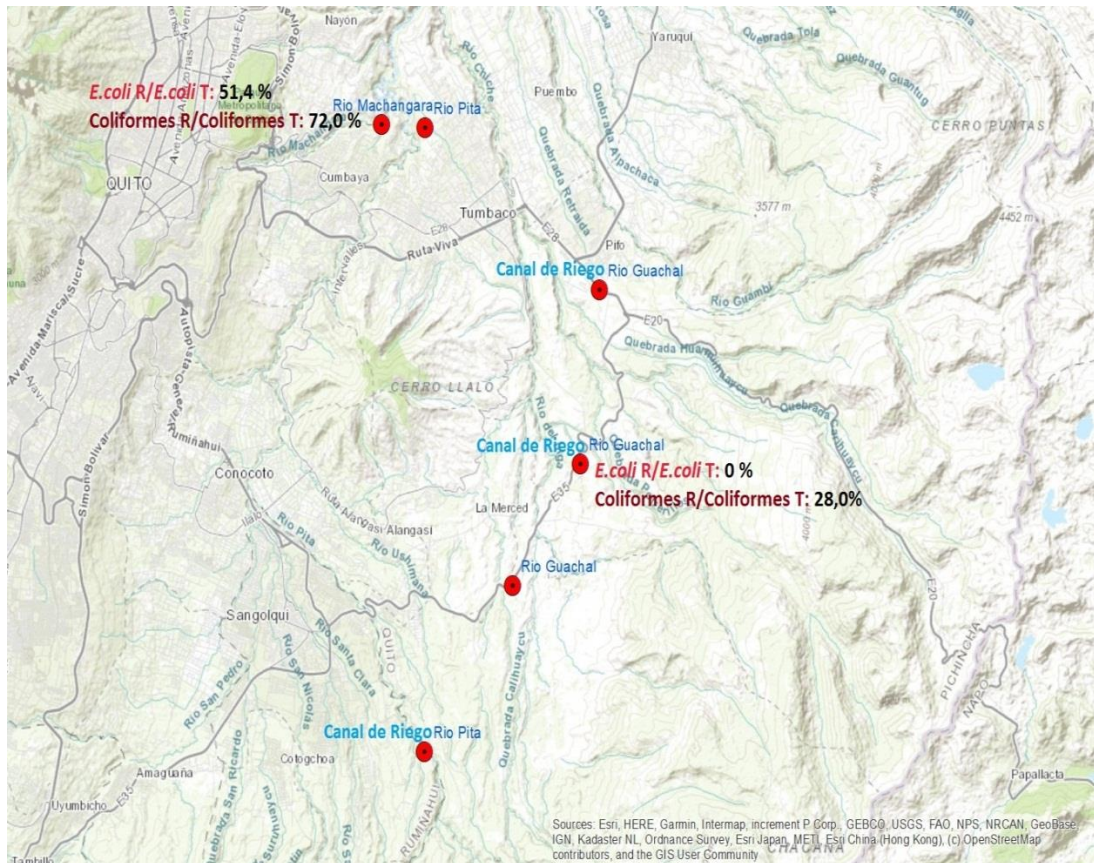
NOTA: El valor que se encuentra entre paréntesis corresponde al valor de la desviación estándar de cada dato.

En cuanto a la resistencia de los microorganismos *E. coli* y coliformes al antibiótico ceftriaxona, se realizó un análisis de ratios; es decir, la proporción de microorganismos resistentes en relación a los microorganismos totales estudiados. En la **Tabla 6** y los Gráficos realizados en el programa ArcGIS se muestran los resultados obtenidos en cada provincia.

Tabla 6. Ratios de agua (%) *E. coli* R/*E. coli* T y Coliformes R/Coliformes T en cada punto de muestreo.

PROVINCIA	PUNTO DE MUESTREO	RATIOS	
		<i>E.coli</i> R / <i>E.coli</i> T (%)	Coliformes R /Coliformes T (%)
PICHINCHA	Río Guachal	-	-
	Canal de riego Río Guachal Sector Yaruquí	-	28,0
	Canal de riego Río Guachal Sector Pifo	-	-
	Río Pita	-	-
	Río Machángara	51,4	72,0
	Canal de riego Río Pita	-	-
COTOPAXI	Río Cutuchi- sector la FAE	30,9	61,1
	Río Cutuchi- sector Hospital del IESS	48,6	70,1
	Canal Latacunga- Salcedo Ambato- Sector la Argentina (Salcedo)	54,4	68,5
	Canal Latacunga- Salcedo Ambato- Cunchibamba	-	91,5
	Desagüe Canal Latacunga- Salcedo Ambato- Cunchibamba	-	-
TUNGURAHUA	Río Ambato	55,9	76,5
	Canal Ambato- Huachi- Pelileo sector Terremoto	94,7	91,3
	Canal Ambato- Huachi- Pelileo sector Cevallos	-	-
	Canal de riego sector Mundug	-	-
	Río Cutuchi- Puente Patate	-	-
	Canal de riego Patate centro	-	-
MANABI	Punto de captación Carrizal	-	-
	Ramal Carrizal	-	-
	Ramal derivado Carrizal Sector Tosagua	-	-
	Río Tosagua	-	-
	Río Chico Punto de captación	-	54,4
	Río Chico ramal	76,5	49,0

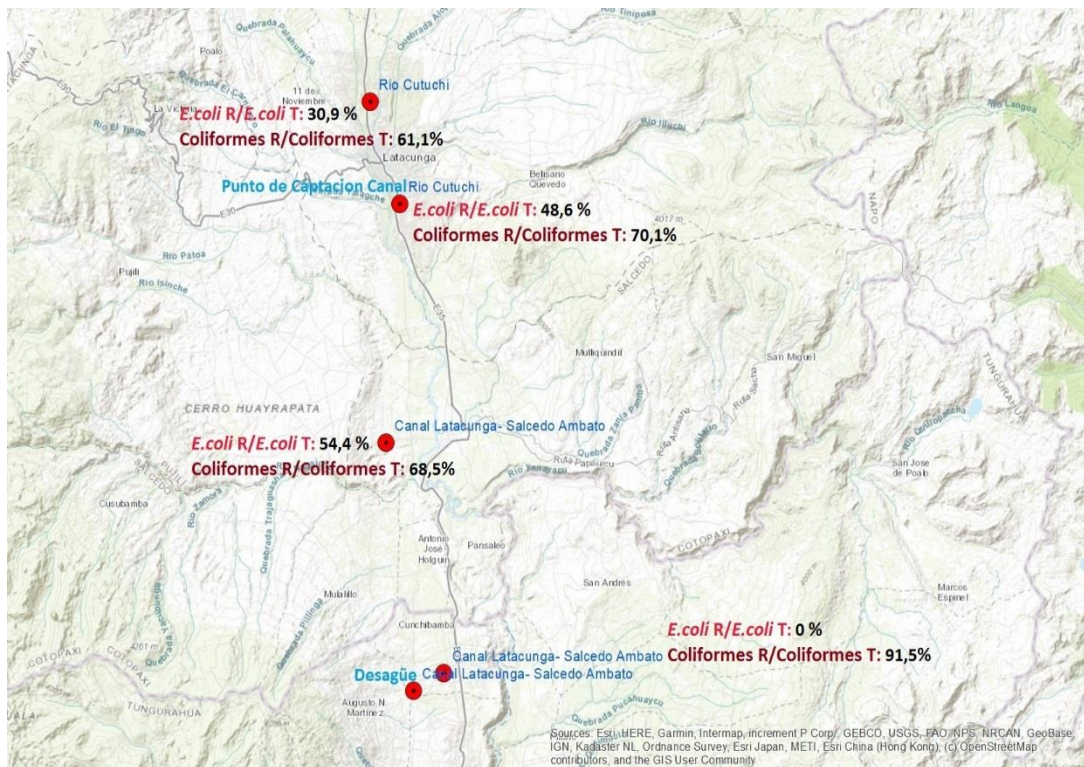
PROVINCIA	PUNTO DE MUESTREO	RATIOS	
		<i>E.coli</i> R / <i>E.coli</i> T (%)	Coliformes R /Coliformes T (%)
	Ramal Río Portoviejo	-	-
	Canal de riego Río Portoviejo	-	-
	Río Portoviejo punto de captación	-	-
	Ramal 1 Río Portoviejo Punto de captación	-	-
	Ramal 2 Río Portoviejo Punto de captación	-	-
	Río Portoviejo	-	45,2
	Río Portoviejo punto 2	59,4	60,5
GUAYAS	Punto de captación Río Guayas	-	-
	Ramal Santa Lucia 1	-	-
	Ramal Santa Lucia 2	-	-
	Ramal Santa Lucia 3	-	-
	Río Daule Santa Lucia	-	-
	Río Paute	-	-
	Río Daule	53,5	67,0
	Ramal Nobol	67,6	75,2
	Ramal 1 de Naranjito	31,1	47,4
	Ramal 2 de Naranjito	-	40,3
	Río Milagro	-	43,8
	Ramal 3 Guayaquil	-	-
	Guayaquil ramal 3	-	-



Nota: los puntos de muestreo en banco representaron 0% de resistencia antibióticos

Gráfico 3.- Ratios de la provincia de Pichincha

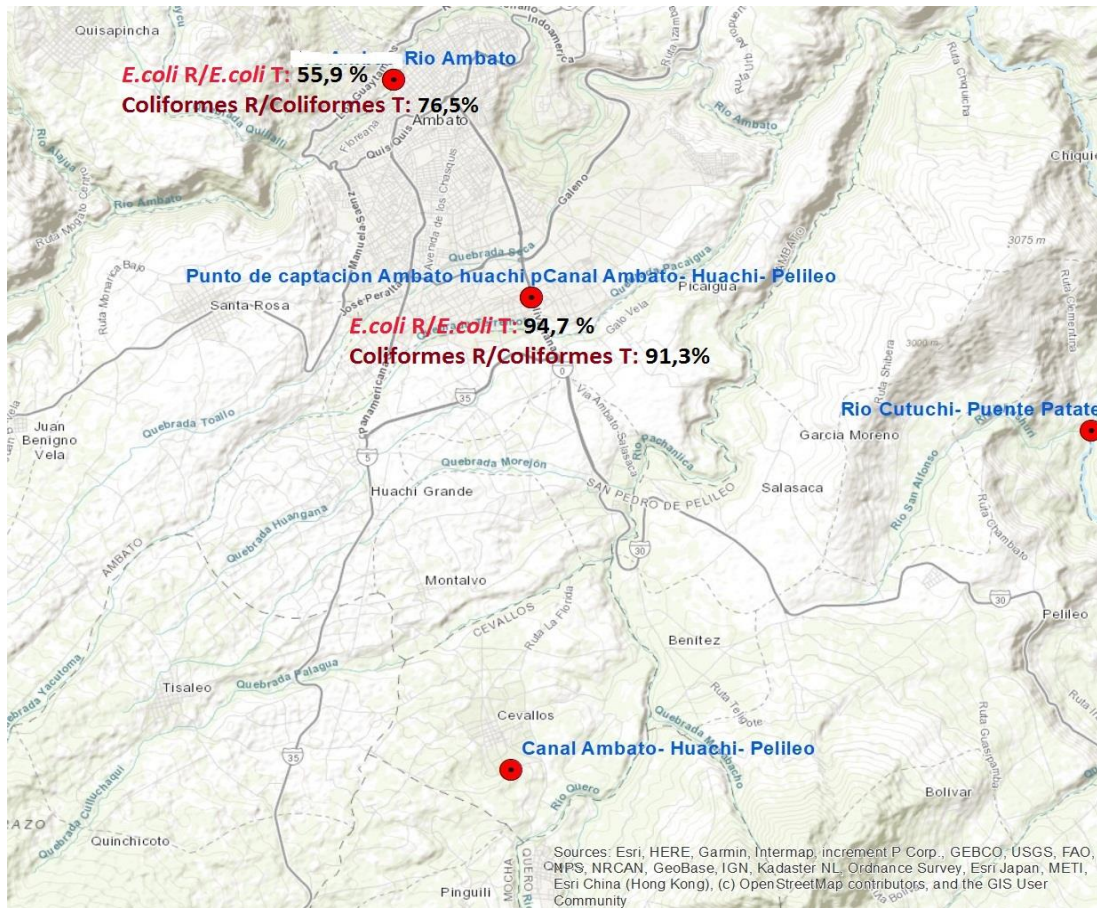
En base a los datos de ratios, tanto de *E. coli* y coliformes, el río Machángara presentó el mayor porcentaje de indicadores de contaminación fecal resistentes a ceftriaxona de la provincia de Pichincha, tal y como se observa en el **Gráfico 3**. Mientras que en los demás puntos de muestreo, no presentan resultado alguno, a excepción del canal de riego de río Guachal (Sector Yaruquí), el cual que presentó un 28 % de coliformes resistentes a ceftriaxona. Las muestras del río Machángara fueron tomadas en el sector de Cumbayá, en donde es evidente la notable influencia de las descargas urbanas de la ciudad de Quito, las cuales se estiman que representan el 70 % de las aguas servidas de toda la ciudad (**Campaña et al., 2017**). Se puede aducir una ratio elevada al considerable impacto antropogénico de estos puntos. Afortunadamente, los puntos de canales de agua de riego no presentaron valores detectables de microorganismos con este fenotipo.



Nota: los puntos de muestreo en banco representaron 0% de resistencia antiobióticos

Gráfico 4.- Ratios de la provincia de Cotopaxi

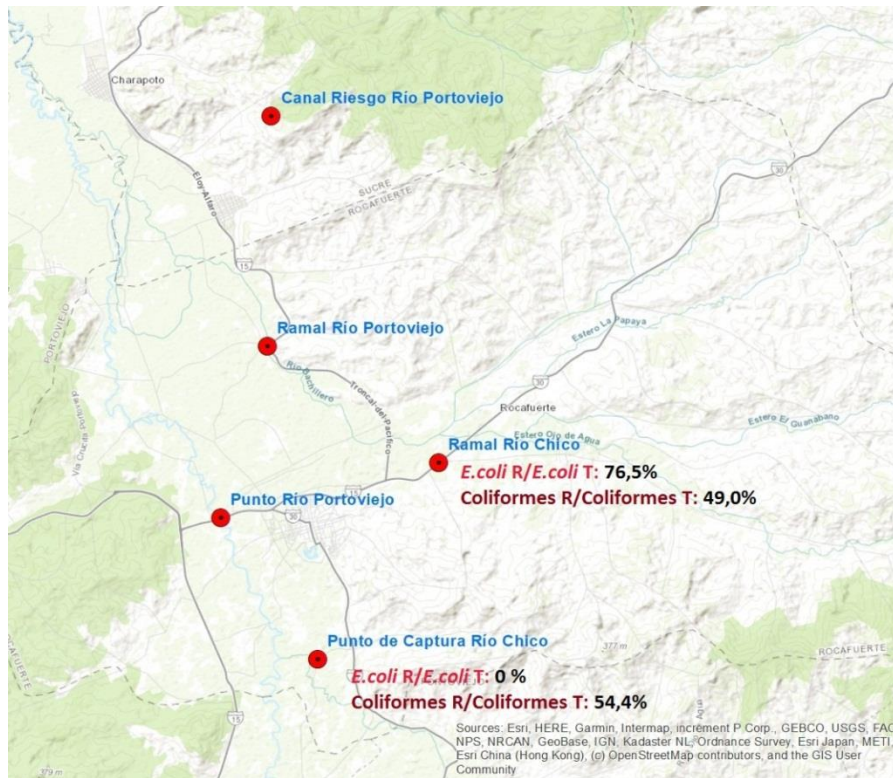
Históricamente, el río Cutuchi recibe las aguas residuales urbanas de la ciudad de Latacunga y de las parroquias de influencia. Las densidades de microorganismos resistentes en el río Cutuchi, de acuerdo al análisis de los ratios *E. coli* resistente a ceftriaxona/*E. coli* totales, se incrementa durante el paso del mismo por la ciudad de Latacunga (**Gráfico 4**). Es notable que el río posee densidades de bacterias entéricas con fenotipo de resistencia antes de su paso por la ciudad de Latacunga, lo cual es un indicador de contaminación con aguas residuales de origen humano y animal antes de la ciudad. De la misma forma, se pone en evidencia que el punto de captación del canal Latacunga-Salcedo-Ambato posee densidades bacterianas sumamente elevadas, que se mantienen en elevadas concentraciones durante su recorrido hacia la provincia de Tungurahua. Los niveles de la ratio *E. coli* R/ *E. coli* total bajan al 0% en el sector de Cunchibamba, sin embargo los porcentajes de coliformes totales resistentes aumentan de manera notable en este punto, evidenciándose que el 91.8% de los coliformes totales presentan un fenotipo de resistencia a ceftriaxona.



Nota: los puntos de muestreo en banco representaron 0% de resistencia antibióticos

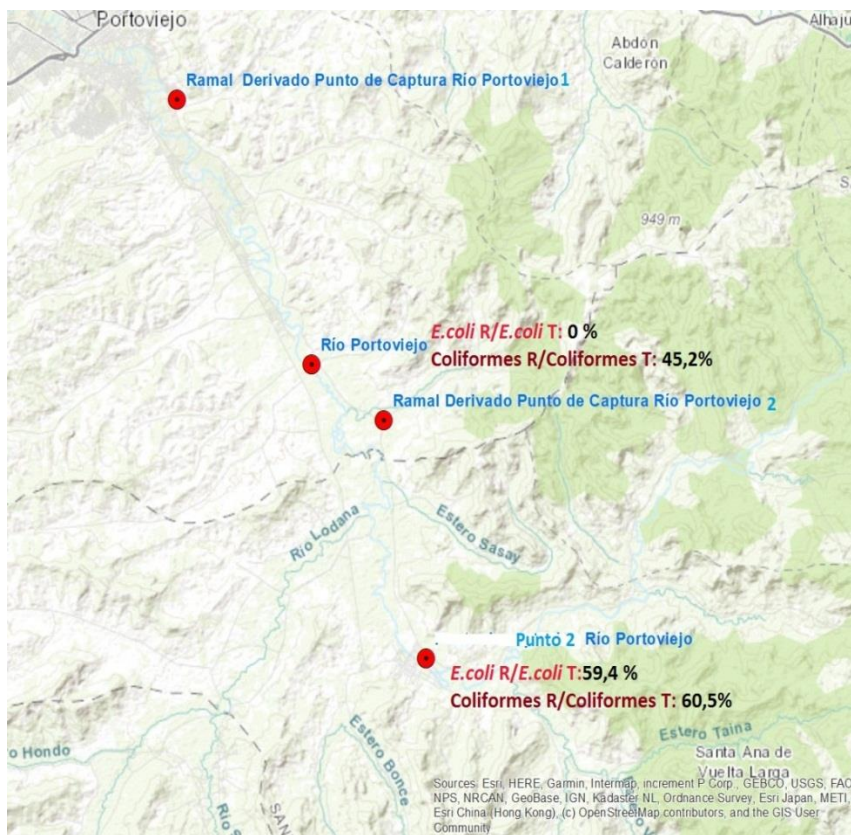
Gráfico 5.- Ratios de la provincia de Tungurahua

En la provincia de Tungurahua, la mayor cantidad de microorganismos *E. coli* y coliformes resistentes a ceftriaxona fue detectada en el Canal Ambato- Huachi- Pelileo, el cual evidencia que las aguas recibidas en su captación contiene elevada contaminación antropogénica. En un estudio realizado por **Tirado (2013)**, en el sector de Manzana-Guayco, por donde atraviesa el canal Ambato- Huachi- Pelileo, se identificó la contaminación por actividades humanas y agrícolas, principalmente la crianza de ganado y en la quebrada de Pataló, en donde se observaron heces fecales de animales. A excepción de este canal, y del río Ambato que también presentó microorganismos resistentes (**Gráfico 5**), en el resto de puntos de muestreo de la provincia no se identificaron microorganismos resistentes al antibiótico ceftriaxona.



Nota: los puntos de muestreo en banco representaron 0% de resistencia antibióticos

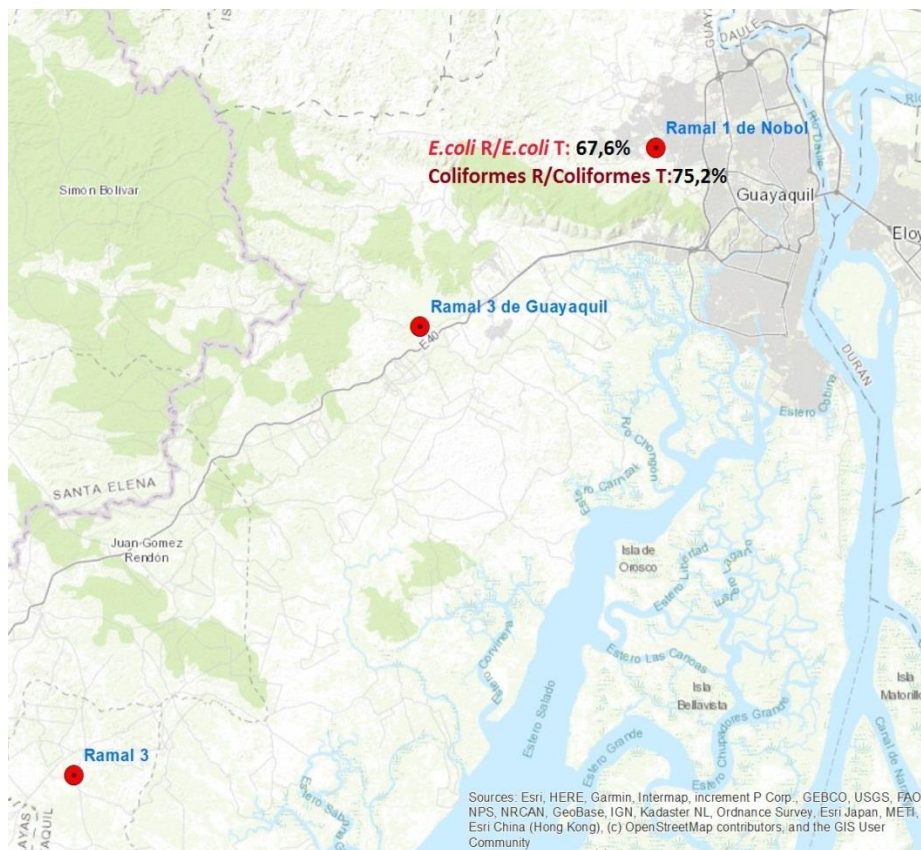
Gráfico 6.- Ratios de la provincia de Manabí sector 1



Nota: los puntos de muestreo en banco representaron 0% de resistencia antibióticos

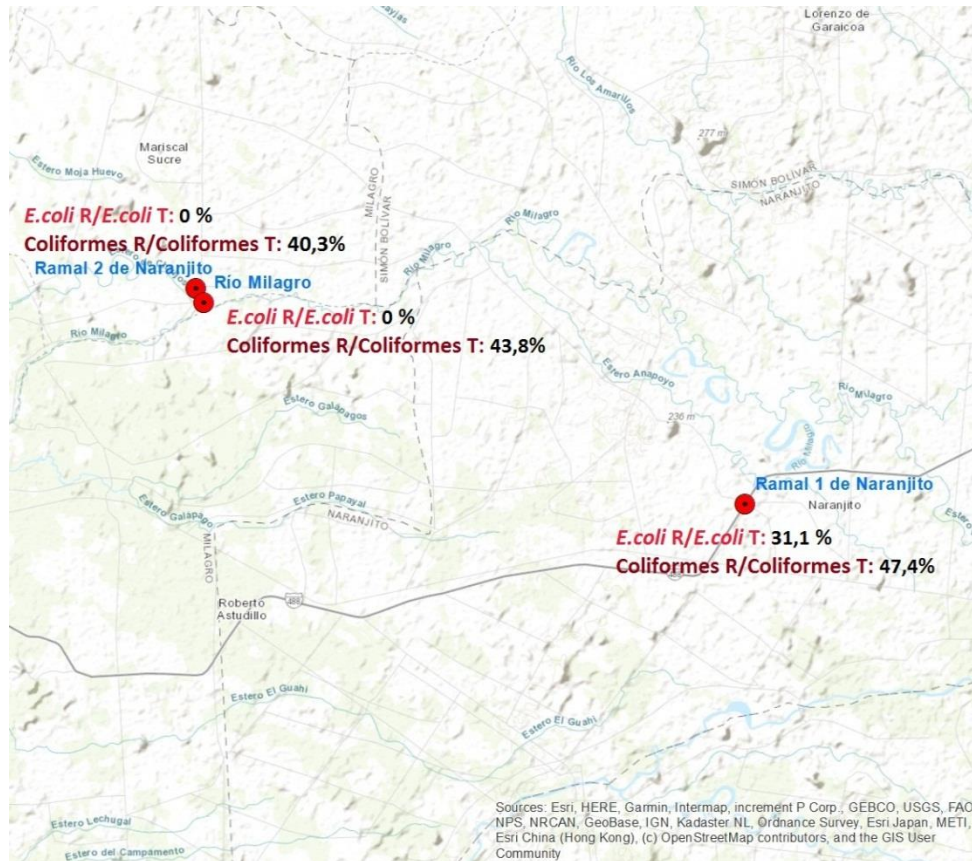
Gráfico 7.- Ratios de la provincia de Manabí sector 2

En la provincia de Manabí, en el punto de captación de río Chico no se detectó *E. coli* resistente a ceftriaxona por tratarse de un sector poco poblado; sin embargo, en el ramal del río se incrementa la cantidad de *E. coli* al 76,5 % siendo la más alta de la provincia con respecto a este microorganismo, lo que indica una clara contaminación durante su recorrido por la zona, mientras que la cantidad más elevada de coliformes resistentes fue de 65.2 % en el punto 2 del río Portoviejo (**Gráfico 7**), el resto de puntos de muestreo del río Portoviejo no presentaron microorganismos resistentes al antibiótico, por tratarse de lugares con poca influencia de actividad humana (**Gráfico 6**).



Nota: los puntos de muestreo en banco representaron 0% de resistencia antibióticos

Gráfico 8.- Ratios de la provincia de Guayas sector 1



Nota: los puntos de muestreo en banco representaron 0% de resistencia antibióticos

Gráfico 9.- Ratios de la provincia de Guayas sector 2

En la provincia del Guayas, los puntos de muestreo tomados del ramal Santa Lucia, río Paute y los ramales de Guayaquil se encuentran libres de microorganismos resistentes al antibiótico ceftriaxona, mientras que en los ramales de Naranjito la cantidad de coliformes se mantiene en porcentajes similares y la cantidad de *E. coli* resistente disminuye de 31,1 % a 0 % en el ramal 2. Ramal 1 de Nobol presentó los valores más altos en cuanto a *E. coli* y coliformes resistentes con un 67,6 % y un 75,2 % respectivamente, seguido por río Daule que presentó un porcentaje del 53,5 % para *E. coli* y 67 % para coliformes resistentes a ceftriaxona. Un estudio realizado por **Cardenas (2013)**, demostraron que las aguas de cuerpos hídricos de 21 cantones se encuentran en estado crítico de contaminación, entre ellos el cantón Daule y Nobol.

En la base a todos los resultados analizados, de las 5 provincias en estudio y haciendo una comparación entre las mismas, el ramal Ambato- Huachi- Pelileo presentó el mayor porcentaje de *E. coli* resistentes con un 94.7 % y el canal Latacunga- Salcedo-Ambato-Cunchibamba con un 91.5 % de coliformes resistentes.

La contaminación fecal en el recurso hídrico es un riesgo sanitario que es caracterizado por la presencia de microorganismos patógenos que pueden producir enfermedades graves y por lo tanto es de suma importancia el control y análisis de las fuentes hídricas y en los sedimentos que se producen, ya que los indicadores de contaminación fecal se encuentran en mayor concentración en la capa superficial del agua y en los sedimentos **(Ramos-Ortega, Vidal, Vilarly, & Saavedra-Díaz, 2010)**.

3.1.2. Sedimentos

Los sedimentos de fuentes hídricas con influencia antropogénica pueden acumular una gran cantidad de microorganismos, por lo que pueden representar un reservorio de bacterias que pueden fácilmente diseminarse en el medio ambiente (**Jamieson, Joy, Lee, Kostaschuk, & Gordon, 2005**). Por lo que, al igual que el análisis de contaminación fecal de las aguas de ríos y canales de riego de las 5 provincias, también se realizó un análisis de los sedimentos en estas fuentes hídricas, cuantificando los indicadores de contaminación fecal presentes en los mismos.

3.1.2.1. Pichincha

En base a los resultados obtenidos, en la provincia de Pichincha se observó que la mayoría de los puntos de muestreo poseen una elevada cantidad de *E. coli*, así como de coliformes; a excepción del Canal de riego de río Guachal sector Yaruquí, sector Pifo y Río Pita para *E. coli*. Mientras que para coliformes, únicamente el canal de riego de río Guachal sector Pifo presentaron cantidades inferiores a 1.0×10^1 UFC/100 mL. La mayor cantidad de *E. coli*, coliformes y mesófilos se presentaron en el río Machángara, es decir es el punto de muestreo con mayor contaminación fecal de la provincia, mientras que la mayor cantidad de bacteriófagos se presentó en el río Guachal (**Tabla 7**).

Es ampliamente conocido que el río Machángara representa un receptor de los contaminantes generados en la ciudad de Quito, por lo que es considerado el foco principal de contaminación en la Provincia (Rivadeneira Toro, 2015). Para el año 2015 la carga orgánica que recibía el río Machángara fue de 52 toneladas de DBO al día, de las cuales el 80 % proviene de desechos domésticos, entre los que se encuentran microorganismos y contaminantes fecales (**Rivadeneira Toro, 2015**). Según **Barrera-Escorcia et al. (1998)**, los sedimentos presentes en un cuerpo hídrico puede contener hasta 1.000 veces más microorganismos fecales que el agua; los sedimentos les proveen los nutrientes y condiciones necesarias para su supervivencia, lo que se evidenció en el presente estudio, ya que la cantidad de estos microorganismos es significativamente superior en sedimentos que en el agua (**Tabla 1**).

Los datos más relevantes obtenidos de la provincia de Pichincha fueron los del río Machángara y del primer punto de captación de río Guachal. En el río Machángara, las muestras de agua y sedimentos presentaron similar concentración de microorganismos, manteniéndose en logaritmo 4, a excepción de coliformes y mesófilos resistentes que se elevaron en un logaritmo en sedimentos. Para río Guachal, la concentración de los indicadores en sedimentos se incrementó entre 1 y 2 logaritmos en comparación a la del agua. El punto muestreado del río Pita fue el menos afectado por la contaminación ya que no presentó indicadores de contaminación fecal en sus aguas ni en los sedimentos muestreados, únicamente en sedimentos la cantidad de coliformes llegó hasta $1,02 \times 10^5$ UFC/ 100ml.

Tabla 7. Datos de los indicadores de contaminación fecal en sedimentos de río y canales de riego de la provincia de Pichincha.

PROVINCIA	PUNTO DE MUESTREO	COORDENADA S	NO RESISTENTES		RESISTENTES			Bacteriófagos
			<i>E. coli</i>	Coliformes	<i>E.coli</i>	Coliformes	Mesófilos G-	
			UFC/100mL					
PICHINCHA	Río Guachal	17 M 0814772	3,04 x10⁴ (7,06x10 ²)	1,99 x10⁵ (7,06x10 ²)	1,50 x10³ (7,06x10 ²)	1,40 x10⁴ (1,41x10 ³)	2,15 x10⁴ (7,06x10 ²)	1,63x10³ (1,93x10 ³)
	Canal de riego río Guachal Sector Yaruquí	17 M0799527	>1.0x10 ¹	4,39 x10³ (6,91x10 ²)	>1.0x10 ¹	4,88 x10 ² (6,91x10 ²)	3,47 x10⁴ (6,91x10 ²)	3,71x10 ² (4,42x10 ²)
	Canal de riego río Guachal Sector Pifo	17 M 0796829	>1.0x10 ¹	>1,00x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	1,0x10 ⁰
	Río Pita	17 M 0789308	>1.0x10 ¹	1,02 x10⁵ (1,21x10 ⁵)	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	1,0x10 ⁰
	Río Machángara	17 M 0787630	7,35x10⁴ (6,98x10 ²)	7,89 x10⁵ (1,64x10 ²)	1,92 x10⁴ (6,98x10 ²)	9,92 x10⁴ (6,98x10 ²)	3,14 x10⁵ (3,65x10 ⁵)	1,56x10³ (1,38x10 ²)
	Canal de riego Río Pita	17 M 0789318	4,86x10³ (1,38x10 ³)	4,67 x10⁴ (1,38x10 ³)	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	1,0x10 ⁰

NOTA: El valor que se encuentra entre paréntesis corresponde al valor de la desviación estándar de cada dato.

3.1.2.2. Cotopaxi

En la provincia de Cotopaxi, el punto de muestreo que presentó todos los indicadores de contaminación fecal y que posee una gran cantidad, a diferencia de los demás puntos, fue en el Río Cutuchi, el punto de captación canal Latacunga-Salcedo del sector Hospital del IESS; es decir, es el punto más contaminado de la provincia para *E. coli*; coliformes en el canal Latacunga- Salcedo sector la Argentina y la mayor cantidad de bacteriófagos se presentaron en los sedimentos del Canal Latacunga- Salcedo Ambato- Cunchibamba.

La cantidad de los microorganismos indicadores de contaminación fecal es considerablemente superior a la cuantificada en muestras de agua de la provincia, particularmente existe una alta cantidad de bacteriófagos en todos los puntos de muestreo tanto en sedimentos como en agua (**Tabla 2**). Los bacteriófagos presentan la gran ventaja de soportar condiciones ambientales extremas, particularmente se encuentra en aguas residuales, suelo, lodos y en desechos tanto de animales como de humanos (heces, orina, saliva y suero) (**Jonczyk, Klak, Międzybrodzki, & Górski, 2011**), cuyas características son propias de los desechos que se receptan en las aguas de ríos y canales de la provincia.

Para el año 2018, los sedimentos tomados del río Cutuchi en el sector del Hospital del IESS mostraron una cantidad de: $4,88 \times 10^4$ UFC/g para *E. coli* y $2,05 \times 10^4$ UFC/g para coliformes (**Mero García, 2018**), es decir que actualmente la cantidad de estos microorganismos en sedimentos ha disminuido pero no de manera reveladora para *E. coli* y ha aumentado considerablemente para coliformes (**Tabla 8**). Estos datos sugieren que el río puede presentar fluctuaciones de concentración.

En comparación a los datos de las muestras de agua de la misma provincia, se observó que la concentración de los indicadores de contaminación fecal en sedimentos aumentó entre 1 y 2 logaritmos para el punto de captación del río Cutuchi, en el canal Latacunga-Salcedo del sector Hospital del IESS y el canal Latacunga- Salcedo sector la Argentina. Por el contrario, del Canal Latacunga- Salcedo Ambato sector de Cunchibamba y el Desagüe del mismo canal, cuya concentración de microorganismos disminuyó entre 2 a 3 logaritmos, por tratarse de zonas poco pobladas. La cantidad de bacteriófagos fue similar tanto en agua como en sedimentos en todos los puntos de muestreo, manteniéndose en cantidades que llegan a logaritmo 4.

Tabla 8.- Datos de los indicadores de contaminación fecal en sedimentos de río y canales de riego de la provincia de Cotopaxi.

PROVINCIA	PUNTO DE MUESTREO	COORDENADAS	NO RESISTENTES		RESISTENTES			Bacteriófagos
			<i>E.coli</i>	Coliformes	<i>E.coli</i>	Coliformes	Mesófilos G-	
			UFC/100 mL					
COTOPAXI	Río Cutuchi- sector la FAE	17 M 0764172	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	2,05x10 ² (2,49x10 ²)
	Río Cutuchi-Punto de captación Canal Latacunga-Salcedo sector Hospital del IESS	17 M 0765606	3,82 x10⁴ (1,96x10 ³)	3,00 x10⁵ (7,07x10 ⁰)	5,07 x10³ (6,52x10 ²)	1,80 x10⁴ (6,52x10 ²)	1,38 x10³ (6,52x10 ²)	1,75x10³ (2,02x10 ³)
	Canal Latacunga- Salcedo Sector la Argentina	17 M 0764935	4,63 x10⁴ (1,31x10 ⁴)	1,71 x10⁵ (6,55x10 ³)	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	3,56x10 ² (4,12x10 ²)
	Canal Latacunga- Salcedo Ambato- Cunchibamba	17 M 0766260	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	5,13x10³ (6,04x10 ³)
	Desagüe Canal Latacunga-Salcedo Cunchibamba	17 M 9767708	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	1,15x10⁴ (1,33x10 ⁴)

NOTA: El valor que se encuentra entre paréntesis corresponde al valor de la desviación estándar de cada dato.

3.1.2.3. Tungurahua

En la provincia de Tungurahua, la cantidad de los indicadores de contaminación fecal presentes en sedimentos es la más elevada, ya que en todos los puntos de muestreo la concentración de los mismos supera los tres logaritmos, para *E. coli*, coliformes y mesófilos. Únicamente en el Canal Ambato-Huachi-Pelileo sector Cevallos, la cantidad de *E. coli* y bacteriófagos fue inferior a los límites de detección de los métodos. El punto de muestreo con mayor índice de contaminación en relación a sedimentos fue el canal Ambato-Huachi-Pelileo, sector Terremoto para *E. coli* y coliformes con $2,47 \times 10^5$ y $1,62 \times 10^6$ UFC/100mL, respectivamente; mientras que para mesófilos fue el río Ambato con $1,15 \times 10^5$ UFC/100mL, es decir que son los dos puntos más contaminados de la provincia.

Tungurahua es una provincia cuya principal fuente económica es la agricultura, ganadería e industria y está enfocada principalmente en la ciudad de Ambato, por tal motivo la calidad de los recursos hídricos se ve afectada por la contaminación que procede de estas actividades. **Ongley (1997)**, mencionan que a nivel mundial la principal fuente de contaminación por sedimentos es la agricultura, ya que los sedimentos son destinados a ríos, lagos, estuarios y mares, contribuyendo al deterioro del agua, la salud humana, la fauna y la contaminación ambiental como se ha logrado evidenciar en esta provincia.

La cantidad de microorganismos en sedimentos para los puntos de muestreo del río Ambato aumentó en 2 logaritmos en comparación a la obtenida en agua (**Tabla 3**), mientras que el punto más alarmante fue el canal Ambato-Huachi-Pelileo sector Terremoto que aumentó hasta 3 logaritmos llegando a presentar concentraciones con logaritmo 6 en sedimentos. Una de las causas debe ser por los constantes derrumbes que se presentan en la zona analizada y la influencia activa de actividades humanas, el resto de puntos de muestreo alcanzaron entre 1 y 2 logaritmos más que en el análisis de agua, lo que la convierte en la provincia con mayor problemática de contaminación fecal principalmente en sedimentos.

Tabla 9.- Datos de los indicadores de contaminación fecal en sedimentos de río y canales de riego de la provincia de Tungurahua.

PROVINCIA	PUNTO DE MUESTREO	COORDENADA S	NO RESISTENTES		RESISTENTES			Bacteriófagos
			<i>E.coli</i>	Coliformes	<i>E.coli</i>	Coliformes	Mesófilos G-	
			UFC/100 mL					
TUNGURAHUA	Río Ambato	17 M 0763446	1,38 x10⁵ (6,30x10 ³)	9,94 x10⁵ (6,30x10 ³)	2,54 x10⁴ (6,30x10 ²)	2,70 x10⁵ (1,32x10 ³)	1,15 x10⁵ (6,30x10 ²)	1,34x10 ² (1,26x10 ¹)
	Canal Ambato- Huachi- Pelileo Sector Terremoto	17 M 0765593	2,47 x10⁵ (6,12x10 ³)	1,62 x10⁶ (6,12x10 ³)	2,21 x10⁴ (6,12x10 ²)	2,38 x10⁵ (1,89x10 ³)	4,11 x10⁴ (6,12x10 ²)	4,80x10 ⁰ (6,79x10 ⁰)
	Canal Ambato- Huachi- Pelileo Sector Cevallos	17 M 0765975	>1,0x10 ¹	1,09 x10⁴ (6,69x10 ²)	4,73 x10 ² (6,69x10 ²)	5,20 x10³ (6,69x10 ²)	3,55 x10⁴ (6,69x10 ²)	>1,0x10 ⁰
	Canal de riego sector Mundug	17 M 0777132	1,83 x10³ (5,18x10 ²)	2,23 x10⁴ (5,18x10 ²)	>1,0x10 ¹	1,83 x10³ (5,18x10 ²)	1,10 x10³ (5,18x10 ²)	1,13x10 ² (5,18x10 ⁰)
	Río Cutuchi- Puente Patate	17 M 0776212	5,01 x10³ (6,44x10 ²)	4,32 x10⁴ (6,44x10 ²)	4,55 x10 ² (6,44x10 ²)	7,74 x10³ (6,44x10 ²)	5,01 x10³ (6,44x10 ²)	4,19x10 ² (5,15x10 ¹)
	Canal de riego Patate centro	17 M 0777206	2,27 x10³ (6,42x10 ²)	8,67 x10⁴ (6,42x10 ²)	>1,0x10 ¹	>1,0x10 ¹	2,27 x10³ (6,42x10 ²)	1,36x10 ² (1,28x10 ¹)

NOTA: El valor que se encuentra entre paréntesis corresponde al valor de la desviación estándar de cada dato.

3.1.2.4. Manabí

En la **Tabla 10** se puede observar que en la provincia de Manabí la cantidad de microorganismos mesófilos resistentes es elevada en la mayoría de los puntos de muestreo, comparados con los datos analizados en agua (**Tabla 4**), dichos datos se elevan entre 1 y 2 logaritmos su concentración en sedimentos, siendo en el río Portoviejo punto de muestreo donde se obtuvo la concentración más elevada de los mismos. Por otra parte, todos los puntos de muestreo tienen cantidades numerosas para coliformes, el ramal derivado carrizal sector Tosagua fue el que presentó la cantidad más alta con $4,39 \times 10^5$ UFC/100 mL, es decir 3 logaritmos más elevado que en agua (**Tabla 4**), al igual que para *E. coli* con $5,41 \times 10^4$ UFC/100 mL, únicamente en los dos primeros puntos de muestreo de carrizal y en el punto 2 de río Portoviejo no se sobrepasaron los límites para *E. coli* al igual que en las muestras de agua (**Tabla 4**). La cantidad de bacteriófagos en esta provincia no se presentó en cantidades elevadas.

En el caso de *E. coli* y coliformes resistentes, en la mayoría de los puntos de muestreo no presentaron resistencia al antibiótico ceftriaxona, únicamente en 5 puntos de muestreo se presentaron coliformes resistentes de forma eminente.

En Manabí, al igual que en las demás provincias la cantidad de microorganismos en sedimentos es superior a la del agua; en general, entre 2 y 3 logaritmos más elevado, pero no en todos los puntos de muestreo, como en el caso de Tungurahua, lo que demuestra que existe una contaminación elevada en la provincia especialmente de coliformes y mesófilos resistentes. Este resultado podría deberse a que los sedimentos a más de proporcionar condiciones adecuadas para los microorganismos también es considerado como un ambiente protector para el caso de coliformes y otra de sus características es el tamaño de partícula del sedimento ya que al tratarse de sedimentos finos estos proporcionan una mayor superficie de adhesión y por lo tanto pueden aportar a una mayor retención de los microorganismos (**Barrera-Escorcía et al., 1998**).

Tabla 10.- Datos de los indicadores de contaminación fecal en sedimentos de río y canales de riego de la provincia de Manabí

PROVINCIA	PUNTO DE MUESTREO	COORDENADAS	NO RESISTENTES		RESISTENTES			Bacteriófagos
			<i>E.coli</i>	Coliformes	<i>E.coli</i>	Coliformes	Mesófilos G-	
			UFC/100 mL					
MANABÍ	Punto de captación Carrizal	0° 52' 21,0" S 80° 06' 55,5" W	>1.0x10 ¹	1,44 x10³ (6,80x10 ²)	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	1,0x10 ⁰
	Ramal carrizal	0° 49' 36,1" S 80° 10' 46,6" W	>1.0x10 ¹	1,85 x10³ (1,30x10 ³)	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	3,23 x10³ (6,52x10 ²)	1,0x10 ⁰
	Ramal derivado Carrizal Sector Tosagua	0° 48' 27,6" S 80° 13' 11,3" W	5,41 x10⁴ (9,56x10 ³)	4,39 x10⁵ (9,56x10 ³)	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	1,86 x10⁵ (9,56x10 ²)	3,38x10 ¹ (4,78x10 ¹)
	Tosagua	0° 48' 36,3" S 80° 13' 17,2" W	4,71 x10 ² (6,66x10 ²)	1,27 x10⁴ (6,66x10 ²)	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	3,30x10 ² (6,66x10 ¹)
	Río Chico Punto de captación	0° 54' 38,0" S 80° 25' 26,7" W	3,31 x10³ (6,69x10 ²)	3,45 x10⁴ (4,68x10 ³)	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	1,0x10 ⁰
	Río Chico Ramal	0° 57' 14,6" S 80° 26' 59,7" W	1,96 x10³ (1,39x10 ³)	2,79 x10⁴ (6,93x10 ²)	4,90 x10 ² (6,93x10 ²)	1,08 x10⁴ (1,39x10 ³)	2,30 x10⁴ (6,93x10 ²)	6,86x10 ² (1,39x10 ²)
	Ramal Río Portoviejo	0° 53' 06,7" S 80° 27' 38,8" W	1,38 x10⁴ (6,75x10 ²)	7,35 x10⁴ (1,35x10 ³)	4,30 x10³ (6,75x10 ²)	5,06 x10⁴ (1,35x10 ³)	1,83 x10⁵ (2,03x10 ³)	1,43x10 ² (6,75x10 ¹)
	Canal de riego Río Portoviejo	0° 50' 04,1" S 80° 27' 35,2" W	1,49 x10⁴ (6,36x10 ²)	6,80 x10⁴ (6,36x10 ²)	>1.0x10 ¹	4,05 x10³ (6,36x10 ²)	6,26 x10⁴ (6,36x10 ²)	1,0x10 ⁰
	Río Portoviejo punto de captación	1° 12' 21,5" S 80° 22' 01,9" W	2,40 x10⁴ (1,61x10 ³)	9,92 x10⁴ (5,38x10 ²)	>1.0x10 ¹	4,94 x10³ (5,38x10 ²)	1,89 x10⁵ (5,38x10 ²)	3,80x10 ¹ (1,08x10 ¹)
	Ramal 1 Río Portoviejo Punto de captación	1° 08' 56,0" S 80° 22' 41,5" W	1,36 x10³ (6,39x10 ²)	2,62 x10⁴ (1,28x10 ³)	>1.0x10 ¹	9,94 x10³ (1,28x10 ³)	3,66 x10⁴ (6,39x10 ²)	6,32x10 ¹ (1,28x10 ¹)
	Ramal 2 río Portoviejo Punto de captación	1° 08' 08,4" S 80° 23' 49,1" W	6,02 x10³ (5,68x10 ²)	5,82 x10⁴ (5,68x10 ²)	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	1,10 x10⁵ (5,68x10 ²)	2,01x10 ¹ (5,68x10 ⁰)
	Río Portoviejo	1° 04' 20,4" S 80° 25' 56,9" W	>1.0x10 ¹	4,25 x10³ (6,68x10 ²)	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	1,14 x10⁵ (1,34x10 ³)	6,61x10 ¹ (1,34x10 ¹)
	Río Portoviejo punto 2	0° 55' 22,6" S 80° 28' 14,5" W	>1.0x10 ¹	1,44 x10³ (6,80x10 ²)	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	1,0x10 ⁰

NOTA: El valor que se encuentra entre paréntesis corresponde al valor de la desviación estándar de cada dato.

3.1.2.5. Guayas

En la provincia de Guayas, la mitad de los puntos de muestreo (entre ellos todos los ramales de Santa Lucía) no presentaron microorganismos *E. coli* ni coliformes resistentes y no resistentes. Las muestras de agua de los mismos puntos tampoco presentaron microorganismos detectables (**Tabla 5**). El 50 % restante presentaron elevadas concentraciones de los indicadores de contaminación fecal. El punto Ramal 2 Naranjito presentó la cantidad más elevada de *E. coli* y coliformes, con $7,33 \times 10^4$ y $5,91 \times 10^5$ UFC/100 mL respectivamente, es decir 3 logaritmos más elevado que en agua. Ramal 3 Guayaquil presentó la mayor cantidad de mesófilos resistentes y Guayaquil Ramal 3 de bacteriófagos. También se presentaron grandes cantidades de mesófilos cuya concentración se incrementó entre 1 y 2 logaritmos más que en agua (**Tabla 5**); a excepción de ramal 3 Guayaquil, que se incrementó hasta en 5 logaritmos, mientras que los bacteriófagos se presentaron en cantidades no relevantes, incluso la cantidad de estos microorganismos fue entre 1 y 2 logaritmos menor a la de las muestras tomadas del agua en la mayoría de los puntos de muestreo. En el ramal 3 Guayaquil y Guayaquil ramal 3, las densidades de los microorganismos permaneció a niveles similares, tanto en agua como en sedimentos. En el caso de los microorganismos resistentes a ceftriaxona, la mayor cantidad de *E. coli* y coliformes resistentes se presentó en Río Daule (**Tabla 11**), cuya concentración se incrementó en 2 logaritmos con respecto a lo obtenido en agua.

Haciendo una comparación entre la cantidad de indicadores de contaminación fecal presentes en agua (**Tabla 1 a 5**) con la cantidad de los mismos en sedimentos (**Tabla 7 a 11**), se determinó que existe mayor concentración de los microorganismos en sedimentos en todas las provincias estudiadas, las cantidades ascendieron entre 1 y hasta en ciertos puntos de muestreo 5 logaritmos más que en agua. En el caso de la contaminación fecal en sedimentos la provincia con más puntos de muestreo con presencia de contaminación fecal elevada y con más de un tipo de microorganismo indicador por punto de muestreo fue la provincia de Tungurahua, seguida por Manabí, Guayas, Pichincha y Cotopaxi, además en todas las provincias existen más de un punto de muestreo que sobrepasó los límites permisibles tanto en agua como en sedimentos. Por lo tanto la contaminación fecal de las fuentes hídricas estudiadas podría estimarse que se encuentran en índices de

contaminación altos y que se deben buscar soluciones rápidas para el mejoramiento, la remediación y el control de estos recursos hídricos

Tabla 11.- Datos de los indicadores de contaminación fecal en sedimentos de río y canales de riego de la provincia de Guayas

PROVINCIA	PUNTO DE MUESTREO	COORDENADA S	NO RESISTENTES		RESISTENTES			Bacteriófagos
			<i>E.coli</i>	Coliformes	<i>E.coli</i>	Coliformes	Mesófilos G-	
			UFC/100 mL					
GUAYAS	Punto de captación Río Guayas	1° 42' 26,8" S 80° 00' 38,7" W	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	6,09 x10⁴ (6,79x10 ²)	3,36 x10 ¹ (6,79x10 ⁰)
	Ramal Santa Lucia 1	1° 46' 06,3" S 80° 01' 17,1" W	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	4,09 x10⁴ (6,36x10 ²)	1,0x10 ⁰
	Ramal Santa Lucia 2	1° 49' 41,4" S 80° 01' 32,7" W	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	2,89 x10⁴ (5,75x10 ²)	1,0x10 ⁰
	Ramal Santa Lucia 3	1° 50' 47,0" S 80° 00' 39,8" W	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	5,99 x10⁴ (1,23x10 ³)	3,91x10 ¹ (6,14x10 ⁰)
	Río Daule Santa Lucia	1° 52' 01,3" S 79° 59' 12,8" W	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	4,24 x10³ (6,66x10 ²)	2,35x10 ¹ (6,66x10 ⁰)
	Río Paute	1° 51' 52,8" S 79° 58' 12,8" W	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	1,45 x10³ (6,81x10 ²)	1,49 x10⁴ (2,04x10 ³)	6,31 x10⁴ (6,81x10 ²)	4,82x10 ¹ (1,36x10 ¹)
	Río Daule	2° 07' 31,8" S 79° 58' 45,9" W	2,67 x10⁴ (4,69x10 ³)	5,12 x10⁵ (1,27x10 ⁴)	6,74 x10³ (6,35x10 ²)	4,94 x10⁴ (1,27x10 ³)	8,22 x10⁴ (6,35x10 ²)	3,64x10 ² (6,35x10 ⁰)
	Ramal Nobol	1° 59' 01,2" S 79° 59' 01,4" W	1,98 x10⁴ (1,79x10 ³)	1,78 x10⁵ (5,97x10 ²)	2,11 x10³ (5,97x10 ²)	1,18 x10⁴ (1,19x10 ³)	1,43 x10⁵ (5,97x10 ²)	1,98x10 ² (1,79x10 ¹)
	Ramal 1 de Naranjito	2° 14' 02,1" S 80° 07' 37,3" W	3,22 x10³ (6,51x10 ²)	2,72 x10⁴ (6,51x10 ²)	1,38 x10³ (6,51x10 ²)	1,10 x10⁴ (1,30x10 ³)	1,06 x10⁴ (6,51x10 ²)	1,0x10 ⁰
	Ramal 2 de Naranjito	2° 30' 24,0" S 80° 20' 40,9" W	7,33 x10⁴ (6,69x10 ²)	5,91 x10⁵ (3,34x10 ⁴)	2,37 x10³ (6,69x10 ²)	1,51 x10⁴ (1,34x10 ³)	3,26 x10⁴ (6,69x10 ²)	2,37x10 ¹ (6,69x10 ⁰)
	Río Milagro	2° 06' 29,9" S 79° 30' 09,1" W	>1.0x10 ¹	6,62 x10³ (1,34x10 ³)	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	3,83 x10⁴ (6,69x10 ²)	2,37x10 ¹ (6,69x10 ⁰)
	Ramal 3 Guayaquil	2° 06' 39,3" S 79° 30' 04,3" W	4,39 x10⁴ (3,01x10 ³)	7,51 x10⁵ (1,31x10 ⁴)	>1.0x10 ¹	1,39 x10³ (6,56x10 ²)	2,51 x10⁵ (6,56x10 ²)	1,37x10⁴ (3,28x10 ²)
	Guayaquil ramal 3	2° 08' 59,1" S 79° 23' 49,2" W	2,74 x10⁴ (1,33x10 ³)	2,68 x10⁵ (1,33x10 ³)	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	>1.0x10 ¹	2,27x10⁴ (1,27x10 ³)

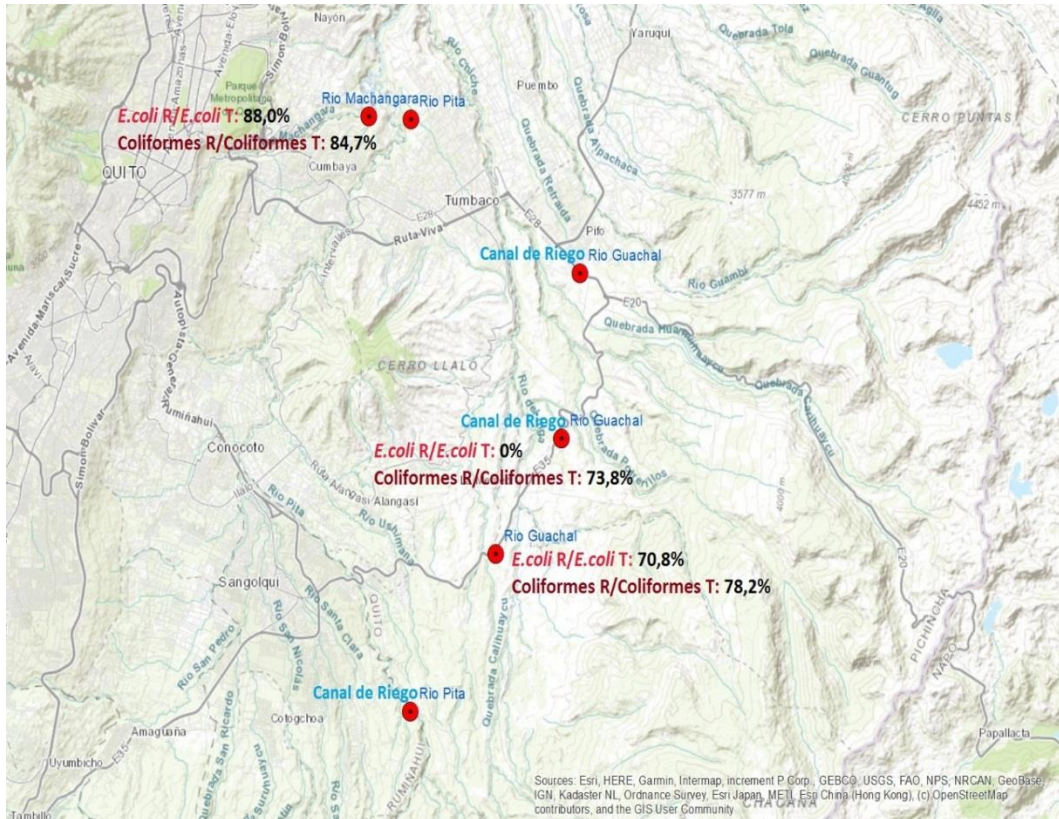
NOTA: El valor que se encuentra entre paréntesis corresponde al valor de la desviación estándar de cada dato.

En la **Tabla 12** y los Gráficos realizados en el programa ArcGIS se muestran los resultados de la cantidad de microorganismos *E. coli* o coliformes resistentes en base a los microorganismos totales de cada uno de ellos, representado en ratios. Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 12. Ratios de sedimentos (%) *E. coli* R/*E. coli* T y Coliformes R/Coliformes T en cada punto de muestreo.

PROVINCIA	PUNTO DE MUESTREO	RATIOS	
		<i>E.coli</i> R/ <i>E.coli</i> T (%)	Coliformes R/Coliformes T (%)
PICHINCHA	Río Guachal	70,8	78,2
	Canal de riego río Guachal Sector Yaruquí	-	73,8
	Canal de riego río Guachal Sector Pifo	-	-
	Río Pita	-	-
	Río Machángara	88,0	84,7
	Canal de riego río Pita	-	-
COTOPAXI	Río Cutuchi- sector la FAE	-	-
	Río Cutuchi- sector Hospital del IESS	80,8	77,6
	Canal Latacunga- Salcedo Ambato- Sector la Argentina (Salcedo)	-	-
	Canal Latacunga- Salcedo Ambato- Cunchibamba	-	-
	Desagüe Canal Latacunga- Salcedo Ambato- Cunchibamba	-	-
TUNGURAHUA	Río Ambato	85,6	90,5
	Canal Ambato- Huachi- Pelileo, Sector Terremoto	80,5	86,5
	Canal Ambato- Huachi- Pelileo, Sector Cevallos	-	92,0
	Canal de riego sector Mundug	-	75,0
	Río Cutuchi- Puente Patate	71,8	83,8

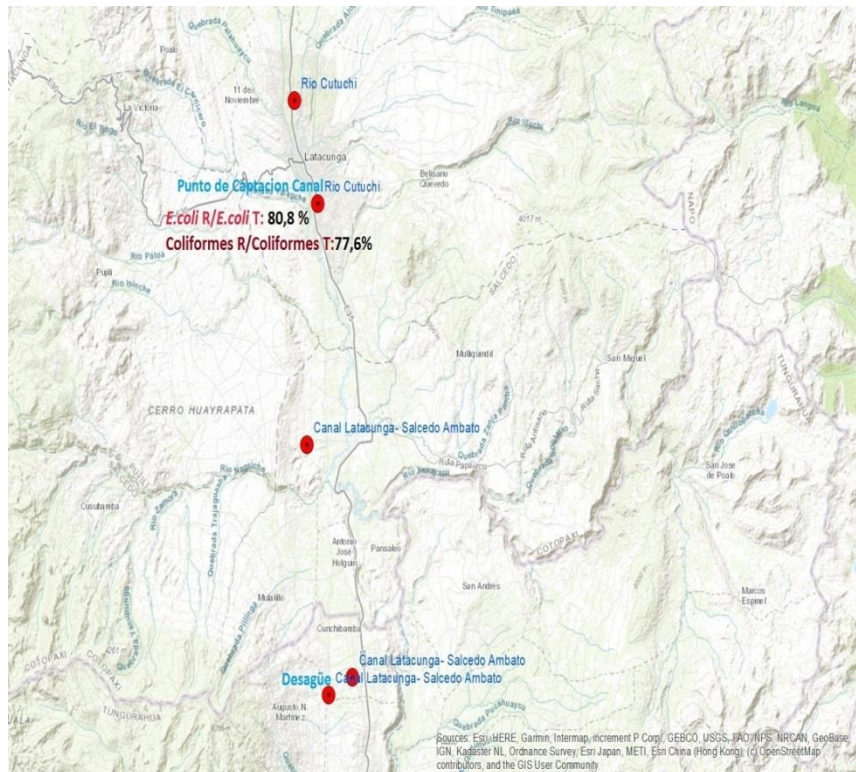
PROVINCIA	PUNTO DE MUESTREO	RATIOS	
		<i>E.coli</i> R/ <i>E.coli</i> T (%)	Coliformes R/Coliformes T (%)
	Canal de riego Patate centro	-	-
MANABI	Punto de captación Carrizal	-	-
	Ramal Carrizal	-	-
	Ramal derivado Carrizal Sector Tosagua	-	-
	Río Tosagua	-	-
	Río Chico Punto de captación	-	-
	Río Chico ramal	81,7	90,7
	Ramal río Portoviejo	87,7	96,6
	Canal de riego río Portoviejo	-	74,6
	Río Portoviejo punto de captación	-	73,9
	Ramal 1 río Portoviejo Punto de captación	-	90,4
	Río Portoviejo	-	-
Río Portoviejo punto 2	-	-	
GUAYAS	Punto de captación Río Guayas	-	-
	Ramal Santa Lucia 1	-	-
	Ramal Santa Lucia 2	-	-
	Ramal Santa Lucia 3	-	-
	Río Daule Santa Lucia	-	-
	Río Paute	-	-
	Río Daule	86,4	82,2
	Ramal Nobol	77,3	77,5
	Ramal 1 de Naranjito	89,5	91,1
	Ramal 2 de Naranjito	69,3	72,4
	Río Milagro	-	-
	Ramal 3 Guayaquil	-	53,4
Guayaquil ramal 3	-	-	



Nota: los puntos de muestreo en banco representaron 0% de resistencia antibióticos

Gráfico 10.- Ratios de la provincia de Pichincha

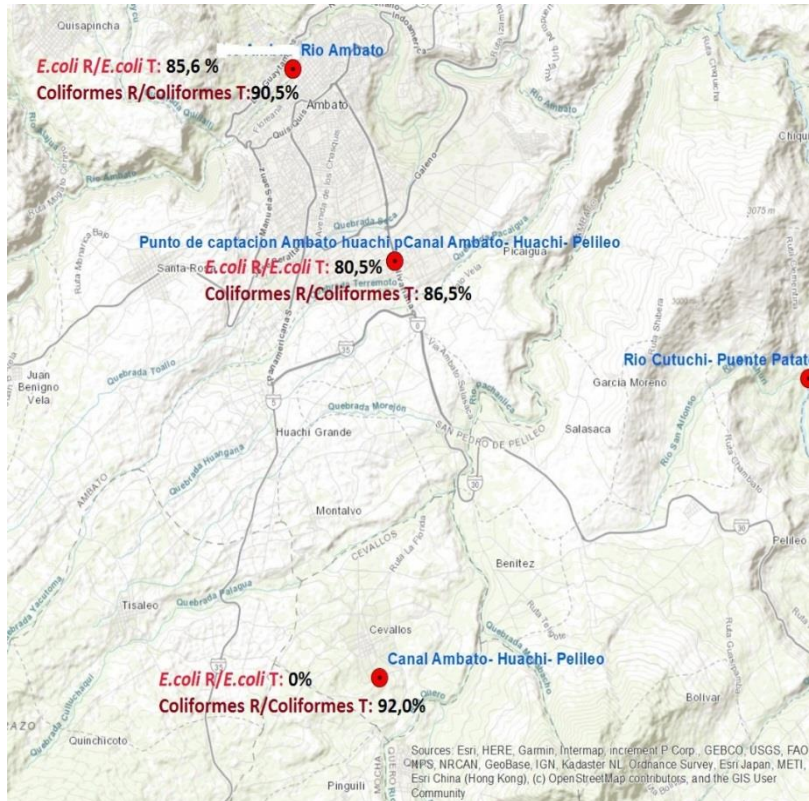
En la provincia de Pichincha, el mayor porcentaje de microorganismos *E. coli* y coliformes resistentes al antibiótico ceftriaxona se presentaron en el río Machángara con un 88 % y 84,7 %, respectivamente; seguido por Río Guachal, que en el primer punto de muestreo los microorganismos no presentaron resistencia al antibiótico. Sin embargo, en el último punto de muestreo de este río la resistencia fue del 70.8 % para *E. coli* y 78.2 % para coliformes. A excepción de los 3 puntos de captación de los dos ríos que se visualizan en el Gráfico, la mayor parte de los puntos de muestreo no presentaron microorganismos resistentes al antibiótico.



Nota: los puntos de muestreo en banco representaron 0% de resistencia antibióticos

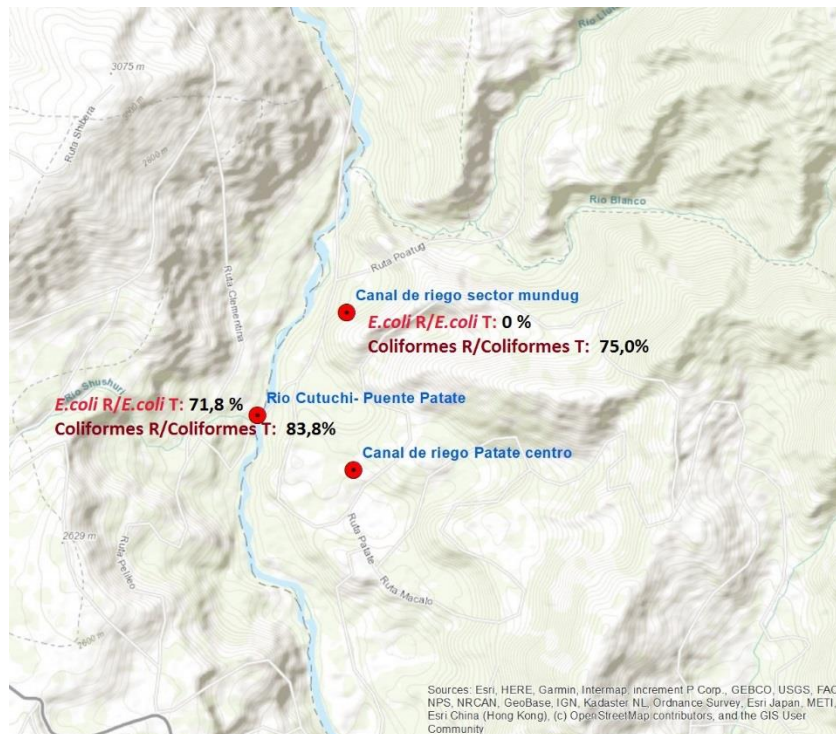
Gráfico 11.- Ratios de la provincia de Cotopaxi

En el caso de la Provincia de Cotopaxi únicamente se presentaron microorganismos resistentes tanto *E. coli* como coliformes en el Río Cutuchi- Sector Hospital del IESS con porcentajes altos del 80.8 y 77.6 % respectivamente, en el resto de puntos de muestreo los microorganismos no presentaron resistencia al antibiótico, en base a la investigación realizada el punto de muestreo del Río Cutuchi- Sector Hospital del IESS demostró ser la zona más contaminada de la provincia de Cotopaxi y la única que presenta microorganismos resistentes a ceftriaxona.



Nota: los puntos de muestreo en banco representaron 0% de resistencia antiobioticos

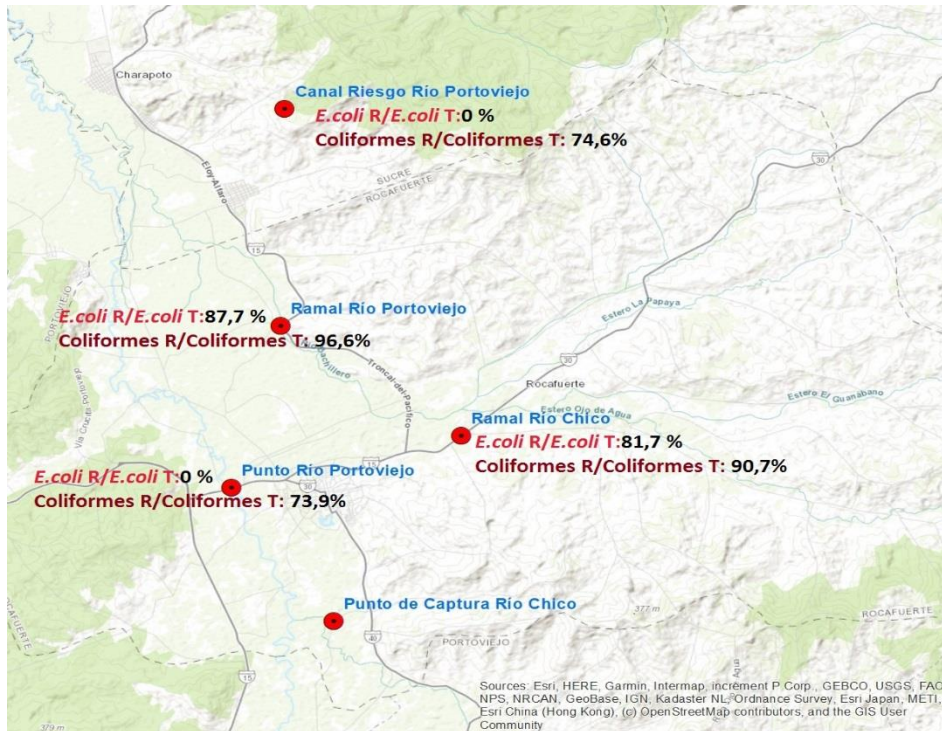
Gráfico 12.- Ratios de la provincia de Tungurahua sector 1



Nota: los puntos de muestreo en banco representaron 0% de resistencia antiobioticos

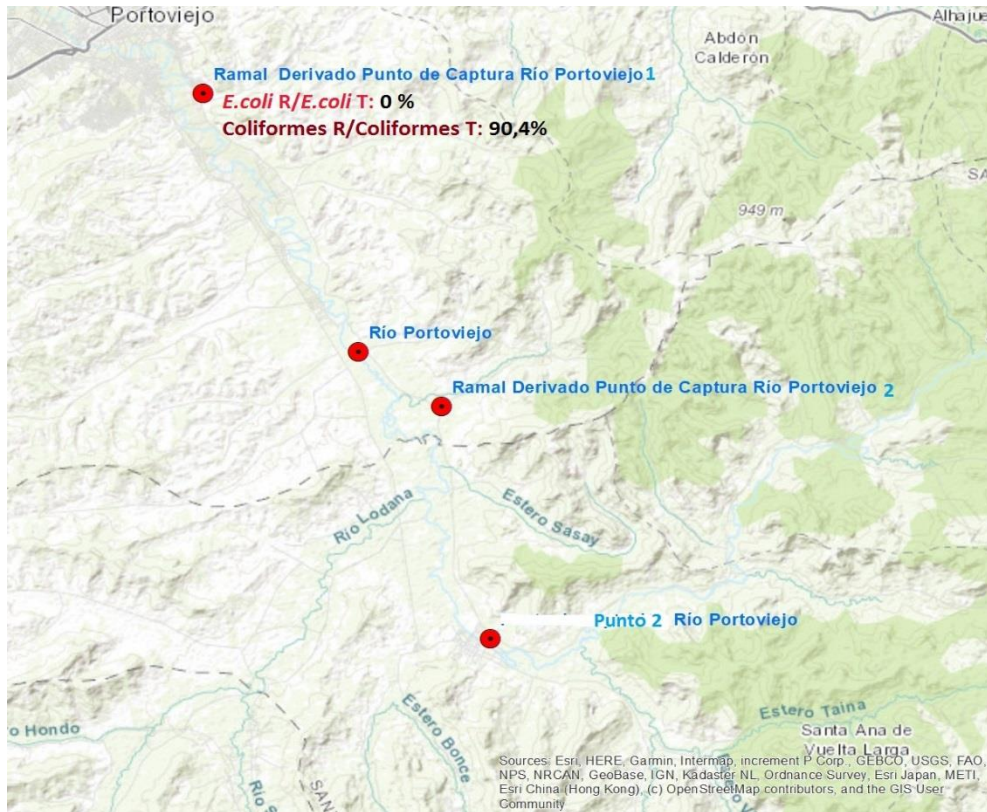
Gráfico 13.- Ratios de la provincia de Tungurahua sector 2

La provincia de Tungurahua presentó la mayor cantidad de puntos de muestreo con contaminación fecal elevada en sus sedimentos, y con la mayor cantidad de microorganismos resistentes a ceftriaxona, siendo el río Ambato el que presentó las más altas concentraciones de *E. coli* resistente con un 85.6 % (**Gráfico 12**) y el canal Ambato-Huachi-Pelileo sector Cevallos con un porcentaje de coliformes resistentes del 92 % (**Gráfico 12**). En el puente de Patate, por donde atraviesa el río Cutuchi (**Gráfico 13**) originario de la provincia de Cotopaxi, también se presentan cantidades elevadas de los microorganismos *E. coli* y coliformes resistentes, es decir que en el transcurso del río desde la provincia de Cotopaxi, específicamente desde el último punto de muestreo que fue en el sector de Hospital del IESS Latacunga (**Gráfico 11**), hasta la provincia de Tungurahua, el río aún se ve afectado por la presencia de desechos contaminantes, por ende la cantidad de microorganismos resistentes es similar a la obtenida en Cotopaxi.



Nota: los puntos de muestreo en banco representaron 0% de resistencia antibióticos

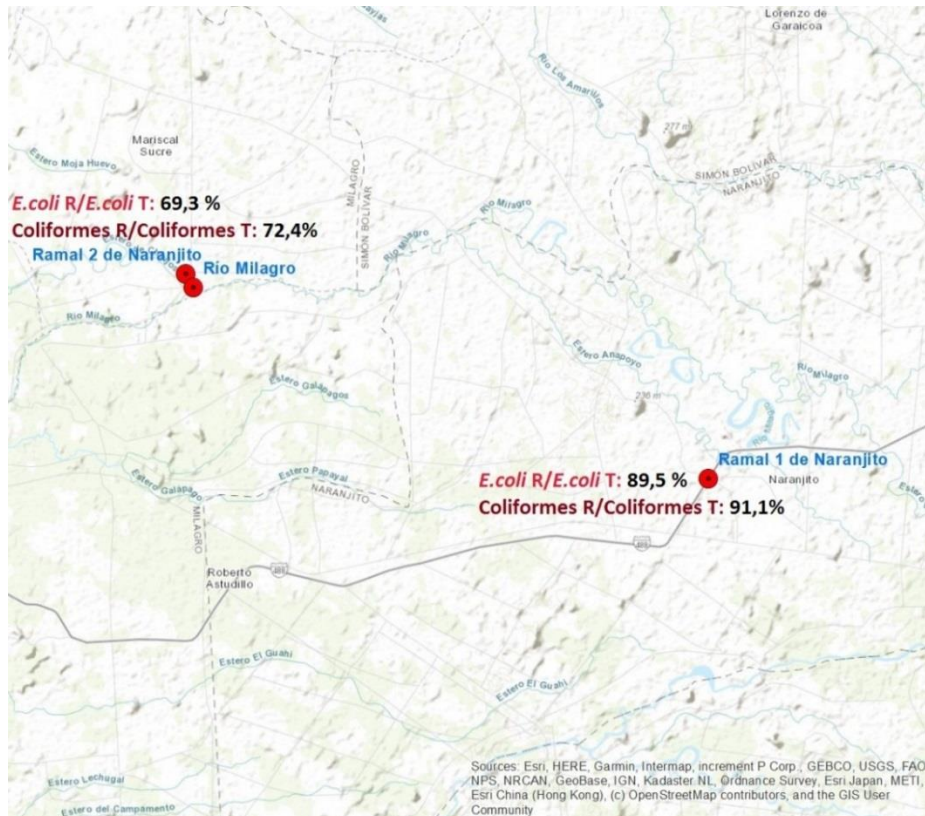
Gráfico 14.- Ratios de la provincia de Manabí sector 1



Nota: los puntos de muestreo en banco representaron 0% de resistencia antibióticos

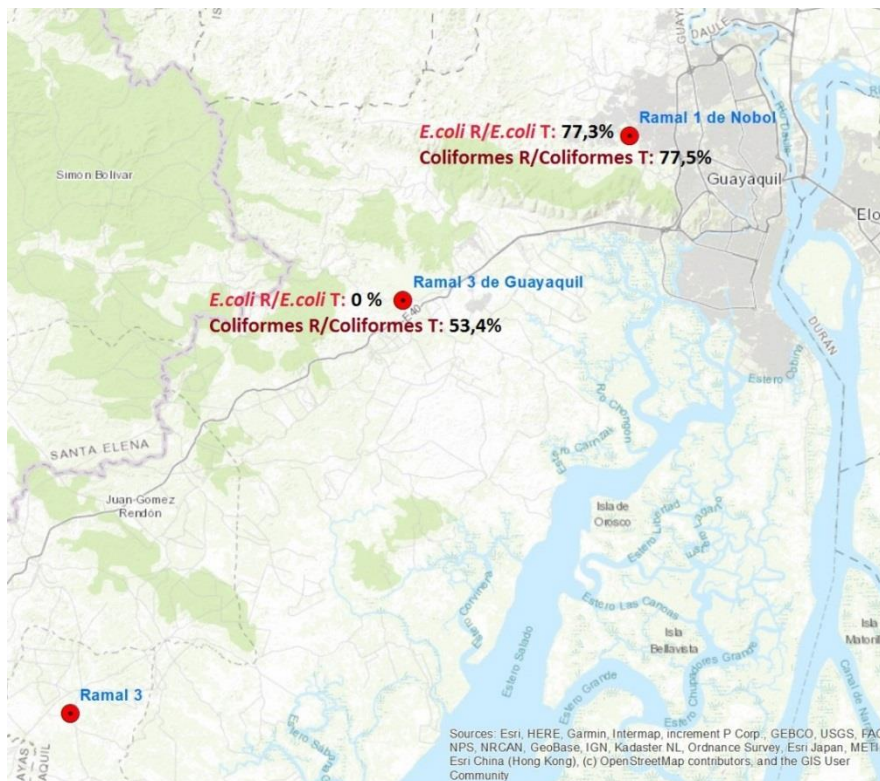
Gráfico 15.- Ratios de la provincia de Manabí sector 2

En la provincia de Manabí, la mayor cantidad de *E. coli* y coliformes resistentes se presentaron en los sedimentos tomados del Ramal río Portoviejo con el 87 % y 96,6 % respectivamente; el 50 % de los puntos de muestreo no presentaron microorganismos resistentes al antibiótico, sobre todo *E. coli* que no presentó resistencia en 10 de los 12 puntos de muestreo. En este caso, los puntos de muestreo de río Portoviejo que no presentaron resistencia en agua (**Gráfico 6**) si presentaron resistencia y elevada en sedimentos (**Gráfico 14**). Por otra parte, en río Chico la resistencia en el ramal es similar a la obtenida en la muestra de agua; sin embargo, en el punto de captación del río pasó de 54.4 % para coliformes en agua (**Gráfico 6**) a 0 % en sedimentos (**Gráfico 14**).



Nota: los puntos de muestreo en banco representaron 0% de resistencia antibióticos

Gráfico 16.- Ratios de la provincia del Guayas sector 1



Nota: los puntos de muestreo en banco representaron 0% de resistencia antibióticos

Gráfico 17.- Ratios de la provincia del Guayas sector 2

En la provincia de Guayas, en el caso de *E. coli* únicamente tres puntos de muestreo presentaron microorganismos resistentes al antibiótico y 5 puntos de los 13 muestreados presentaron coliformes resistentes. La mayor cantidad de *E. coli* y coliformes resistentes a ceftriaxona se presentaron en el ramal 1 de Naranjito con 89.5 % y 91.1 % respectivamente. Valores superiores a los obtenidos en agua (**Gráfico 9**). En este caso, la resistencia de los microorganismos se presentó en los mismos puntos de muestreo del agua de la provincia (**Gráfico 9**), a excepción de río Milagro y Ramal 3 Guayaquil.

De todas las provincias analizadas, el punto de muestreo que presentó la mayor densidad de microorganismos *E. coli* resistentes a ceftriaxona fue ramal 1 de Naranjito, con el 89,5 % y la mayor cantidad de coliformes se presentó en el ramal río Portoviejo de la provincia de Manabí con el 96,6 %. En comparación con los ratios de los indicadores presentes en el agua (**Tabla 6**), en el caso de *E. coli*, este microorganismo presentó menor resistencia en sedimentos que en agua (**Tabla 6**), mientras que los coliformes presentaron mayor resistencia en sedimentos.

La problemática de que los microorganismos presenten resistencia a antibióticos es que pueden seguir proliferando y persistiendo en el medio ambiente, además que los genes de resistencia puede transmitirse entre bacterias de diferentes especies; es decir que en estos ambientes es muy probable la generación de eventos de transferencia genética horizontal (**Wu, Huang, Rao, Zhang, & Yang, 2018**). Los efluentes residuales son la fuente principal de bacterias resistentes, a más de que los microorganismos fecales ya presentan una amplia gama de determinantes de resistencia, los efluentes residuales contienen estos microorganismos, antibióticos que provienen de heces y orina de animales y humanos y otros efluentes de origen industrial (curtiembres, Hospitales, fabricas, etc.), convirtiéndose en un ambiente óptimo para la aparición de bacterias resistentes, lo que genera un gran problema para combatir la contaminación (**Karkman, Pärnänen, & Larsson, 2019**).

3.2. Verificación de Hipótesis

Para el estudio de los índices de contaminación fecal, en los canales de riego y ríos, que se encuentran presentes en las muestras de agua y sedimentos, se realizó un análisis de varianza completamente al azar para evaluar diferencias en los niveles de contaminantes entre aguas y sedimentos, y un análisis factorial para evaluar las diferencias entre provincias estudiadas. El reporte del análisis completo se encuentra reportado en el **Anexo 23**.

En canales de agua de riego, entre muestras de agua y sedimento, se evidenció que los indicadores *E.coli* totales, Coliformes resistentes y bacteriófagos presentan una diferencia significativa entre sus densidades ($P < 0.05$). Demostrando así que la mayor cantidad de indicadores de contaminación fecal se encuentran presentes en los sedimentos, ya que estos pueden actuar como reservorios para dichas bacterias. Por otro lado, en las muestras de ríos, *E.coli* (resistente y totales), Coliformes (resistente y totales) y bacteriófagos, no presentan diferencias significativas ($P > 0.05$) entre las densidades de agua y sedimentos.

En cuanto a las diferencias entre provincias de muestreo, estadísticamente se comprobó que *E.coli* (resistente y totales), Coliformes (resistente y totales), y bacteriófagos existentes en ríos y canales de riego no muestran diferencias significativas entre ellas ($P > 0.05$). Este efecto puede deberse a la elevada heterogeneidad de las muestras, considerando que unas provenían de puntos altamente contaminados y otras de puntos con baja influencia humana.

Considerando la baja tasa de depuración de aguas servidas en el país, este estudio planteó la hipótesis de cuantificar indicadores de contaminación fecal en ríos y canales de agua de riego seleccionados de cinco provincias del Ecuador. A nivel general, los ríos y canales de agua de riego presentan niveles de contaminación heterogéneos, claramente influenciados por actividades antropogénicas. En la mayoría de los casos, las densidades microbiológicas de los puntos cercanos a poblaciones exceden los niveles permisibles por las normas TULSMA y EPA, siendo sus valores muy similares a los detectados en aguas residuales sin tratar (**Calero-Cáceres et al., 2014; Colomer-Lluch et al., 2014;**

Colomer-Lluch, Imamovic, Jofre, & Muniesa, 2011; Sidrach-Cardona, Hijosa-Valsero, Marti, Balcázar, & Becares, 2014).

La presencia de microorganismos resistentes a cefalosporinas de tercera generación en el medio ambiente es un asunto preocupante, considerando su importancia clínica (**EFSA, 2015; Leonard, Zhang, Balfour, Garside, & Gaze, 2015**). No se puede determinar el origen de la misma (humano, ambiental o animal) con la información obtenida en esta tesis, sin embargo es un indicador de su presencia en matrices que podrían integrarse con facilidad integradas en la cadena alimentaria por medio del agua de riego. Los sedimentos podrían actuar como un reservorio de microorganismos resistentes, y en base a los resultados, la influencia de los mismos en canales de agua de riego es importante. La continuación de esta investigación será una caracterización molecular más profunda, que permita determinar los perfiles genotípicos y fenotípicos de resistencia antimicrobiana de los clones circundantes en estas provincias.

CAPITULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Se evidenciaron niveles heterogéneos de los indicadores de contaminación fecal (*E. coli*, coliformes totales y bacteriófagos), en las muestras de agua y en los sedimentos de los ríos de las provincias estudiadas, detectando elevados niveles de contaminación fecal en la mayoría de puntos estudiados. A nivel general, el río Machángara presentó los mayores índices de contaminación entre todos los ríos analizados de las 5 provincias (aguas y sedimentos).

Los niveles de los indicadores de contaminación fecal de los canales de riego de las provincias analizadas presentaron densidades elevadas de microorganismos fecales, *E. coli*, coliformes totales y bacteriófagos, siendo sus densidades directamente proporcionales a la influencia antropogénica circundante. Los indicadores microbiológicos se encontraron en mayor concentración en sedimentos que en agua, sugiriendo que pueden representar un potencial reservorio de microorganismos patógenos y con fenotipo resistente. El Canal Ambato-Huachi-Pelileo, Sector Terremoto de la provincia de Tungurahua, demostró ser el canal de riego con mayor índice de contaminación fecal en aguas y sedimentos.

De acuerdo al análisis de ratios de *E. coli* y coliformes totales y resistentes, se encontró que el punto de muestreo del canal Ambato-Huachi-Pelileo (sector Terremoto) de la provincia de Tungurahua, presentó los niveles más altos de *E. coli* resistente a ceftriaxona; mientras que para los coliformes resistentes, el mayor porcentaje fue detectado en los sedimentos del ramal río Portoviejo de la provincia de Manabí, cuyas zonas están fuertemente influenciadas por la actividad humana.

Finalmente, se concluye que tanto los ríos y canales de riego se ven afectados directamente por la actividad antropogénica circundante, la cual influencia negativamente sobre la calidad biológica de los mismos.

4.2.Recomendaciones

Implementar plantas de tratamiento de aguas residuales, mayor control de las descargas de efluentes por parte de las autoridades y nuevas alternativas para la disminución de los índices de contaminación fecal presentes en los ríos del Ecuador.

Desarrollar un proyecto de reubicación de los puntos de captación de los canales de riego, que son tomados directamente de los ríos, a un punto antes del centro urbano y estén poco pobladas, es decir, antes de la zona de influencia antropogénica, para disminuir los índices de contaminación de los mismos.

Realizar un análisis de los perfiles genotípicos y fenotípicos de resistencia antimicrobiana de los indicadores de contaminación fecal (*E. coli*, coliformes totales, mesófilos y bacteriofagos) de las provincias estudiadas, con la finalidad de conocer el potencial vínculo entre microorganismos ambientales y clínicos.

BIBLIOGRAFÍA

- Barahona Dos Santos, M. C., & Tapia Ortega, R. S. (2010). Calidad y tratabilidad de aguas provenientes de ríos de llanura y embalses eutrofizados, Caso de estudio: Carrizal-Chone La Esperanza, 211. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2630/1/T-ESPE-029823.pdf>
- Barrera-Escorcía, G., Wong Chang, I., Sobrino-Figueroa, A. S., Guzmán-García, X., Hernández-Galindo, F., & Saavedra-Villeda, F. (1998). Estudio preliminar de contaminación bacteriológica en la laguna pueblo viejo, Veracruz, México, *14*(2), 63–68.
- Bonet Pérez, C., & Ricardo Canzadilla, M. P. (2011). Calidad del agua de riego y su posible efecto en los rendimientos agrícolas en la Empresa de Cultivos Varios Sierra de Cubitas, *20*(3), 19–23. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542011000300003
- Calero-Cáceres, W., Melgarejo, A., Colomer-Lluch, M., Stoll, C., Lucena, F., Jofre, J., & Muniesa, M. (2014). Sludge As a Potential Important Source of Antibiotic Resistance Genes in Both the Bacterial and Bacteriophage Fractions. *Environmental Science & Technology*. <https://doi.org/10.1021/es501851s>
- Calero Cáceres, W., Mendez, J., Martín-Díaz, J., & Muniesa, M. (2017). The occurrence of antibiotic resistance genes in a Mediterranean river and their persistence in the riverbed sediment *. *Environment Pollution*, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.01.035>
- Campaña, A., Gualoto, E., & Chiluisa-Utreras, V. (2017). Evaluación físico-química y microbiológica de la calidad del agua de los ríos Machángara y Monjas de la red hídrica del distrito metropolitano de Quito . Physicochemical and microbiological assessment of water quality in Machángara and Monjas rivers fro. *Bionatura*, *2*(2), 305–310.
- Campuzano F, S., Mejía Flórez, D., Madero Ibarra, C., & Pabón Sánchez, P. (2017). Determinación de la calidad microbiológica y sanitaria de alimentos preparados vendidos en la vía pública de la ciudad de Bogotá D.C. *Nova*, *13*(23), 81. <https://doi.org/10.22490/24629448.1708>
- Cardenas, M. (2013). Calidad de las aguas de los cuerpos hidricos de la provincia del Guayas mediante el uso de Macroinvertebrados acuaticos registrados durante noviembre de 2012 y marzo de 2013. *Prefectura Del Guayas*, 86.

- Colomer-Lluch, M., Calero-Cáceres, W., Jebri, S., Hmaied, F., Muniesa, M., & Jofre, J. (2014). Antibiotic resistance genes in bacterial and bacteriophage fractions of Tunisian and Spanish wastewaters as markers to compare the antibiotic resistance patterns in each population. *Environment International*, *73*, 167–175. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.07.003>
- Colomer-Lluch, M., Imamovic, L., Jofre, J., & Muniesa, M. (2011). Bacteriophages carrying antibiotic resistance genes in fecal waste from cattle, pigs, and poultry. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, *55*(10), 4908–4911. <https://doi.org/10.1128/AAC.00535-11>
- Diario la Hora. (2016). Ecuador: 88% de las aguas residuales llega a los ríos: País: La Hora Noticias de Ecuador, sus provincias y el mundo. Disponible en: <http://lahora.com.ec/noticia/1101997377/noticia>.
- EFSA. (2015). *EU Summary Report on antimicrobial resistance in zoonotic and indicator bacteria from humans, animals and food in 2013*. *EFSA Journal* (Vol. 13). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4036>
- García-Aljaro, C., Ballesté, E., Muniesa, M., & Jofre, J. (2017). Determination of crAssphage in water samples and applicability for tracking human faecal pollution, 1–6. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12841>
- Guerrero-Latorre, L., Romero, B., Bonifaz, E., Timoneda, N., Rusiñol, M., Girones, R., & Rios-Touma, B. (2018). Quito's virome: Metagenomic analysis of viral diversity in urban streams of Ecuador's capital city. *Science of the Total Environment*, *645*, 1334–1343. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.213>
- Hagedorn, C., Blanch, A., & Harwood, V. (2011). *Microbial source tracking: methods, applications, and case studies*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9386-1>
- Jamieson, R., Joy, D. M., Lee, H., Kostaschuk, R., & Gordon, R. (2005). Transport and deposition of sediment-associated *Escherichia coli* in natural streams. *Water Research*, *39*, 2665–2675. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.04.040>
- Jończyk, E., Kłak, M., Międzybrodzki, R., & Górski, a. (2011). The influence of external factors on bacteriophages--review. *Folia Microbiologica*, *56*(May), 191–200. <https://doi.org/10.1007/s12223-011-0039-8>
- Karkman, A., Pärnänen, K., & Larsson, D. G. J. (2019). Fecal pollution can explain antibiotic resistance gene abundances in anthropogenically impacted environments. *Nature Communications*, *10*(1), 80. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07992-3>

- La Hora. (2018). Altos niveles de contaminación en el río Ambato. Recuperado de: <https://lahora.com.ec/tungurahua/noticia/1102151575/altos-niveles-de-contaminacion-en-el-rio-ambato>
- La Hora. (2019). El Río Cutuchi en estado crítico. Recuperado de: <https://lahora.com.ec/cotopaxi/noticia/1102225150/el-rio-cutuchi-en-estado-critico>
- Lekunberri, I., Balcázar, J. L., & Borrego, C. M. (2018). Metagenomic exploration reveals a marked change in the river resistome and mobilome after treated wastewater discharges. *Environmental Pollution*, 234, 538–542. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.001>
- Leonard, A. F. C., Zhang, L., Balfour, A. J., Garside, R., & Gaze, W. H. (2015). Human recreational exposure to antibiotic resistant bacteria in coastal bathing waters. *Environment International*. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.02.013>
- Mero García, M. E. (2018). Presencia de genes de resistencia a antibióticos emergentes en aislados de *Escherichia coli* procedentes de aguas superficiales y sedimentos del río Cutuchi y canal Latacunga-Salcedo-Ambato”. Universidad Técnica de Ambato.
- Mora, J., & Calvo, G. (2010). Estado Actual de Contaminación con Coliformes Fecales de los Cuerpos de Agua de la Península de Osa. *Tecnología En Marcha*, 23(5), 34–40.
- OMS. (2013). Sector de agua potable, saneamiento e higiene: una guía práctica para la coordinación de emergencias de salud pública y desastres. Recuperado de: https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/public_health_emergencies/es/
- Ongley, E. D. (1997). *Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos*. (FAO). Burlington- Canadá. Recuperado de: http://www.fao.org/3/W2598S/w2598s04.htm#capítulo_2 contaminación provocada por los sedimentos
- ONU. (2015). Objetivos de Desarrollo del Milenio. Recuperado de: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- Pandey, P. K., Kass, P. H., Soupir, M. L., Biswas, S., & Singh, V. P. (2014). *Contamination of water resources by pathogenic bacteria*.
- Pianetti, A., Sabatini, L., Bruscolini, F., Chiaverini, F., & Cecchetti, G. (2004). Faecal contamination indicators, *Salmonella*, *Vibrio* and *Aeromonas* in water used for the irrigation of agricultural products. *Epidemiology and Infection*, 132(2), 231–238. <https://doi.org/10.1017/s095026880300181x>

- PNUD. (2016). Informe sobre Desarrollo Humano 2016. Recuperado de: http://hdr.undp.org/sites/default/files/HDR2016_SP_Overview_Web.pdf
- Quinga, M. (2017). Contaminación del río Machángara y el derecho al buen vivir de los habitantes del barrio de Guápulo, 13. Recuperado de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/8341/1/T-UCE-0013-Ab-13.pdf>
- Ramos-Ortega, L. M., Vidal, L. A., Sandra, V. Q., & Saavedra-Díaz, L. (2010). Analysis of the microbiological contamination (total and fecales coliforms) in the bay of Santa Marta, Colombian Caribbean. *Acta Biologica Colombiana*, 13(3), 87–98.
- Redacción Médica. (2019). Indígenas ecuatorianos tienen 12 veces más riesgo de morir por enfermedades transmitidas por el agua. Recuperado de: <https://www.redaccionmedica.ec/secciones/salud-publica/afroecuatorianos-tienen-8-5-veces-mas-probabilidades-de-morir-debido-a-una-enfermedad-transmitida-por-el-agua-94241>
- Revista Sanitaria de Salud Pública. (2019). Redaccion médica. Recuperado de: <https://www.redaccionmedica.ec/secciones/salud-publica/la-calidad-del-agua-aun-es-un-agente-causal-de-infecciones-en-ecuador-93879>
- Ríos-Tobón, S., Agudelo-Cadavid, R. M., & Gutiérrez-Builes, L. A. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 35(2), 236–247. <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08>
- Rivadeneira Toro, D. M. (2015). *Evaluación de la calidad del agua y aforo del río Pichán en el tramo 17 m 770421 9990203 (utm) - 17 m 770302 9994845 (utm), parroquia San Miguel de Nono*. Universidad de las Americas.
- Rivera-Pesántez, C. A., & Ochoa-Delgado, L. E. (2018). *Caracterización microbiológica de las aguas de los ríos de la ciudad de Cuenca*. Universidad de Cuenca.
- Rivera-Vinueza, D. L. (2017). *Evaluation of the microbial and chemical load in rivers from several provinces of Ecuador*. Universidad San Francisco de Quito.
- Robert, P. M. (2014). Microorganismos indicadores de la calidad del agua de consumo humano en Cuba. *CENIC. Ciencias Biológicas*, 45(1), 25--36. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181230079005>
- Rock, C., & Rivera, B. (2014). La Calidad del Agua, *E. coli* y su Salud. *The University of Arizona - College of Agriculture and Life Sciences - Cooperative Extension*, (March). Recuperado de: <https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1624s.pdf>

- Rubiano, M. E., Agulló-Barceló, M., Casas-Mangas, R., Jofre, J., & Lucena, F. (2012). Assessing the effects of tertiary treated wastewater reuse on a Mediterranean river (Llobregat, NE Spain), part III: Pathogens and indicators. *Environmental Science and Pollution Research*, 19(4), 1026–1032. <https://doi.org/10.1007/s11356-011-0562-9>
- Schaper, M. (2002). The essence of ecopreneurship. *Greener management international*, 26–30.
- Segundo A, N., Hernández B, E., López V, O., & Torres A, O. (2010). Los bacteriófagos como una alternativa en el tratamiento de enfermedades infecciosas bacterianas (fagoterapia). *Revista Mexicana de Ciencias Farmaceuticas*, 41(3), 17–26.
- SENAGUA. (2017). Gestión de Aguas Residuales en Ecuador-SENAGUA. Recuperado de: <http://es.slideshare.net/CCIFEC/20-gestin-de-aguas-residuales-en-ecuador-senagua>.
- Sidrach-Cardona, R., Hijosa-Valsero, M., Marti, E., Balcázar, J. L., & Becares, E. (2014). Prevalence of antibiotic-resistant fecal bacteria in a river impacted by both an antibiotic production plant and urban treated discharges. *Science of the Total Environment*, 488–489(1), 220–227. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.04.100>
- Streitenberger, M. E., & Baldini, M. D. (2016). Aporte de los afluentes a la contaminación fecal del estuario de Bahía Blanca, Argentina. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 32(2), 243–248. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.02.10>
- Tirado, A. (2013). *Caracterización fisicoquímica y microbiológica de la calidad de agua que accede a la planta de tratamiento Casigana Ep Emapa-a y estrategias para evitar su contaminación.*
- Tornevi, A., Bergstedt, O., & Forsberg, B. (2014). Precipitation effects on microbial pollution in a river: Lag structures and seasonal effect modification. *PLoS ONE*, 9(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0098546>
- UNEP. (2016). *A Snapshot of the World's Water Quality: Towards a global assessment. United Nations Environment Programme.* <https://doi.org/978-92-807-3555-0>
- UNESCO. (2016). El informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos. Recuperado de: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/pdf/wwap_WWDR3_Facts_and_Figures_SP.

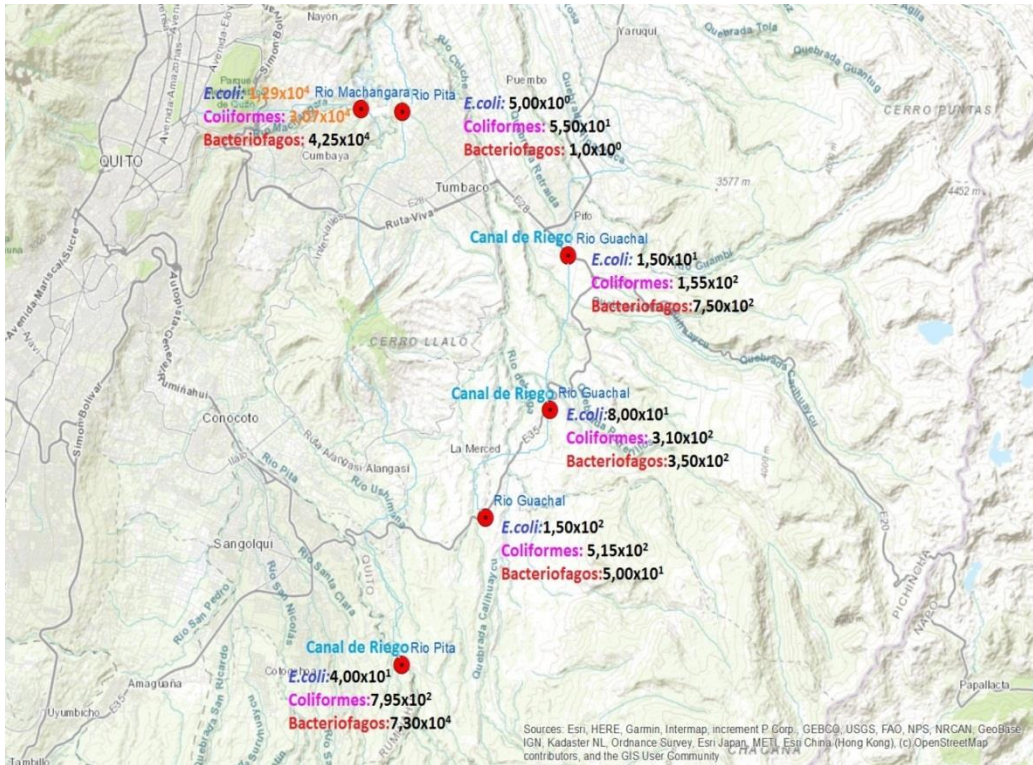
pdf

WHO. (2018). Millennium Development Goals: progress towards the health-related Millennium Development Goals. Recuperado de: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs290/en/index>.

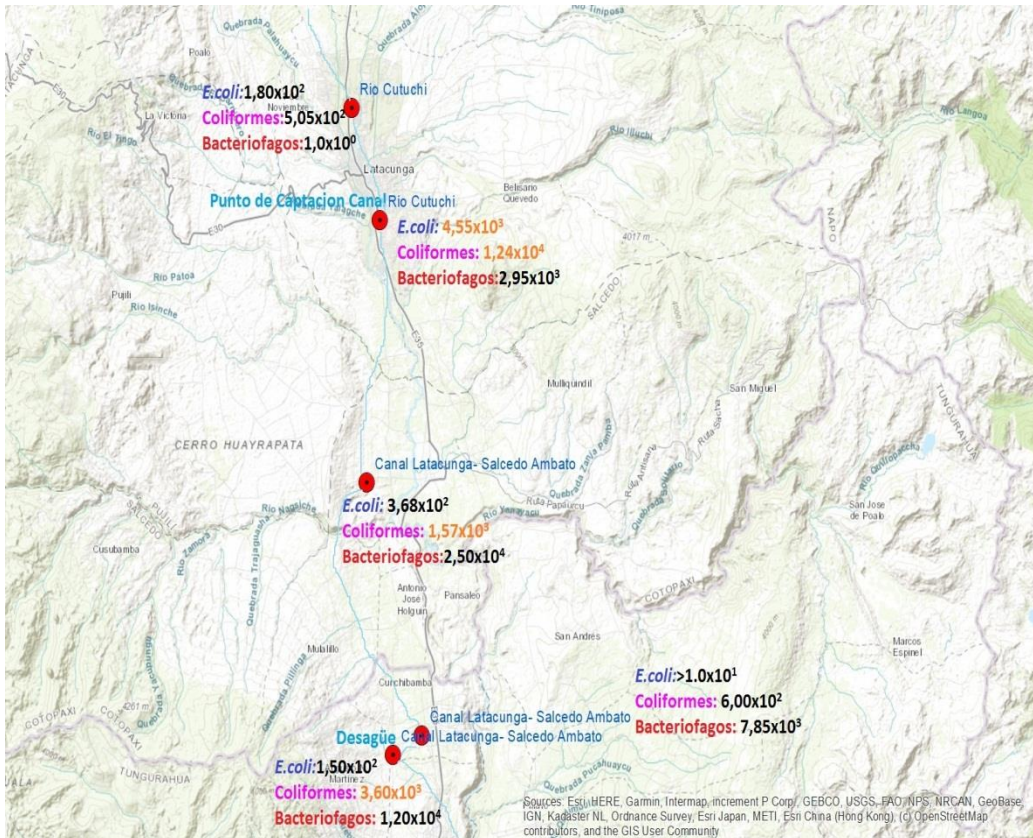
Wu, J., Huang, Y., Rao, D., Zhang, Y., & Yang, K. (2018). Evidence for environmental dissemination of antibiotic resistance mediated by wild birds. *Frontiers in Microbiology*, 9(APR), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00745>

ANEXOS

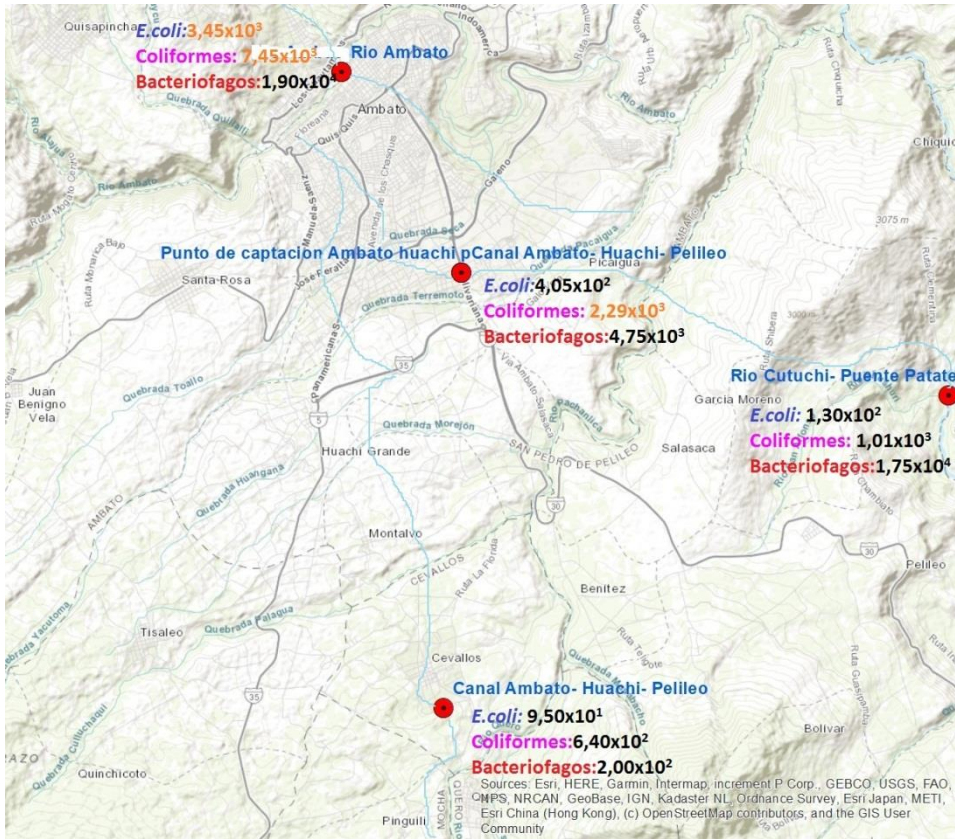
Agua



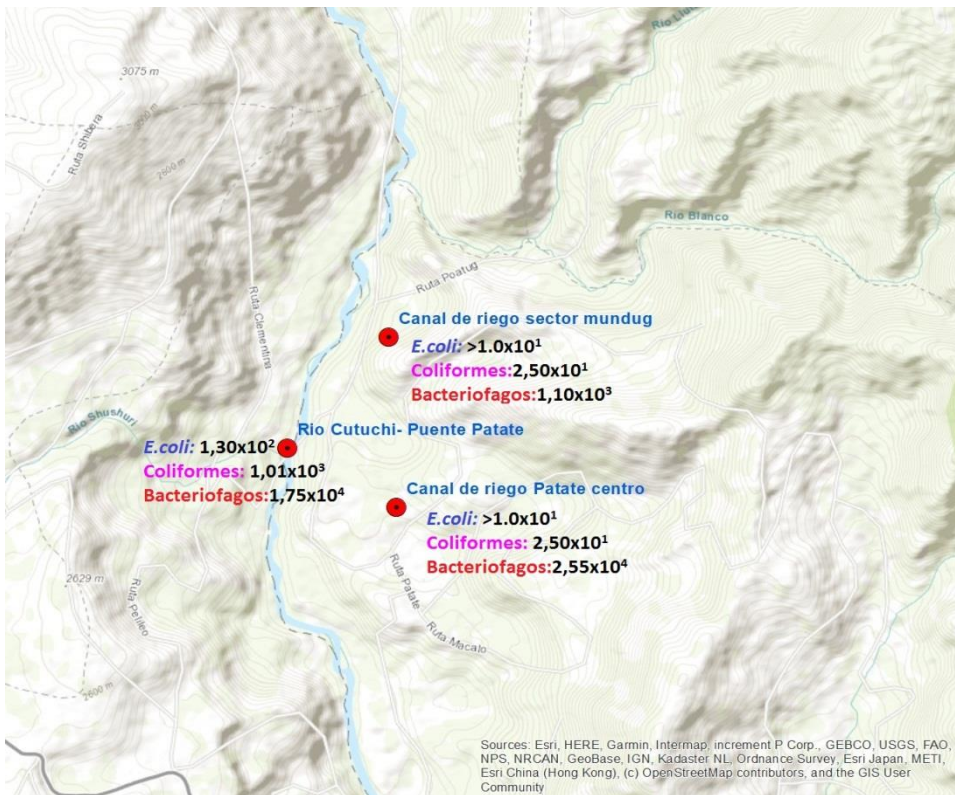
Anexo 1.- Gráfico de los puntos de muestreo de la provincia de Pichincha



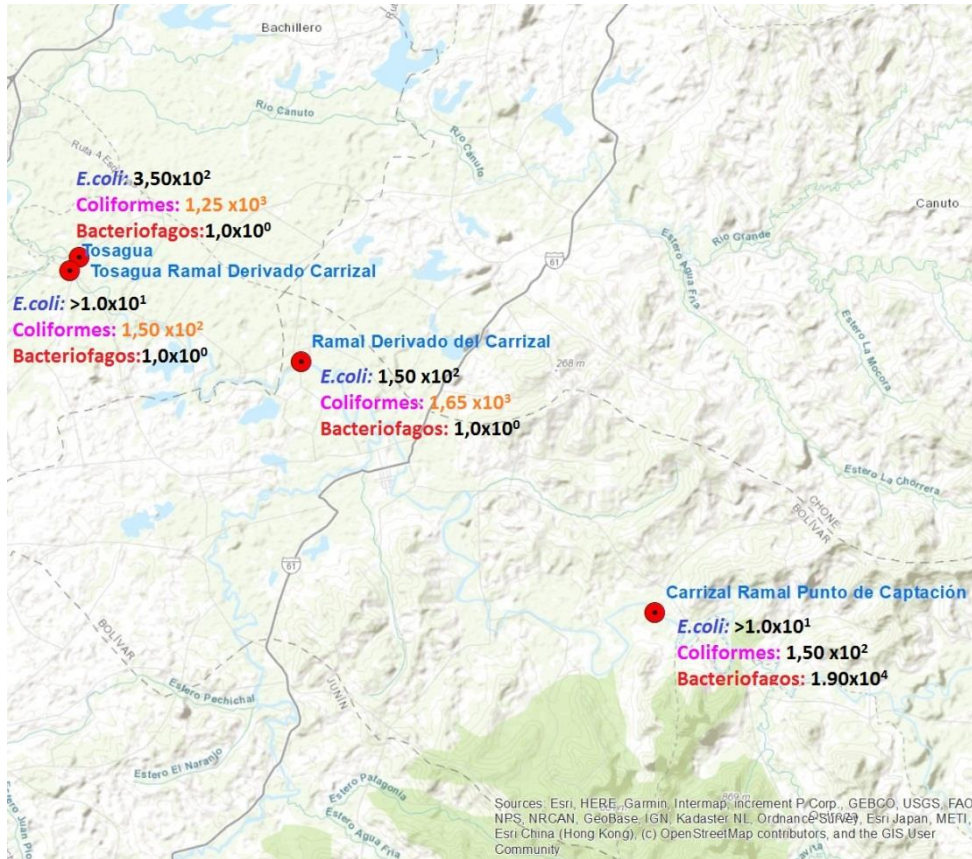
Anexo 2.- Gráfico de los puntos de muestreo de la provincia de Cotopaxi



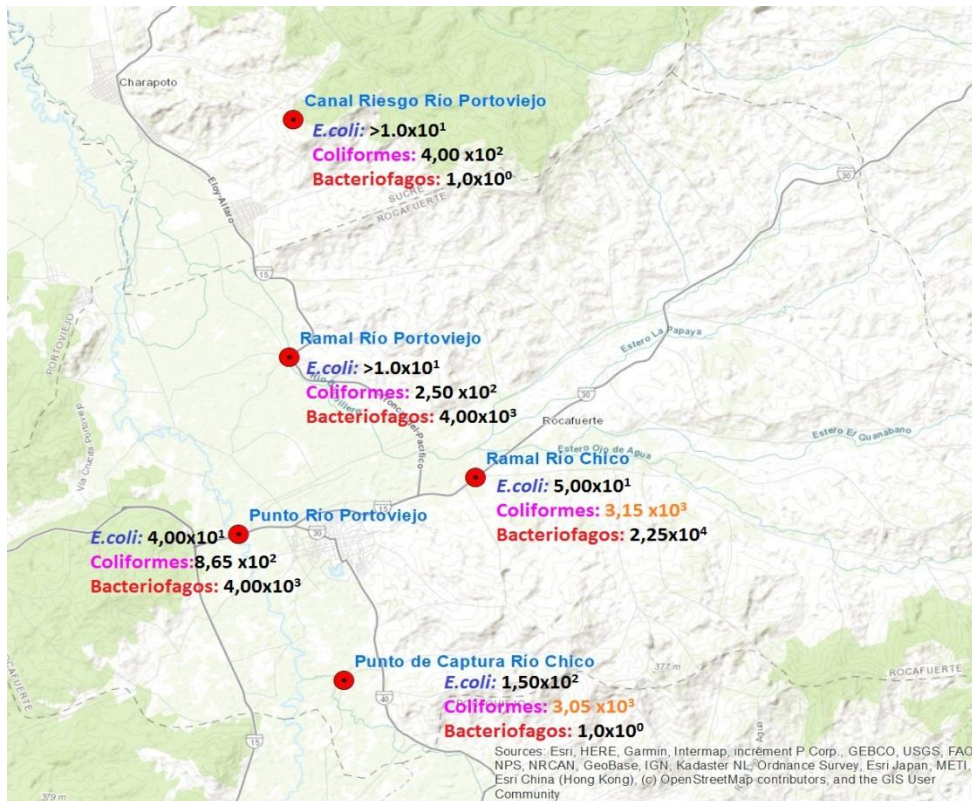
Anexo 3.- Gráfico de los puntos de muestreo de la provincia de Tungurahua sector 1



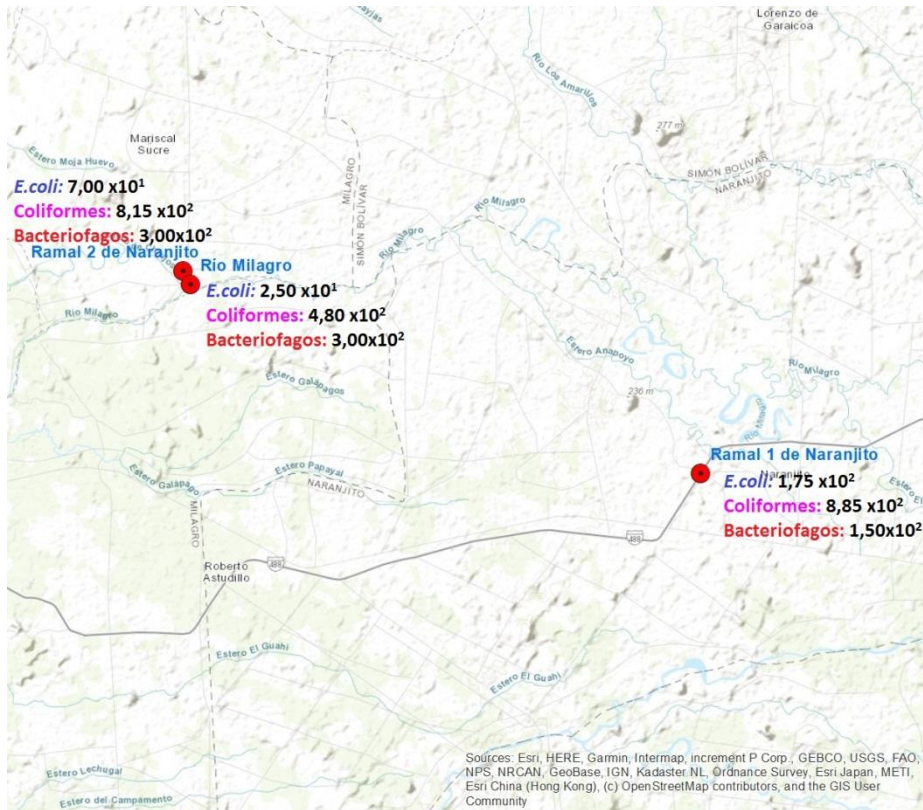
Anexo 4.- Gráfico de los puntos de muestreo de la provincia de Tungurahua sector 2



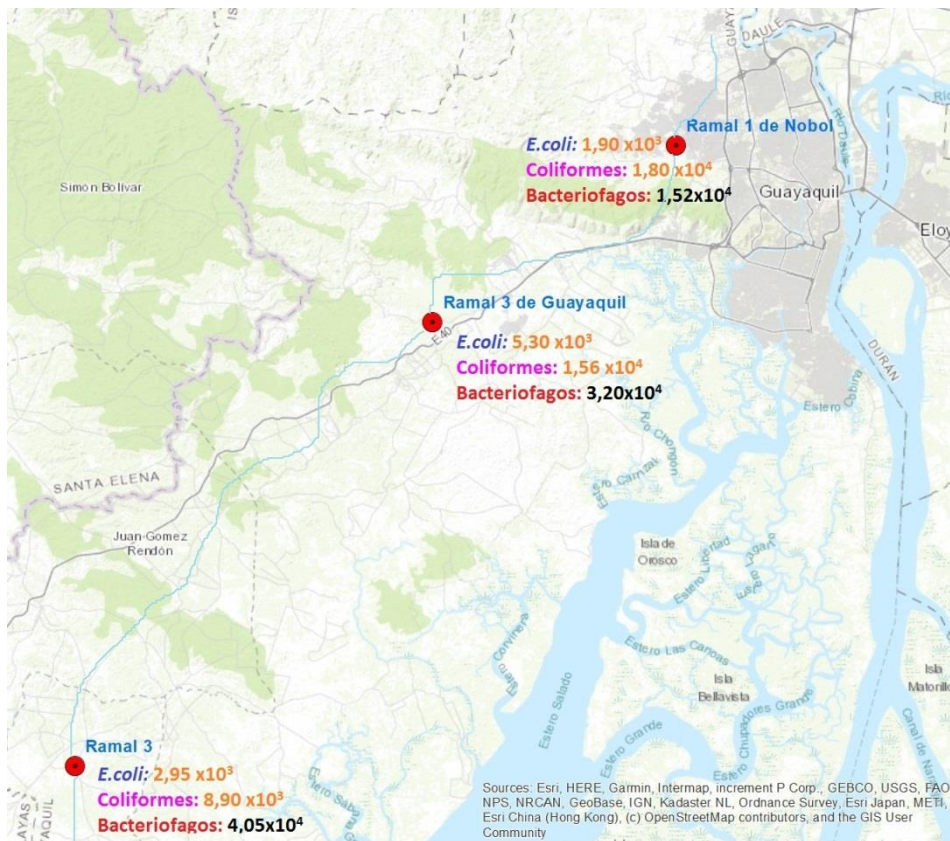
Anexo 5.- Gráfico de los puntos de muestreo de la provincia de Manabí sector 1



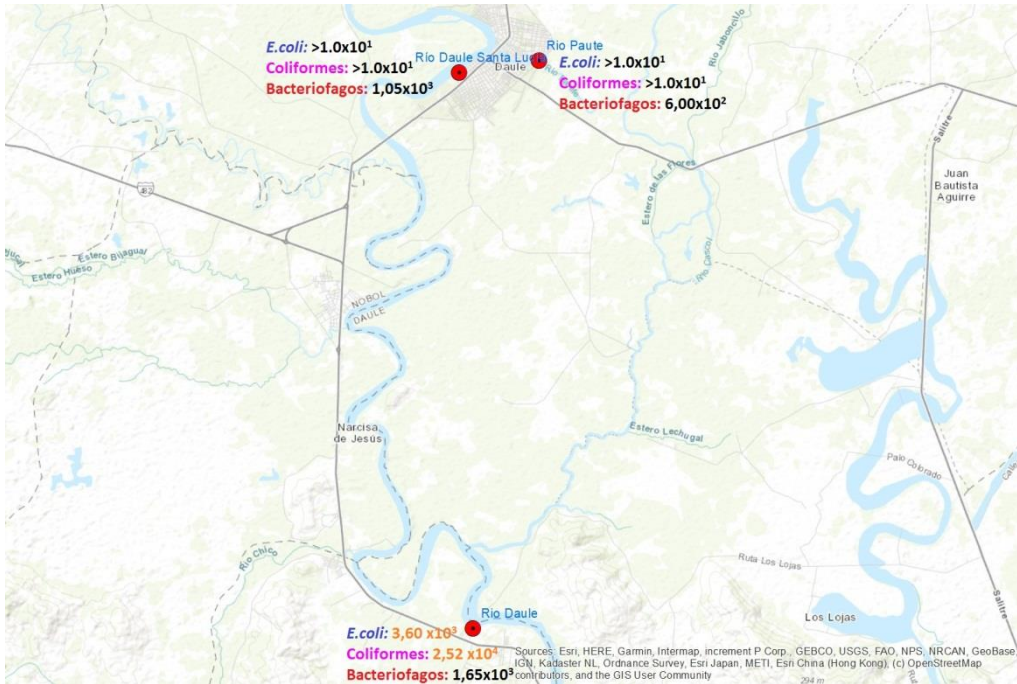
Anexo 6.- Gráfico de los puntos de muestreo de la provincia de Manabí sector 2



Anexo 9.- Gráfico de los puntos de muestreo de la provincia de Guayas sector 2

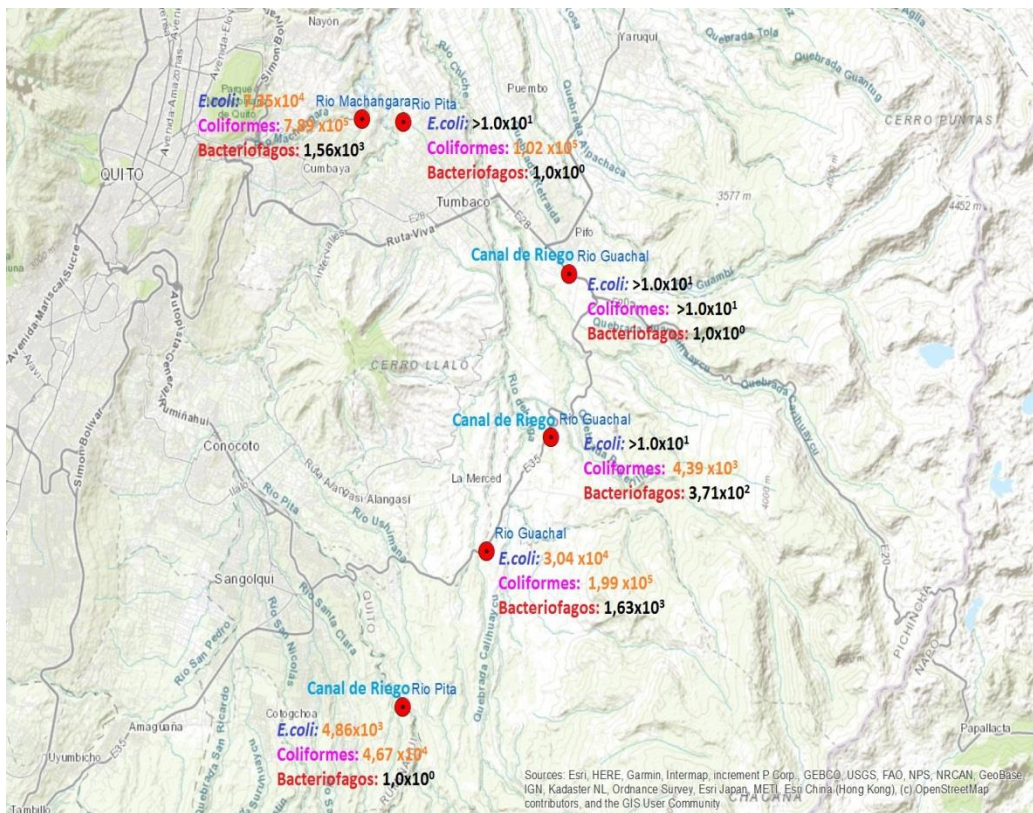


Anexo 10.- Gráfico de los puntos de muestreo de la provincia de Guayas sector 3

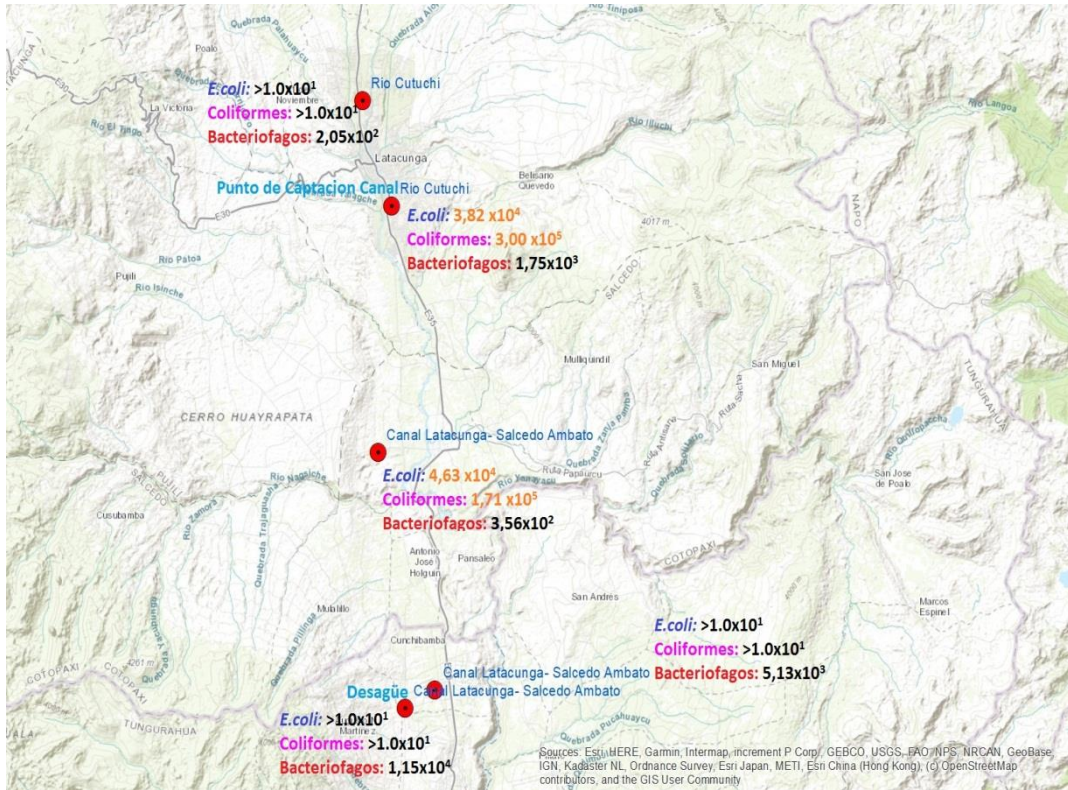


Anexo 11.- Gráfico de los puntos de muestreo de la provincia de Guayas sector 4

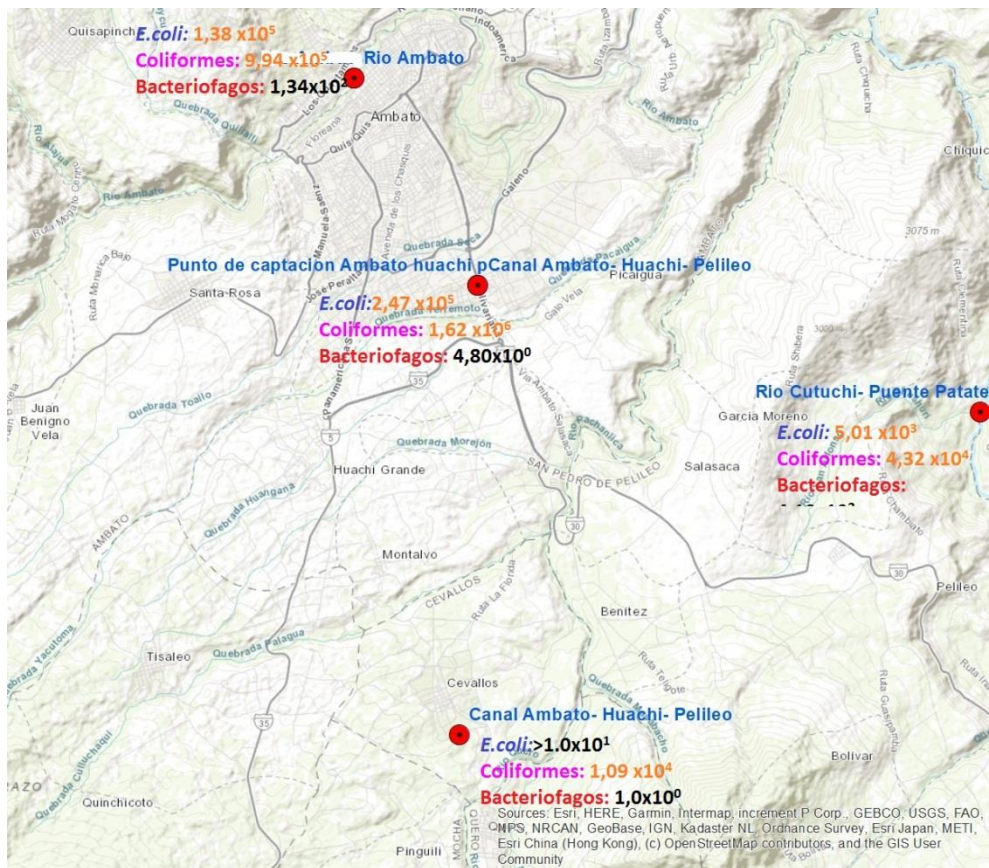
Sedimentos



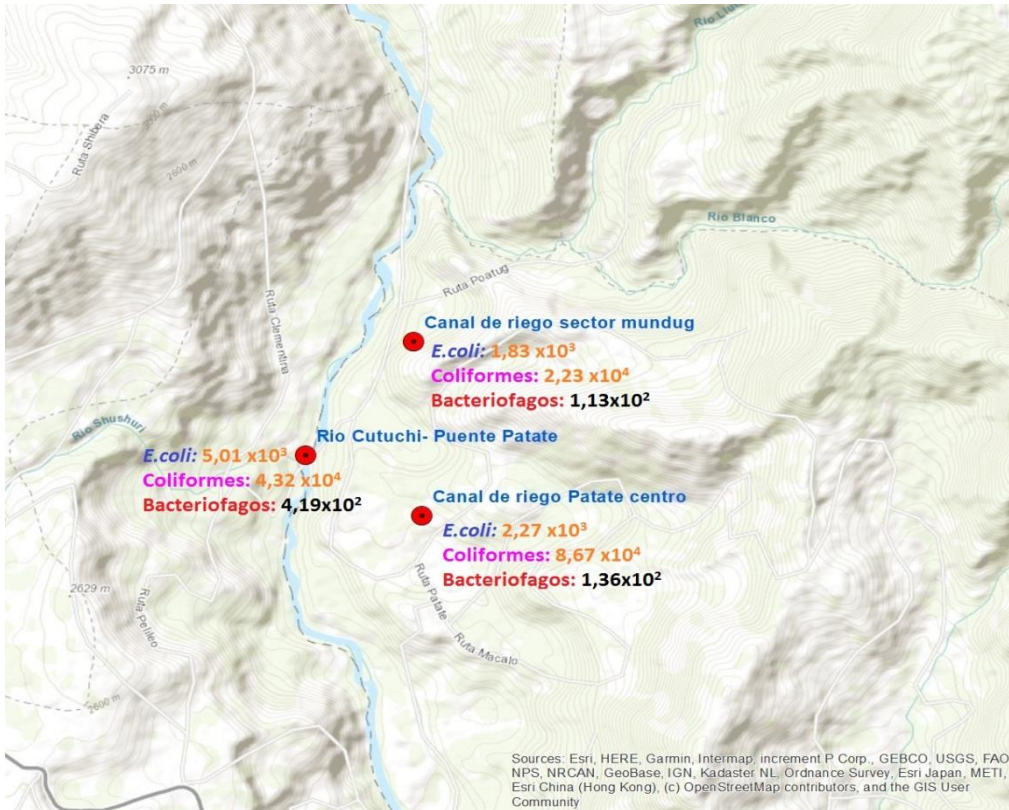
Anexo 12.- Gráfico de los puntos de muestreo de la provincia de Pichincha



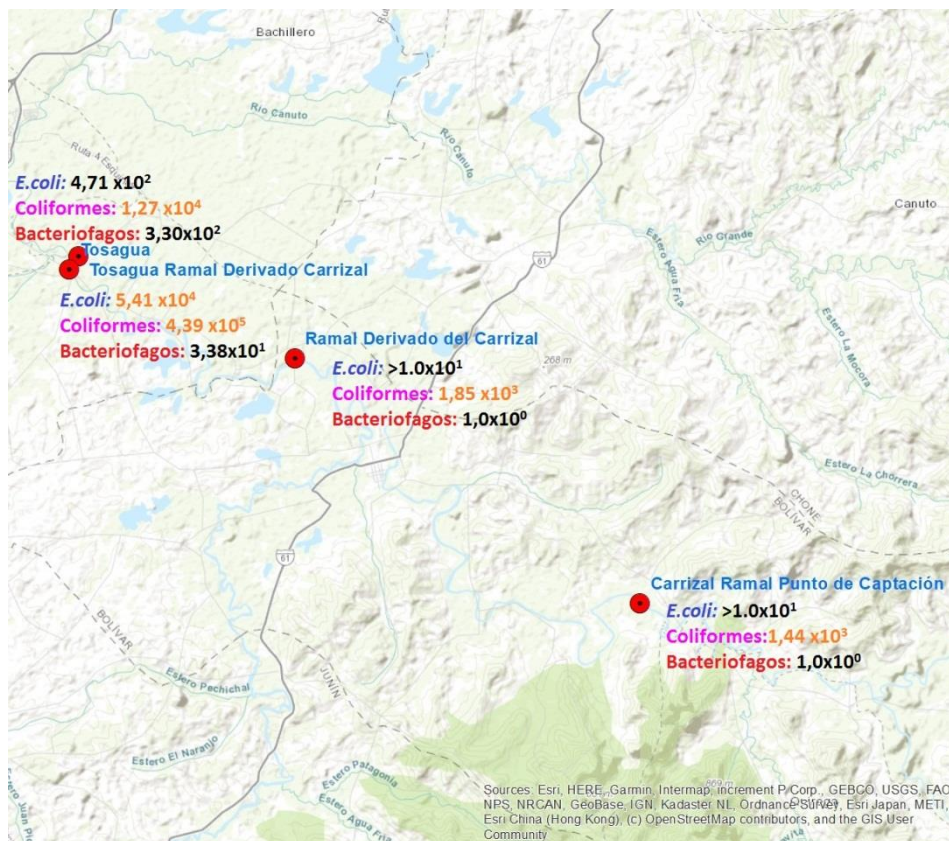
Anexo 13.- Gráfico de los puntos de muestreo de la provincia de Cotopaxi



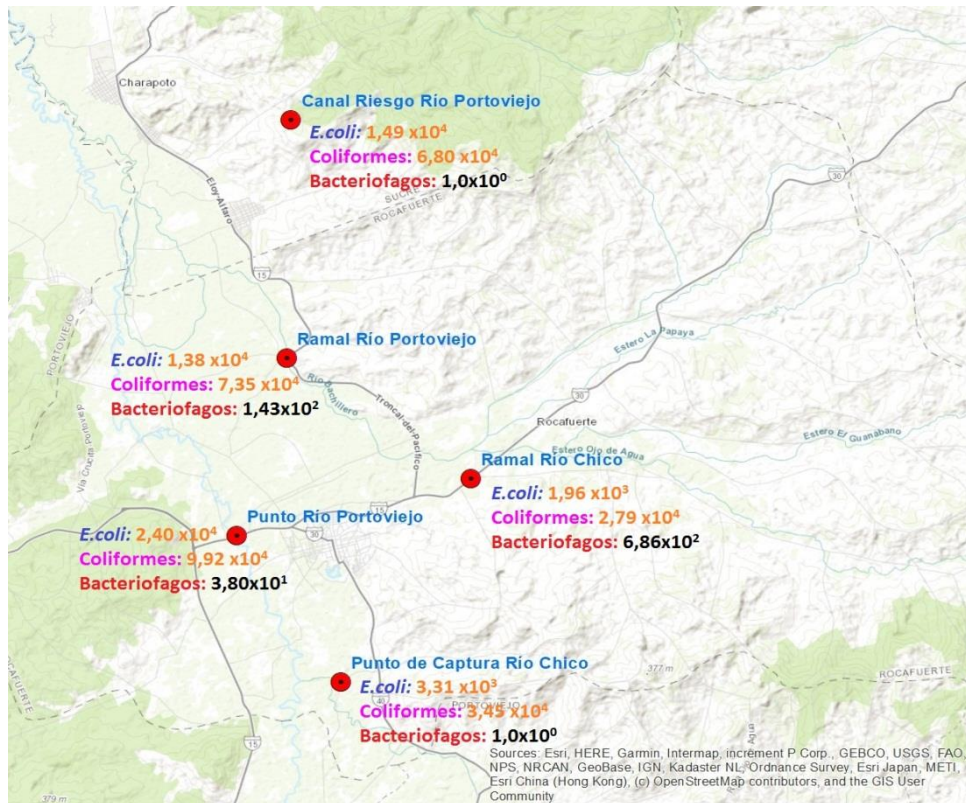
Anexo 14.- Gráfico de los puntos de muestreo de la provincia de Tungurahua sector 1



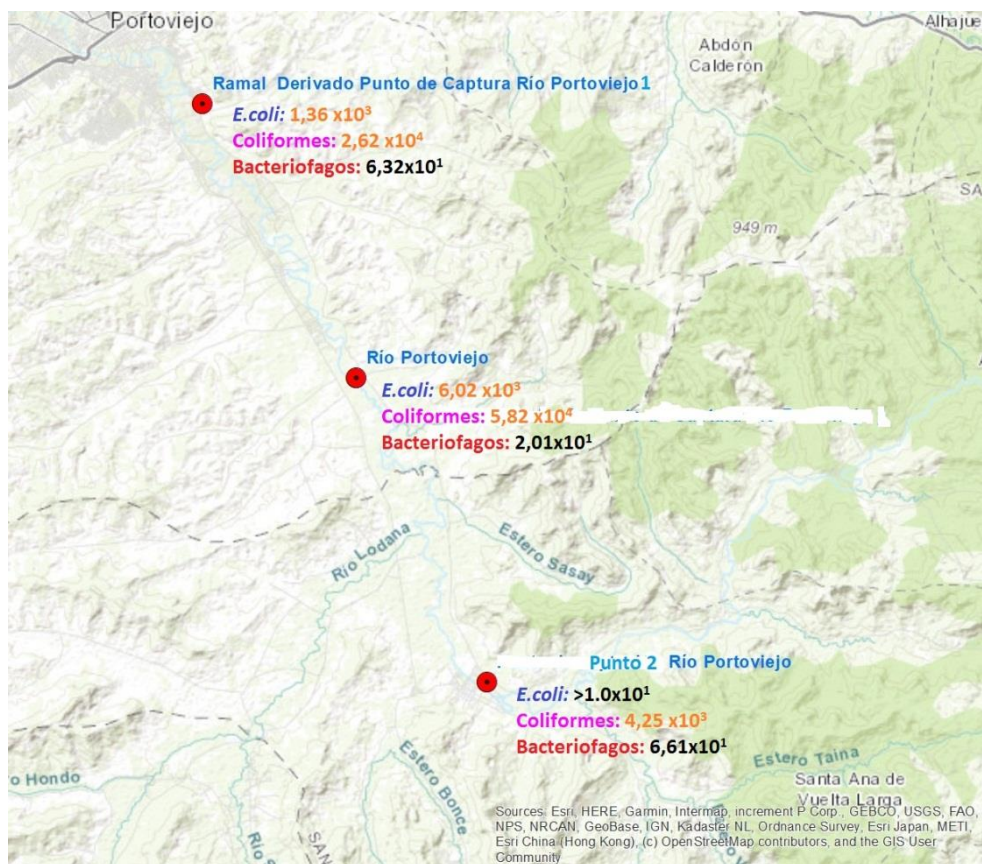
Anexo 15.- Gráfico de los puntos de muestreo de la provincia de Tungurahua sector 2



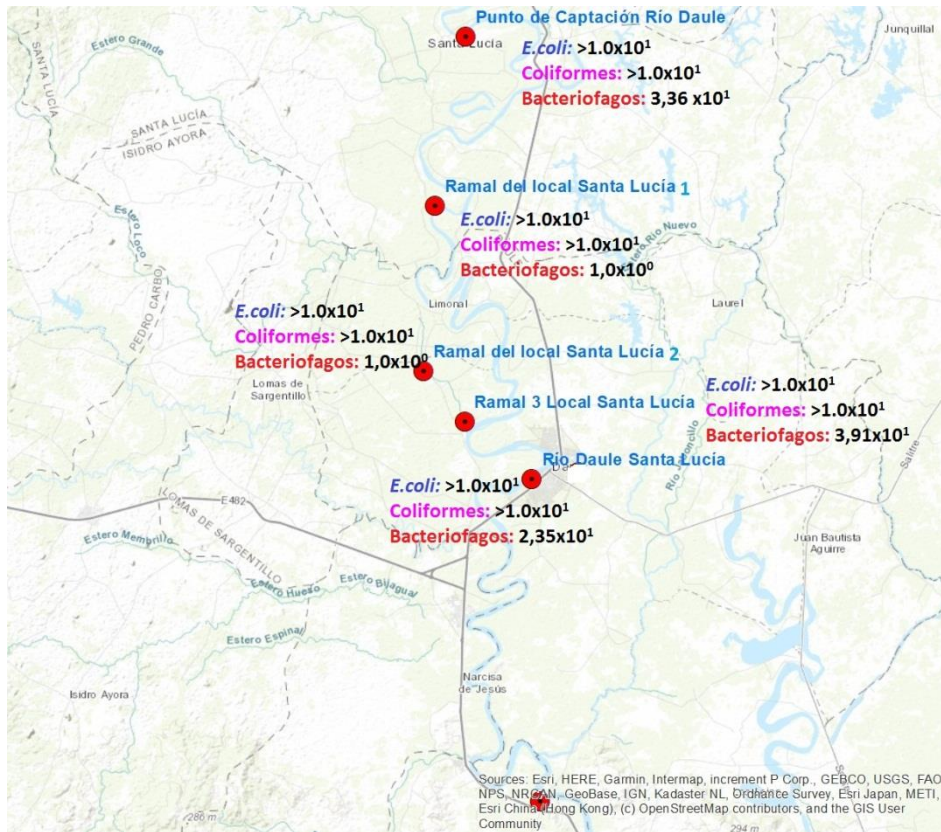
Anexo 16.- Gráfico de los puntos de muestreo de la provincia de Manabí sector 1



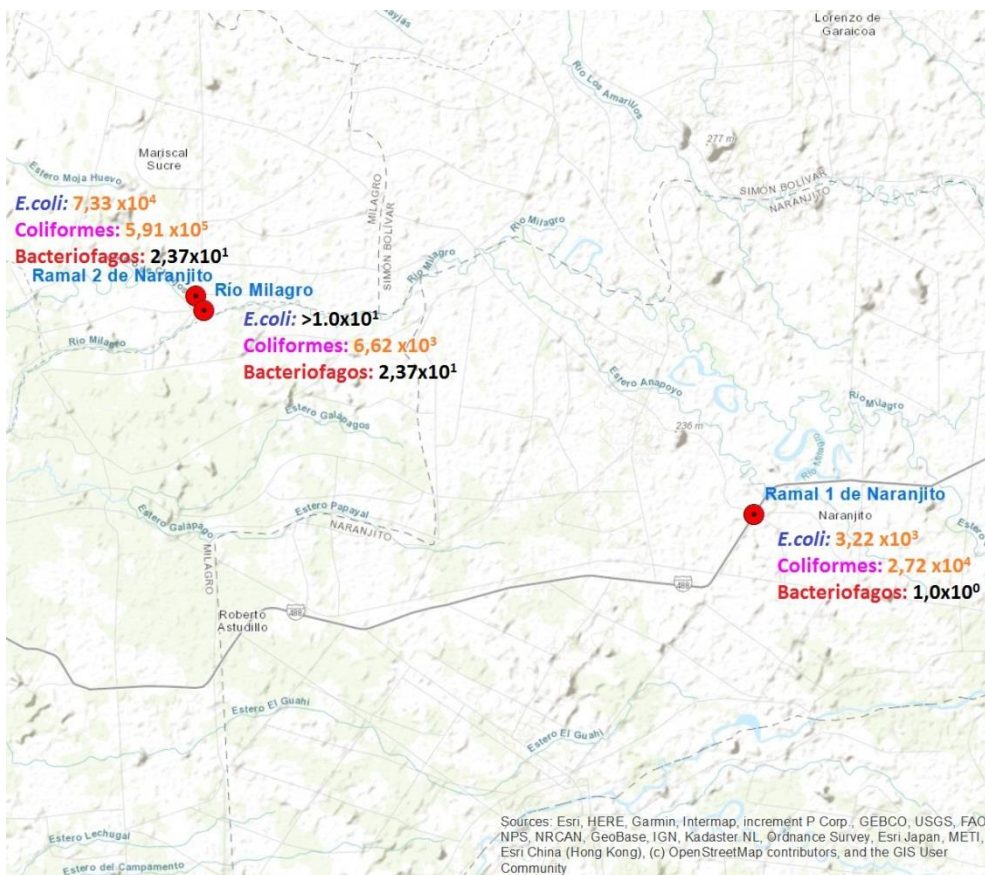
Anexo 17.- Gráfico de los puntos de muestreo de la provincia de Manabí sector 2



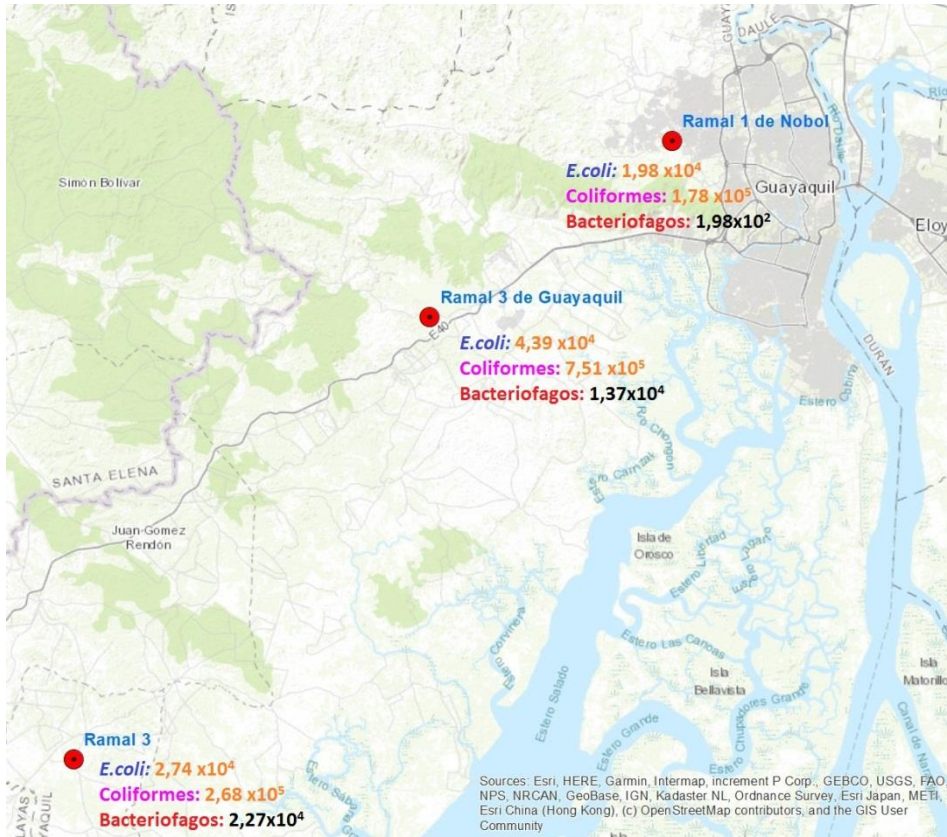
Anexo 18.- Gráfico de los puntos de muestreo de la provincia de Manabí sector 3



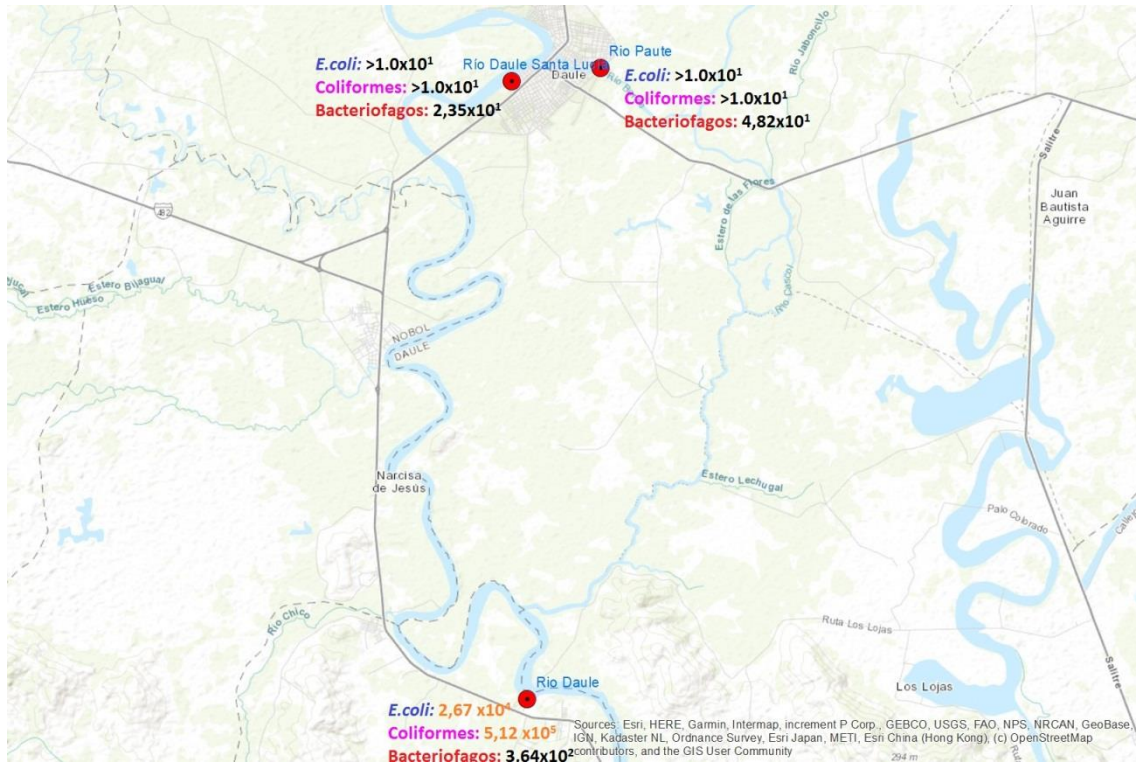
Anexo 19.- Gráfico de los puntos de muestreo de la provincia de Guayas sector 1



Anexo 20.- Gráfico de los puntos de muestreo de la provincia de Guayas sector 2



Anexo 21.- Gráfico de los puntos de muestreo de la provincia de Guayas sector 3



Anexo 22.- Gráfico de los puntos de muestreo de la provincia de Guayas sector 4

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Anexo 23.- Análisis de varianza completamente al azar

Canales de riego

Completely Randomized AOV for *E.coli* No Resistentes

Source	DF	SS	MS	F	P
TIPO	1	17.293	17.2929	5.58	0.0222
Error	49	151.784	3.0976		
Total	50	169.077			

Completely Randomized AOV for Coliformes No Resistentes

Source	DF	SS	MS	F	P
TIPO	1	11.940	11.9402	3.60	0.0538
Error	49	162.657	3.3195		
Total	50	174.598			

Completely Randomized AOV for *E.coli* Resistente

Source	DF	SS	MS	F	P
TIPO	1	6.1516	6.15162	3.86	0.0552
Error	49	78.1520	1.59494		
Total	50	84.3036			

Completely Randomized AOV for Coliformes Resistente

Source	DF	SS	MS	F	P
TIPO	1	23.102	23.1015	8.54	0.0053
Error	49	132.615	2.7064		
Total	50	155.716			

Completely Randomized AOV for Bacteriófagos

Source	DF	SS	MS	F	P
TIPO	1	17.477	17.4774	7.15	0.0102
Error	49	119.815	2.4452		
Total	50	137.292			

Ríos

Completely Randomized AOV for *E.coli* No Resistente

Source	DF	SS	MS	F	P
TIPO	1	1.2963	1.29632	0.42	0.5208
Error	32	98.3857	3.07455		
Total	33	99.6820			

Completely Randomized AOV for Coliformes No Resistentes

Source	DF	SS	MS	F	P
TIPO	1	8.326	8.32566	2.39	0.1319
Error	32	111.459	3.48310		
Total	33	119.785			

Completely Randomized AOV for *E.coli* Resistente

Source	DF	SS	MS	F	P
TIPO	1	4.9271	4.92707	2.53	0.1217
Error	32	62.3705	1.94908		
Total	33	67.2976			

Completely Randomized AOV for Coliformes Resistentes

Source	DF	SS	MS	F	P
TIPO	1	4.470	4.47031	1.37	0.2499
Error	32	104.179	3.25561		
Total	33	108.650			

Completely Randomized AOV for Bacteriófagos

Source	DF	SS	MS	F	P
TIPO	1	5.1882	5.18815	2.92	0.1972
Error	32	56.8692	1.77716		
Total	33	62.0574			

Ríos y canales de riego.

Factorial AOV Table for *E.coli* No Resistente

Source	DF	SS	MS	F	P
Provincia	5	5.1564	1.03128	0.60	0.6988
Tipo	1	1.7934	1.79338	1.05	0.3132
Error	36	61.6959	1.71378		
Total	42				

Note: SS are marginal (type III) sums of squares

Grand Mean 1.6039
CV 81.62

Factorial AOV Table for Coliformes No Resistentes

Source	DF	SS	MS	F	P
Provincia	5	8.5405	1.70811	1.05	0.4053
Tipo	1	0.0472	0.04719	0.03	0.8659
Error	36	58.7110	1.63086		
Total	42				

Note: SS are marginal (type III) sums of squares

Grand Mean 2.6860
CV 47.54

Factorial AOV Table for *E.coli* Resistente

Source	DF	SS	MS	F	P
Provincia	5	4.2095	0.84189	1.44	0.2326
Tipo	1	0.7379	0.73792	1.27	0.2681
Error	36	20.9997	0.58332		
Total	42				

Note: SS are marginal (type III) sums of squares

Grand Mean 0.4995
CV 152.91

Factorial AOV Table for Coliformes Resistentes

Source	DF	SS	MS	F	P
Provincia	5	8.4161	1.68321	1.42	0.2403
Tipo	1	3.7233	3.72329	3.14	0.0847
Error	36	42.6519	1.18477		
Total	42				

Note: SS are marginal (type III) sums of squares

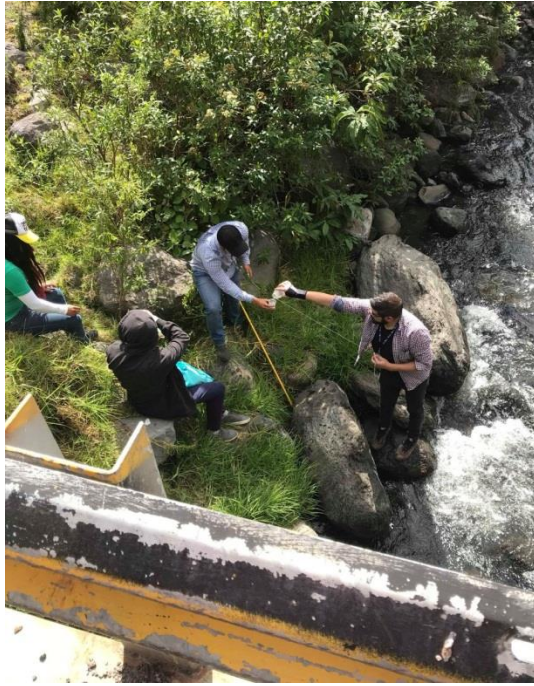
Grand Mean 0.9208
CV 118.20

Factorial AOV Table for Bacteriófagos

Source	DF	SS	MS	F	P
Provincia	5	10.6025	2.12050	0.79	0.5659
Tipo	1	0.1136	0.11363	0.04	0.8384
Error	36	96.9916	2.69421		
Total	42				

Note: SS are marginal (type III) sums of squares

Grand Mean 2.7793
CV 59.06



Anexo 24: Muestreo de la provincia de Pichincha



Anexo 25: Muestreo de la provincia de Cotopaxi



Anexo 26: Muestreo de la provincia de Tungurahua



Anexo 27: Muestreo del desagüe canal Latacunga-Salcedo-Ambato sector
Cunchibamba



Anexo 28: Muestreo de la provincia de Manabí



Anexo 29: Muestreo de la provincia del Guayas