



UNIVERSIDAD DE CUENCA

**Facultad de Ciencias Químicas
Carrera de Bioquímica y Farmacia**

**Correlación de indicadores de contaminación fecal en los cuerpos superficiales:
Caso de estudio: Ríos de la ciudad de Cuenca.**

Trabajo de titulación previa a la obtención del título de
Bioquímico Farmacéutico

AUTORAS:

Miriam Carolina Loja Sari

C.I. 01065218752

Correo electrónico: carolina.sari30@gmail.com

Andrea Janeth Palta Vera

C.I. 0106665631

Correo electrónico: anshy-p-91@hotmail.com

DIRECTORA:

Dra. Gladys Guillermina Pauta Calle M.Sc.

C.I. 0300691045

ASESORA:

Dra. Diana Ligia de Lourdes Astudillo Neira M.Sc

C.I. 0101813255

Cuenca – Ecuador

23 -01 -2020



RESUMEN

Una alternativa para realizar un control fiable de la calidad microbiológica del agua de los ríos, es el uso de indicadores de contaminación fecal, tales como los coliformes totales, fecales, estreptococos fecales y enterococos. Estos microorganismos se encuentran formando parte de la microbiota del tracto gastrointestinal del hombre y de los animales de sangre caliente que son excretados a través de las heces. En esta investigación se realizó el estudio de la calidad microbiológica de los ríos de la ciudad de Cuenca, empleando los indicadores mencionados y cubriendo períodos hidrológicos representativos: caudal alto, medio y bajo. Se realizaron 12 campañas de monitoreo, con un total de 78 muestras puntuales y en estaciones específicas en cada río. Para todos los indicadores se utilizó la técnica de los Tubos Múltiples cuyo resultado se reportan como NMP/100ml. Los resultados indican que los estreptococos fecales y los enterococos se desempeñan como indicadores satisfactorios de contaminación fecal; pues son muy sensibles a cambios de la calidad, aportan información al momento de definir los usos del agua y presentan ventajas respecto a los indicadores tradicionales: coliformes totales y fecales, por lo que muestran la extensión real de la contaminación. El análisis integral de la contaminación del agua exige el uso de todos estos indicadores, sobre todo en ambientes peculiares, a la vez permite tomar medidas correctivas específicas para el control de la contaminación. Pueden utilizarse como indicadores estables de contaminación fecal; pues son muy sensibles a cambios de la calidad, aportan información al momento de definir los usos del agua y presentan algunas ventajas respecto a los indicadores tradicionales: coliformes totales y fecales, por lo que muestran la extensión real de la contaminación.

Este trabajo profundiza el conocimiento de la calidad microbiológica de los ríos de Cuenca y forma parte de las investigaciones que se derivan del proyecto “Manejo Integral de la Calidad del Agua”

Palabras claves: Agua de ríos. Coliformes fecales. Estreptococos fecales. Enterococos.



ABSTRACT

An alternative to perform reliable control the microbiological water rivers quality control is the use of faecal contamination indicators, such as total coliforms, fecal coliforms, faecal streptococcus and enterococcus. These microorganisms are part of the microbiota of the gastrointestinal tract of man and warm-blooded animals that are excreted through feces. In this investigation the study of the microbiological quality of the rivers of the city of Cuenca were carried out, using the aforementioned indicators and covering representative hydrological periods: high, medium and low flow. In specific stations of the rivers 12 monitoring campaigns were carried out, with a total of 78 specific samples. For all indicators, the Multiple Tubes technique was used, the results of which are reported as NMP/100ml. The results indicate that faecal streptococcus and enterococcus can be used as reliable indicators of faecal contamination; They are very sensitive to changes in quality, provide information when defining water uses and present some advantages over traditional indicators: total and fecal coliforms, so they show the real extent of pollution. The comprehensive analysis of water pollution requires the use of all these indicators, especially in peculiar environments, while allowing specific corrective measures to be taken to control pollution.

This work deepens the knowledge of the microbiological quality of the rivers of Cuenca and is part of the research that derives from the project "Integral Management of Water Quality".

Keywords: River of water. Fecal coliforms. Faecal streptococcus. Enterococcus.



ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	2
ABSTRACT	3
INTRODUCCIÓN.....	14
OBJETIVOS.....	17
OBJETIVO GENERAL.....	17
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
I. MARCO TEÓRICO	18
1.1 Agua.....	18
1.2 Calidad de agua	18
1.3 Contaminación de los cuerpos de agua	19
1.4 Aguas residuales.....	20
1.5 Microorganismos presentes en el agua.....	20
1.6 Enfermedades de transmisión hídrica.....	21
1.7 Indicadores de contaminación fecal.....	22
II. METODOLOGÍA.....	25
2.1 Tipo de estudio	25
2.2 Área de estudio.....	25
2.3 Ubicación y selección de las estaciones de muestreo.....	25
2.4 Muestreo y toma de muestras	26
2.5 Materiales y equipos	26
2.6 Métodos y técnicas.....	27
2.7 Relación coliformes fecales/ estreptococos fecales	29
2.8 Identificación de resultados positivos	29
2.9 Análisis estadístico	29
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
CONCLUSIONES	45
RECOMENDACIONES.....	47
BIBLIOGRAFÍA.....	48
ANEXOS	54



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones de muestreo	26
Tabla 2. Materiales, reactivos y equipos.....	27
Tabla 3. Determinación de coliformes totales, coliformes fecales, estreptococos fecales, enterococos y relación (CF/EF), Río Tomebamba: Período de lluvia.....	31
Tabla 4. Determinación de coliformes totales, fecales, estreptococos fecales, enterococos y relación (CF/EF), Río Tomebamba: Período caudal medio	31
Tabla 5. Determinación de coliformes totales, coliformes fecales, estreptococos fecales, enterococos y relación (CF/EF), Río Tomebamba: Período estiaje.....	32
Tabla 6. Determinación de coliformes totales, coliformes fecales, estreptococos fecales, enterococos y relación (CF/EF), Río Yanuncay: Período de lluvia	32
Tabla 7. Determinación de coliformes totales, fecales, estreptococos fecales, enterococos y relación (CF/EF), Río Yanuncay: Período caudal medio	33
Tabla 8. Determinación de coliformes totales, coliformes fecales, estreptococos fecales, enterococos y relación (CF/EF), Río Yanuncay: Período de estiaje.....	33
Tabla 9. Determinación de coliformes totales, coliformes fecales, estreptococos fecales, enterococos y relación (CF/EF), Río Tarqui: Período de lluvia.....	34
Tabla 10. Determinación de coliformes totales, fecales, estreptococos fecales, enterococos y relación (CF/EF), Río Tarqui: Período de caudal medio	34
Tabla 11. Determinación de coliformes totales, coliformes fecales, estreptococos fecales, enterococos y relación (CF/EF), Río Tarqui: Período de estiaje.....	35
Tabla 12. Determinación de coliformes totales, coliformes fecales, estreptococos fecales, enterococos y relación (CF/EF), Río Machángara: Período de lluvia	35
Tabla 13. Determinación de coliformes totales, fecales, estreptococos fecales, enterococos y relación (CF/EF), Río Machángara: Período caudal medio	36
Tabla 14. Determinación de coliformes totales, fecales, estreptococos fecales, enterococos y relación (CF/EF), Río Machángara: Período de estiaje	36



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de las cuencas en estudio.....	25
Figura 2. Comparación de coliformes fecales y estreptococos fecales para el Río Tomebamba	37
Figura 3. Comparación de coliformes fecales y estreptococos fecales para el Río Yanuncay.....	38
Figura 4. Comparación de coliformes fecales y estreptococos fecales para el Río Tarqui	38
Figura 5. Comparación de coliformes fecales y estreptococos fecales para el Río Machángara.....	39
Figura 6. Coliformes totales en todos los ríos, en los tres períodos hidrológicos.....	40
Figura 7. Coliformes fecales en todos los ríos, en los tres períodos hidrológicos	40
Figura 8. Estreptococos fecales en todos los ríos, en los tres períodos hidrológicos..	41
Figura 9. Enterococos en todos los ríos, en los tres períodos hidrológicos	41
Figura 10. Relación: coliformes fecales/ estreptococos fecales en todos los ríos, en los tres períodos hidrológicos.....	42



ANEXOS

ANEXO 1. Coordenadas de las estaciones de monitoreo tomadas con GPS	54
ANEXO 2. Fotografías de la toma de muestra en los ríos de Cuenca.....	56
ANEXO 3. Esquema del procedimiento del NMP para coliformes fecales y totales ...	65
ANEXO 4. Esquema del procedimiento del NMP para estreptococos.....	66
ANEXO 5. Tabla de interpretación de resultados para NMP para 5 tubos	67



Cláusula de Propiedad Intelectual

Miriam Carolina Loja Sari, autora del trabajo de titulación, "**Correlación de indicadores de contaminación fecal en los cuerpos superficiales: Caso de estudio: Ríos de la ciudad de Cuenca**", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 23 de Enero de 2020

Miriam Carolina Loja Sari

C.I: 0106521875



Cláusula de Propiedad Intelectual

Andrea Janeth Palta Vera, autora del trabajo de titulación **“Correlación de indicadores de contaminación fecal en los cuerpos superficiales: Caso de estudio: Ríos de la ciudad de Cuenca”**, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 23 de Enero de 2020

Andrea Janeth Palta Vera

C.I: 0106665631



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio
Institucional

Miriam Carolina Loja Sari en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación **“Correlación de indicadores de contaminación fecal en los cuerpos superficiales: Caso de estudio: Ríos de la ciudad de Cuenca”**, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 23 de Enero de 2020

Miriam Carolina Loja Sari

0106521875



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio
Institucional

Andrea Janeth Palta Vera en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación **“Correlación de indicadores de contaminación fecal en los cuerpos superficiales: Caso de estudio: Ríos de la ciudad de Cuenca”**, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 23 de Enero de 2020

Andrea Janeth Palta Vera

0106665631



DEDICATORIA

A Dios por ser mi guía y sabiduría para seguir adelante y culminar mis estudios.

Quiero dedicar esta tesis de manera muy especial a mis padres Segundo Palta y Juanita Vera quienes han sabido inculcarme buenos valores, por el esfuerzo, apoyo, comprensión y consejos durante el transcurso de mi vida Universitaria. De igual manera a mis hermanos Mónica, Jessica y Pedro que siempre han estado junto a mí, brindándome su apoyo incondicional.

Andrea.

Se la dedico a Dios por ser mi creador y me ha permitido vivir, a mi madre que ha sido mi pilar y la que ha guiado mi camino porque con sacrificio y mucho esfuerzo me ha apoyado para instruirme como una persona útil. Quiero también mencionar a mis hermanos Ignacio y Josué, que durante este largo trayecto de estudios me han acompañado y me han sabido dar ánimos y seguir adelante. Y mi mamita Julia que siempre ha estado presente con sus sabios consejos y experiencias.

Carolina.



AGRADECIMIENTO

Primero agradecemos a Dios por darnos sabiduría y guiar nuestro camino para alcanzar una meta más en nuestras vidas. De igual manera queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a la Dra. Guillermina Pauta Calle, persona que se encargó de dirigir esta tesis, nos dedicó el tiempo necesario y nos apoyó incondicionalmente en cada momento; sus conocimientos fueron de gran ayuda y por eso nuestro más sincero agradecimiento.

Luego nuestros agradecimientos a todos nuestros profesores que han sabido guiarnos y darnos sus conocimientos para nuestra formación académica.

También damos un agradecimiento a la Dra. Gabriela Vásquez y a la Dra. Andrea Abril encargadas del Laboratorio de Sanitaria de la Facultad de Ingeniería por su guía y el tiempo empleado para la culminación del presente estudio.



INTRODUCCIÓN

La ciudad de Cuenca está localizada en la región centro sur del país y está atravesada por cuatro ríos: el Tomebamba, Yanuncay, Tarqui y Machángara, los cuales son de mucho interés para sus habitantes ya que constituyen las fuentes hídricas para el suministro doméstico, industrial, riego y para la generación de energía eléctrica.

Hoy en día los cuerpos superficiales se encuentran contaminados con desechos químicos, industriales y domésticos que son vertidos a los ecosistemas acuáticos sin un tratamiento previo (Larrea & Rojas, 2013). La carga contaminante de los desechos domésticos está constituida fundamentalmente por materia orgánica y microorganismos de origen fecal (Arcos, Msc Ávila de Navia, & Msc Estupiñan, 2005); las aguas residuales al no ser tratadas adecuadamente constituyen la causa principal de contaminación microbiológica lo que representa un grave problema de salud pública, ya que el agua constituye un factor importante en la transmisión de enfermedades hídricas como fiebre tifoidea, gastroenteritis, cólera, salmonelosis y disentería afectando a grupos vulnerables tales como: niños, ancianos y personas inmunosuprimidas (Vásquez, 2017).

Para definir la calidad microbiológica es importante la apropiada selección de los organismos indicadores de contaminación fecal; tradicionalmente los más usados han sido las bacterias coliformes totales, termorresistentes y *Escherichia coli* (*E. coli*) (como auténtico de origen fecal) y son los indicadores de control establecidos en la normativa del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria Medio Ambiente (TULSMA) para los distintos usos del agua; sin embargo se conoce que existen algunas limitaciones respecto a su uso; por ejemplo algunas bacterias coliformes y *E. coli* mueren en aguas templadas, debido a factores como la temperatura, la disponibilidad de nutrientes y la depredación por protozoos, en este caso el agua no les representa un medio para su reproducción; pero en aguas tropicales las condiciones de temperatura, radiación solar, elevadas concentraciones de nutrientes y la gran diversidad de la comunidad microbiana hace que el ambiente en los trópicos sea diferente comparado con los de las regiones templadas, por lo que se sospecha que los indicadores fecales clásicos proliferan en aguas tropicales y que son detectados a niveles que no reflejan la extensión original de la contaminación fecal o aún peor, se vuelven autóctonos de estos ecosistemas acuáticos pudiendo ser aislados en ausencia de una fuente fecal conocida (Larrea, et al Rojas, 2012).



Por lo mencionado es necesario el uso de indicadores de contaminación fecal más específicos, que presenten un comportamiento semejante en diferentes ambientes y con mayor tiempo de sobrevivencia que permitan identificar contaminaciones pasadas; estos requisitos pueden ser solventados en parte mediante el uso de estreptococos fecales y los enterococos; las posibles relaciones entre sus magnitudes con las de los indicadores tradicionales como coliformes totales y los coliformes fecales, aportarán a una interpretación más juiciosa del nivel de polución de los ríos mencionados. Los enterococos son importantes en situaciones donde existe contaminación fecal y no se detectan coliformes, o cuando las descargas son intermitentes o antiguas, de tal manera que mueren los coliformes fecales y *E. coli*, en tanto que los enterococos pueden sobrevivir (Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua., s. f.). Por otro lado los coliformes tienen una capacidad de reproducción muy alta, una vez recolectada la muestra su magnitud puede incrementar hasta niveles que no representan la contaminación original de la muestra.

La relación existente entre coliformes fecales y estreptococos fecales es empleada como un indicador de la naturaleza de la fuente fecal (humano o animal) (Glynn & Gary, 1999); sin embargo es necesario tener en cuenta las diferencias de los rangos de muerte en el ambiente entre estos dos indicadores (Suárez, 2002). Utilizar indicadores diferentes a los tradicionales (coliformes totales, coliformes fecales y *E. coli*,) es necesario debido a sus limitaciones para representar la contaminación en todos los ambientes, aunque es muy claro que no existe un indicador ideal. Finalmente, el género Enterococos en 1986 fue recomendado por la USEPA (Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos) como indicador de contaminación fecal; los trabajos reportados que abordan la relación entre indicadores, son escasos (Larrea & Rojas, 2013).

En la ciudad de Cuenca con el objeto de conservar la calidad de los cuerpos receptores, la Empresa Municipal de Agua Potable, Saneamiento y Telecomunicaciones ETAPA EP que tiene a su cargo el manejo y el control del recurso agua, emprendió un programa de construcción de interceptores marginales en las dos orillas de los cuatro ríos, los mismos que conducen el agua residual doméstica e industrial hacia la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) ubicada en Ucubamba, para su depuración a través de un sistema de lagunas de oxidación.

Esta onerosa obra de saneamiento pretende que los ríos adquieran características físicas, químicas y microbiológicas compatibles con la mayor parte de los usos del



recurso; esto es: conservación del ecosistema, recreativo por contacto primario y secundario, abastecimiento de agua, riego agrícola, uso pecuario e industrial (TULSMA, 2015); sin embargo la contaminación bacteriana sobre todo en las zonas bajas de los ríos, supera en mucho el objetivo de calidad propuesto para la mayor parte de los usos (Coliformes fecales: 1000 NMP/ 100ml) (Peñañiel, 2014).

En esta investigación se estudia la calidad microbiológica de los ríos de la ciudad usando indicadores como: coliformes totales, coliformes fecales, estreptococos fecales y enterococos, en estaciones de monitoreo específicas en los ríos, que van desde tramos poco intervenidos y de baja contaminación hasta zonas de alta actividad. Los resultados permitirán definir la valía de los estreptococos y sus géneros como indicadores confiables de contaminación fecal, así como evaluar el efecto de la interceptación de las aguas residuales domésticas.



OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Establecer y comparar la magnitud de indicadores de contaminación fecal en estaciones específicas en los ríos Tomebamba, Yanuncay, Tarqui y Machángara.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el desempeño de estreptococos fecales y enterococos como indicadores de contaminación fecal.
- Comparar la magnitud de estreptococos fecales y enterococos, con los tradicionales indicadores coliformes totales y coliformes fecales, empleando para la identificación de todos los organismos la técnica de los tubos múltiples expresado como NMP/100ml.
- Evaluar el comportamiento de los indicadores en períodos hidrológicos representativos: estiaje, invierno, y en condiciones intermedias.
- Identificar el origen de la contaminación humana o animal, mediante la relación coliformes fecales / estreptococos fecales.



I. MARCO TEÓRICO

1.1 Agua

El agua es una molécula sencilla muy abundante e importante en el planeta y está compuesta por tres pequeños átomos dos de hidrógeno y uno de oxígeno, están unidos mediante enlaces covalentes muy fuertes que le confieren a la molécula gran estabilidad; en estado puro aparece como un líquido insípido, inodoro e incoloro (Carbajal & González, 2012).

El agua cubre más del 70 % de la superficie terrestre; se encuentra en océanos, lagos, ríos, en el aire y en el suelo. No existe elemento alguno que pueda sustituirla, si bien es cierto es un recurso renovable no es infinito, tiene un límite de aprovechamiento y se puede acabar si se da una explotación desmedida. Por poseer propiedades únicas lo convierten en un solvente extraordinario, un reactivo ideal en muchos procesos metabólicos; tiene una gran capacidad calorífica y se expande cuando se congela (Fernández, 2012).

El agua es esencial para sostener la vida; un suministro satisfactorio, adecuado, seguro y accesible es un derecho de todo ser humano. El agua potable no representa ningún riesgo significativo para la salud durante toda una vida de consumo, incluidas las diferentes sensibilidades que pueden ocurrir entre etapas de la vida. Las personas más vulnerables de adquirir enfermedades infecciosas por consumir agua no potable son los bebés, niños, personas que viven en condiciones insalubres, enfermos y adultos mayores (Feitelson, 2012).

A medida que el agua fluye sobre la superficie del suelo y está disponible como recurso hídrico en ríos, lagos/pantanos, aguas subterráneas y aguas costeras, acumula sustancias inorgánicas del suelo, sustancias orgánicas y microorganismos generados por las actividades humanas y los ecosistemas naturales, es decir el agua pierde calidad (Magara, s. f.).

1.2 Calidad de agua

Es un término usado para expresar la idoneidad del agua para sustentar varios usos o procesos realizados por los seres humanos, los animales y el medio ambiente. Los esfuerzos para mejorar o mantener una cierta calidad del agua a menudo comprometen exigencias de calidad y cantidad de los diferentes usuarios (Bartram & Ballance, 1996).



Los requisitos de calidad dependen de los usos que se le quiera dar, los más específicos son los requeridos para los diversos procesos industriales como: calderas, fabricación de productos farmacéuticos, aplicaciones analíticas en los laboratorios, la producción alimentaria, para regular y optimizar el funcionamiento de las plantas de tratamiento, etc (Rivera, Encina, Muñoz, & Mejias, 2004).

La calidad del agua es relevante para los diversos roles que esta cumple; tanto fuera del curso del río (uso doméstico, agrícola e industrial), como dentro de él (mantenimiento del ecosistema y recreativo); mantener la calidad de los ríos en la ciudad es importante, pues constituye un indicador de calidad ambiental, aspecto que cada día cobra más importancia en las ciudades en desarrollo (Rivera et al., 2004).

Para estimar la calidad del agua generalmente se utiliza los denominados Índices de Calidad del Agua (ICA), los cuales incluyen parámetros físicos, químicos y biológicos; incorporando como indicadores de contaminación microbiana el índice de coliformes totales y fecales expresado como NMP/100ml y el peso ponderado que se asigna a este componente es muy significativo; el ICA genera un valor entre 0 a 100 unidades de calidad y establece diferentes niveles categorías que permiten asignar al recurso diferentes usos (Pauta, 2014).

1.3 Contaminación de los cuerpos de agua

La contaminación de los ríos es una alteración de las propiedades del líquido vital que perjudica el abastecimiento del agua para el consumo humano, requiriendo para la potabilización procesos cada vez más costosos y difíciles de aplicar sobre todo a nivel rural; el hombre está relacionado directa o indirectamente con las acciones que contaminan el agua (Solís, 2008).

La contaminación de los cuerpos de agua se debe fundamentalmente al crecimiento explosivo de la población, aumento de las actividades domésticas e industriales, inadecuado manejo y control de los desechos sólidos y líquidos, afectando el valor ecológico de los cuerpos superficiales, la economía de una población y la salubridad de una comunidad. El agua contaminada vehiculiza organismos patógenos causantes de enfermedades hídricas (Marín et al., 2003).

Los ríos en la ciudad de Cuenca atraviesan áreas urbanas y por lo tanto son susceptibles de contaminación frecuente; estudios recientes demuestran niveles de contaminación microbiológicos preocupantes, sobre todo en las partes bajas (Rivera & Ochoa, 2018).



1.4 Aguas residuales

Agua residual es cualquier agua que ha sido afectada negativamente en la calidad por actividades humanas; por ejemplo, los desechos líquidos descargados por residencias domésticas, propiedades comerciales, industria y/o agricultura; pueden contener una amplia gama de contaminantes en concentraciones potenciales (GESAMP, 2001) (OEFA, 2014).

La liberación de aguas residuales constituye la principal fuente de contaminación sobre todo en el aspecto microbiológico; el planteamiento de mecanismos de eliminación de contaminantes de los ríos los cuales perjudican la salud humana y el medio ambiente, es un aspecto de constante preocupación para los organismos y entidades que tienen a su cargo el manejo y el control del recurso (GESAMP, 2001) (OEFA, 2014).

La contaminación de los ríos produce modificaciones en sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas.

Efectos físicos: olores desagradables, cambio de color y fermentación.

Efectos químicos: disminución de la concentración de oxígeno, presencia de metales pesados y químicos altamente tóxicos.

Efectos biológicos: muerte de plantas, animales y causante de enfermedades en el hombre y en los animales (Vásquez, 2017).

1.5 Microorganismos presentes en el agua

Las fuentes de agua contienen una gran diversidad de organismos; la mayoría de ellos son saprófitos es decir ayudan a los mecanismos de autodepuración, no obstante un reducido número de ellos son patógenos y transmisores de enfermedades.

Los grupos predominantes son: bacterias, algas, protozoarios flagelados, protozoos patógenos, virus, larvas de trematodos, anquilostomas, tenias y lombrices.

Las bacterias pueden estar presentes en las corrientes superficiales, en las aguas subterráneas que han atravesado la capa del subsuelo, en tanto las algas y protozoarios flagelados se encuentran en las aguas de las lluvias, aguas superficiales o aguas subterráneas transmitiendo sabor al líquido vital (Trujillo, 2007).

La población bacteriana incluye las siguientes categorías:

- Bacterias naturales del agua: son consideradas como no patógenas, las más comunes son las *Pseudomonas* que originan un pigmento soluble en el agua dando fluorescencia verde; las formas fluorescentes que sobreviven en los



procesos de purificación ocasionan sabores extraños. La presencia de *Pseudomonas aeruginosa* está relacionada con trastornos entéricos de origen hídrico (Trujillo, 2007).

- Bacterias del suelo: se encuentran en aguas superficiales principalmente en inundaciones y en épocas de lluvia, su tiempo de vida es corto y se puede eliminar mediante la sedimentación. Las especies más comunes son las del género *Bacillus*, son productoras de esporas, grampositivas, no producen gas y las del género *Aerobacillus*, presentan esporas, gramnegativas y producen gas; este último género puede producir confusión con las bacterias coliformes al momento de realizar el análisis cuantitativo (Trujillo, 2007).
- Bacterias de origen intestinal o de aguas residuales: entre los organismos encontrados en el intestino del hombre y de los animales se encuentran: *Clostridium sporogenes*, está presente en las aguas de alcantarillado, en el polvo, la leche, en alimentos desecados, como el trigo, maíz y el suelo mientras que el estreptococo fecal se encuentra en aguas de alcantarillado, su presencia indica una contaminación reciente; (*E. coli*) que habita en el intestino del hombre y de los animales; *Salmonella paratyphi* que causa fiebre entérica transmitida por el agua (Trujillo 2007).

Además de las bacterias, es común determinar en el agua contaminada la presencia de parásitos como *Cryptosporidium spp*, *Giardia spp* y *Entamoeba histolytica*, este último genera disentería amebiana (Trujillo, 2007) (Rivera & Ochoa, 2018); en general estos organismos son muy resistentes a los mecanismos habituales de desinfección.

1.6 Enfermedades de transmisión hídrica

El consumo de agua contaminada da lugar a la propagación de enfermedades de transmisión hídrica; el brote hídrico de 1993 en Milwaukee (Estados Unidos) que afectó a más de 400.000 habitantes por *Cryptosporidium* (Galvañ & Beneyto, 2009), y los reportes de la OMS indican que cada año se presenta 4'000.000.000 por diarrea en el mundo de los cuales 1'800.000 personas mueren, constituyen cifras de preocupación. Los más afectados son niños menores de 5 años, adultos mayores e inmunodeficientes (Medina, 2014).

El agua destinada para consumo, preparación de alimentos e higiene personal no debe contener microorganismos patógenos. Entre los principales causantes de brotes hídricos se encuentran las bacterias como: *Shigella*, *Salmonella*, *E. coli*, *Yersinia*,



Aeromonas, virus de la hepatitis A y protozoos como *Cryptosporidium* (Galvañ & Beneyto, 2009). Las enfermedades hídricas más frecuentes son la gastroenteritis, hepatitis A, cólera y fiebre tifoidea.

1.7 Indicadores de contaminación fecal

Se denomina microorganismos indicadores de contaminación aquellos provenientes del tracto gastrointestinal del hombre y de los animales cuya capacidad de sobrevivir y reproducirse en el agua es restringida debido a que presentan estrés fisiológico (Arcos et al., 2005).

La adecuada evaluación de la calidad microbiológica del agua se basa en la identificación y cuantificación de los microorganismos patógenos; no obstante las técnicas analíticas, los períodos para obtener los resultados y otros aspectos, hace que estos ensayos no sean los indicados para llevar adelante un control sistemático de la calidad del agua; por esta razón se recurre al uso de organismos indicadores los cuales se comportan de forma similar a los patógenos en cuanto a su reacción frente a las condiciones ambientales, tienen el mismo origen pero son más numerosos que los patógenos y más fáciles de identificar (Méndez et al., 2010). Los organismos utilizados como indicadores de contaminación fecal deben presentar los siguientes requisitos:

- ✓ Ser un constituyente normal de la flora intestinal de individuos sanos.
- ✓ Encontrarse de manera exclusiva en las heces de animales homeotérmicos.
- ✓ Cuando haya un microorganismo patógeno intestinal también debe estar presente.
- ✓ Deben ser fáciles de aislar, identificar y cuantificar al encontrarse en número elevado.
- ✓ Incapacidad para reproducirse fuera del intestino de los animales homeotérmicos.
- ✓ Deben sobrevivir en un tiempo igual o un poco superior al de las bacterias patógenas (su resistencia a los factores ambientales debe ser igual o superior al de los patógenos de origen fecal).
- ✓ No debe ser patógeno.
- ✓ Debe presentar una mayor resistencia que los patógenos a los agentes desinfectantes como el cloro (Méndez et al., 2010).

No existe hasta el momento un microorganismo que pueda considerarse ideal, no obstante, los de uso frecuente en evaluaciones de calidad de agua son las bacterias:



coliformes totales, coliformes fecales, *E. coli* y enterococos, las cuales también son útiles para valorar la calidad de los alimentos y sedimentos (Larrea & Rojas, 2013).

Coliformes totales: Son bacilos cortos, gramnegativos, no esporulados, anaerobios facultativos, oxidasa negativa, capaces de desarrollarse en presencia de sales biliares, fermentadoras de lactosa a 35°C, en menos de 48h, producen ácido y gas, tienen actividad enzimática β -galactosidasa (Carrillo & Lozano, 2008).

Incluye los géneros: *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella* y *Citrobacter*. La presencia de coliformes totales se considera un indicio de contaminación fecal, porque además de encontrarse en el tracto gastrointestinal de los humanos y animales, muchos de ellos pueden vivir e incluso crecer en el suelo, el agua y otros ambientes (Fundación Nacional de Salud, 2013).

Coliformes fecales (termotolerantes): Son bacterias gramnegativas aerobias o anaerobias facultativos, que fermentan la lactosa con producción de gas al incubarse a 44.5°C en 24-48h, son consideradas como el indicador más adecuado de contaminación de heces de humanos y animales al estar presentes en un 95% en las heces.

Se denominan termotolerantes por su capacidad de soportar temperaturas más elevadas. Están formadas por *E. coli*, algunas cepas de *Enterobacter* y ciertas especies de *Klebsiella* (Rodríguez, S. et al. 2012).

***Escherichia coli*:** Es un bacilo gramnegativo, móvil, facultativo, oxidasa negativa, reductor de nitritos, fermenta la lactosa con producción de ácido y gas a 44.5°C. Es un indicador de contaminación fecal reciente, humana o animal, que produce indol a partir de triptófano y produce β -glucuronidasa. Se transmite por vía fecal oral, la transmisión más frecuente es por agua contaminada. Se excreta diariamente con las heces (entre 10^8 - 10^9 Unidades Formadoras de Colonias (UFC)/gramo de heces), es uno de los indicadores de contaminación fecal más utilizados últimamente (Larrea & Rojas, 2009).

Estreptococos fecales: Los estreptococos fecales (o estreptococos del grupo "D" de Lancefield), son cocos grampositivos, catalasa negativa, anaerobios facultativos no formadores de esporas, miden entre 0,6 – 2,0 μ m de ancho por 0,6 – 2,5 μ m de largo, pueden encontrarse en forma de pares o cadenas cortas, la temperatura de crecimiento oscila entre 10 y 45°C cuya temperatura óptima es de 35°C (Tortora,



Funke, & Case, 2012) (Arcos et al., 2005). Actualmente se considera que los estreptococos fecales pertenecen a dos géneros: *Enterococos* y *Streptococos*.

Todos los enterococos presentan alta tolerancia a condiciones ambientales adversas (altas o bajas temperaturas, deshidratación, salinidad, luz solar, etc.). Las especies de *enterococos* más frecuentes encontradas en el agua son *Enterococos faecalis*, *Enterococos faecium* y *Enterococos durans*. Son más estables en ambientes acuáticos, suelos contaminados y son más persistentes que *E. coli* (Arcos et al., 2005).

El género *Streptococos* reúne dos especies ya existentes en la antigua clasificación: *E. bovis* y *E. equinus*, que son más abundantes en heces animales (Arcos et al., 2005).

Los *Streptococos* fecales no se multiplican en el medio ambiente, son más persistentes en ambientes acuáticos y en suelos contaminados que *E. coli*. Cuando las descargas son intermitentes o antiguas mueren los coliformes fecales y *E. coli* en tanto que permanecen los *estreptococos* (Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua., s. f.).

Enterococos: cocos Grampositivos, catalasa negativa, anaerobios facultativos no formadores de esporas ni cápsulas. La característica fisiológica más importante de este género es que crecen en presencia de 6,5% de NaCl entre 10-45°C en pH de 9,6. Son capaces de hidrolizar la esculina en presencia de 40% de bilis y poseen la enzima pyrrolidonyl arylamidasa (Suárez, 2002).

Las principales ventajas de los enterococos como indicadores de contaminación fecal son:

- ✓ Están presentes en excretas de humanos y animales de sangre caliente en grandes cantidades.
- ✓ Se consigue aislar en aguas de desechos con alto grado de contaminación.
- ✓ Son persistentes sin multiplicarse en el ambiente.
- ✓ Pueden ser utilizados para conocer el origen de la contaminación.
- ✓ Son más persistentes que coliformes totales y (*E. coli*) (Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua., s. f.)

II. METODOLOGÍA

2.1 Tipo de estudio

El estudio es de tipo observacional de carácter transversal.

2.2 Área de estudio

El programa de monitoreo se llevó a cabo en estaciones específicas de los cuatro ríos de la ciudad: Tarqui, Yanuncay, Machángara y Tomebamba (ver Figura 1), en períodos hidrológicos representativos: invierno, caudal alto (febrero), caudal medio (julio) y verano, caudal bajo (septiembre) del 2019. El proceso de identificación y cuantificación se realizó en el Laboratorio de Sanitaria de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca.

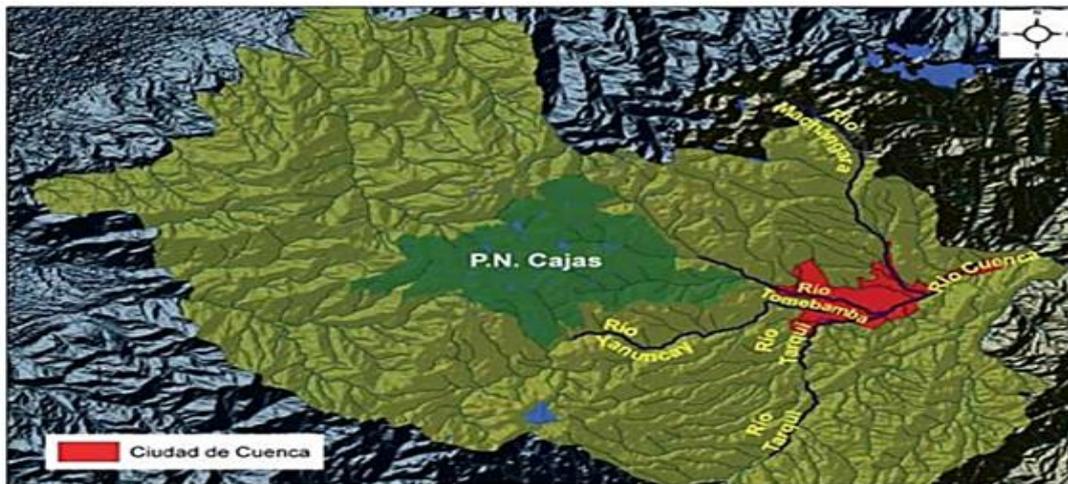


Figura 1. Ubicación geográfica de las cuencas en estudio.

Fuente: (Malo, 2014)

2.3 Ubicación y selección de las estaciones de muestreo

Para esta investigación se han establecido 7 estaciones de muestreo para los ríos Tarqui, Yanuncay y Tomebamba y para el río Machángara solamente 5; son los mismos en los cuales se han realizado investigaciones anteriores referentes a la calidad del agua. (Peñañiel, 2014) (Rivera & Ochoa, 2018). Las estaciones fueron seleccionadas mediante el Sistema de Posicionamiento Satelital (Anexo 1), ubicando cada punto de tal manera que el acceso sea rápido y seguro. Los sitios de monitoreo quedan establecidos como se expone en la Tabla 1.

**Tabla 1. Estaciones de muestreo**

D.J: después de la junta; **A.J:** antes de la junta; **PTAR:** planta de tratamiento de aguas residuales.

Río Machángara	Río Tarqui	Río Yanuncay	Río Tomebamba
1. Chiquintad	1. A.J.Irquis	1. Dispensario Barabón	1. Llaviuco
2. Ochoa León	2. D.J. Cumbe	2. Inmaculada de Barabón	2. Sayausí
3. Feria de Ganado	3. Entrada a Tarqui	3. Puente de Misicata	3. Puente El Vado
4. Parque Industrial	4. Zona Franca	4. Puente de Av. Loja	4. Empresa Eléctrica
5. Redondel González Suárez	5. D.J. Zhucay	5. Tres Puentes	5.A.J.Q Milchichig
	6. Parque Inclusivo	6. Redondel de UDA	6. Antes de PTAR
	7. A.J.Yanuncay	7. Parque Paraíso	7. Challuabamba

Fuente: Las autoras.

2.4 Muestreo y toma de muestras

Se realizaron 3 campañas de monitoreo para cada río; la primera del 04 al 25 de febrero del 2019 correspondiendo a la época de lluvia, la segunda del 24 de junio al 03 de julio en época que representa un caudal medio; y la tercera campaña se llevó a cabo del 11 al 23 de septiembre que corresponde a la época de verano, dando un total de 12 campañas de muestreo con 78 muestras puntuales.

La toma de muestras se realizó con equipos de protección (guantes y mandil); se recolectaron en frascos de vidrio estériles de 500ml, con tapa esmerilada y adecuadamente etiquetados. La muestra se captó introduciendo el frasco aproximadamente 30 cm bajo la superficie, en sentido contrario a la corriente y evitando recoger cerca de las orillas del río para obtener una muestra representativa del cuerpo de agua; es necesario dejar una cámara de aire para homogenizar la muestra antes de procesarla; las muestras fueron transportadas al laboratorio lo antes posible en un cooler con geles refrigerantes a 4°C para garantizar su estabilidad (Norma Mexicana. NMX-AA-042-SCFI-2015.2-SCFI-2015., 2015).

2.5 Materiales y equipos

Todos los requerimientos se describen en la Tabla 2.

**Tabla 2. Materiales, reactivos y equipos.**

Materiales	Reactivos	Equipos
Guantes	Agua de dilución	Balanza analítica digital Metter toledo
Mascarillas	Caldo Lauril Sulfato (MERCK)	Agitador magnético Heidolph
Vasos de precipitación	Caldo lactosa bilis verde brillante (MERCK)	Autoclave EA-632 TRIDENT
Pipetas serológicas	Caldo EC (MERCK)	Refrigerador Indurama
Cajas Petri	Caldo Azida Glucosa (ALPHA BIOSCIENCES)	Baño maría Memmert
Asas metálicas	Agar Pfizer selectivo Enterococcus (HIMEDIA)	Estufa a 35°C Memmert
Gradillas	Caldo BHI con 6.5%HCl (HIMEDIA)	Cámara de flujo laminar LABCONCO

Fuente: Las autoras.

2.6 Métodos y técnicas

- Determinación de coliformes totales.

Para la determinación de estos organismos se empleó el método de los tubos múltiples cuyo resultado se expresa en Número más Probable (NMP)/100 ml., el cual se basa en la inoculación de volúmenes decrecientes de la muestra; 10ml, 1ml, 0,1ml o menores volúmenes dependiendo del grado de contaminación de la muestra. Esta técnica se fundamenta en la capacidad que presentan estas bacterias para fermentar la lactosa con producción de gas al incubarse a $35^{\circ}\text{C}\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ durante 24 – 48 h. Esta técnica consta de dos etapas: una presuntiva y una confirmatoria.

Fase Presuntiva: el medio de cultivo usado fue el caldo lauril triptosa con púrpura de bromocresol el cual permite la recuperación de los microorganismos dañados presentes en la muestra y favorecer el aprovechamiento de la lactosa como fuente de carbono; se incubó las muestras diluidas a $35,5^{\circ}\text{C}\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ durante 24 ± 2 horas considerándose como positivos los tubos con producción de gas, turbidez y un ambiente ácido (color amarillo); los tubos que no presentan estas características se reincuban para volverlos a examinar al final de 48 ± 3 horas (véase anexo 3) (American Public Health Association, 2005).



Fase confirmatoria: de los tubos considerados positivos con un asa estéril de 3mm de diámetro, se pasó un asa completa de cultivo al tubo de fermentación que contiene el medio de lactosa bilis verde brillante dotados de campana Durham, se incubó el medio a $35,5^{\circ}\text{C}\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ durante 48 ± 3 horas; la formación de gas en el vial invertido en el medio de fermentación a las 48 ± 3 horas representó un resultado positivo en la fase confirmatoria, calculándose el valor del NMP a partir del número de tubos positivos (véase anexo 3) (American Public Health Association, 2005).

- Determinación de coliformes fecales.

De los tubos positivos del caldo lauril triptosa con púrpura de bromocresol, se transfirió una muestra con un asa estéril de 3mm de diámetro al medio EC y se incubó a $44,5^{\circ}\text{C}\pm 0,2$ durante 24 ± 2 , se consideró como reacción positiva la presencia de gas y turbidez. Para estimar la concentración de microorganismos presentes en el agua del río, se emplearon tablas con distintas combinaciones y resultados (véase anexo 4), tomando en cuenta el volumen de agua y el número de tubos sembrados. Los resultados se expresaron en Número más Probable de Coliformes por 100ml de muestra (véase anexo 3) (American Public Health Association, 2015). Estos organismos se denominan también coliformes termotolerantes.

- Determinación de Estreptococos Fecales y Enterococos

Estos organismos se identificaron por el método del número más probable; la técnica consta de dos fases:

Prueba presuntiva: para lo cual se inoculó la muestra en los tubos con caldo azida glucosa y se incubaron a $35,5^{\circ}\text{C}\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ durante 24-48 horas. Se consideraron positivos aquellos tubos que presentaron turbidez y sedimento.

Prueba confirmatoria: consiste en pasar de cada tubo positivo una muestra para siembra por estrías en placas con agar Pfizer para enterococos, incubando la placa invertida a $35,5^{\circ}\text{C}$ durante 24-48 horas. La formación de colonias pardo-negruzcas con halos marrones confirmó la presencia de estreptococos fecales; luego una muestra de cada colonia positiva para estreptococos fecales fue transferida a tubos con caldo de infusión encéfalo corazón (BHI) que contiene NaCl al 6,5% incubándose a $44,5^{\circ}\text{C}$ durante 3 horas; los tubos con turbidez se consideraron positivos para enterococos; finalmente se calculó el NMP/100ml, para estreptococos fecales y enterococos (véase anexo 4) (American Public Health Association, 2005).



2.7 Relación coliformes fecales/ estreptococos fecales

La relación coliformes fecales / estreptococos fecales, tiene por objeto diferenciar la fuente de contaminación; cuando esta relación es mayor a 4, se presumen que la contaminación es debida a desechos humanos, en tanto que las razones menores de 0,7 indican una contaminación por desechos animales. El intervalo entre 0,7 y 4 se supone una contaminación mixta (Glynn & Gary, 2000).

2.8 Identificación de resultados positivos

Registrar los tubos de las pruebas confirmativas para establecer los códigos correspondientes y mediante la tabla estadística conocer el NMP/100ml (véase anexo 5) de coliformes totales, fecales, estreptococos fecales y enterococos (American Public Health Association, 2005).

Cuando la combinación de resultados obtenidos no se encuentra en la tabla se deberá aplicar la siguiente fórmula:

$$\text{NMP/100ml} = \frac{\text{No de Tubos Positivos} \times 100}{\sqrt{\text{ml de muestra en tubos negativos} \times \text{ml de muestra en todos los tubos}}}$$

2.9 Análisis estadístico

Para la interpretación de los resultados se utilizó el programa de Microsoft Excel 2017, donde se compilaron todos los datos de los ensayos, y para la representación se usaron gráficas en columnas. Fueron analizados en el software SPSS (Statistical Product and Service Solutions).

Para conocer la variabilidad entre época climática, se usó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis con un nivel de significancia de $p < 0,05$ para el análisis, representando los resultados en diagramas de caja.



III RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las Tablas 3, 4, y 5, muestran los resultados de todos los ensayos realizados en el río Tomebamba; las Tablas 6, 7 y 8 los resultados del río Yanuncay; las Tablas 9, 10 y 11 del río Tarqui; y las Tablas 12,13 y 14 los del río Machángara; las tablas exhiben los resultados de cada río en las diferentes condiciones climatológicas: en invierno (caudal alto); en condiciones de caudal medio, y en condiciones de estiaje (caudal bajo).



Tabla 3. Determinación de coliformes totales, coliformes fecales, estreptococos fecales, enterococos y relación (CF/EF), Río Tomebamba: Período de lluvia.

RESULTADOS DE ANÁLISIS RÍO TOMBAMBA. 04 de febrero del 2019. Condiciones climatológicas: período de lluvia.								
PARÁMETROS	1	2	3	4	5	6	7	UNIDAD
	Llaviuco	Sayausí	Puente del vado	Empresa Eléctrica	A.J.Q Milchichig	Ucubamba	Capulispamba	
COLIFORMES TOTALES	350	1,7E+03	3,3E+04	3,3E+05	9,2E+05	1,4E+05	1,7E+05	NMP/100ml
COLIFORMES FECALES	170	130	1,3E+04	2,3E+05	2,0E+05	1,4E+04	2,7E+04	NMP/100ml
ESTREPTOCOCO FECAL	70	920	1,3E+04	1,4E+04	7,0E+04	9,3E+03	6,8E+04	NMP/100ml
ENTEROCOCO	7,8	170	1,3E+04	4,6E+03	1,2E+04	6,1E+03	6,8E+04	NMP/100ml
RELACION CF/EF	2,4	0,1	1,0	16,4	2,9	1,5	0,4	NMP/100ml

Fuente: las autoras

Tabla 4. Determinación de coliformes totales, fecales, estreptococos fecales, enterococos y relación (CF/EF), Río Tomebamba: Período caudal medio

RESULTADOS DE ANÁLISIS RÍO TOMBAMBA: 24 de junio del 2019. Condiciones climatológicas: período de caudal medio.								
PARÁMETROS	1	2	3	4	5	6	7	UNIDAD
	Llaviuco	Sayausí	Puente del vado	Empresa Eléctrica	A.J.Q Milchichig	Ucubamba	Capulispamba	
COLIFORMES TOTALES	110	1,4E+03	9,2E+04	2,2E+05	7,9E+04	4,9E+05	1,3E+05	NMP/100ml
COLIFORMES FECALES	49	130	9,2E+04	1,4E+05	4,9E+04	4,9E+05	7,8E+04	NMP/100ml
ESTREPTOCOCO FECAL	11	79	7,0E+03	9,2E+04	1,7E+04	4,5E+04	2,1E+05	NMP/100ml
ENTEROCOCO	4	22	7,0E+03	3,5E+04	7,8E+03	4,5E+04	1,7E+05	NMP/100ml
RELACION CF/EF	4,5	1,6	13,1	1,5	2,9	10,9	0,4	NMP/100ml

Fuente: las autoras



Tabla 5. Determinación de coliformes totales, coliformes fecales, estreptococos fecales, enterococos y relación (CF/EF), Río Tomebamba: Período estiaje

RESULTADOS DE ANÁLISIS RÍO TOMBAMBA. 11 de septiembre de 2019. Condiciones climatológicas: período de estiaje								
PARÁMETROS	1	2	3	4	5	6	7	UNIDAD
	Llaviuco	Sayausí	Puente del vado	Empresa Eléctrica	A.J.Q Milchichig	Ucubamba	Capulisipamba	
COLIFORMES TOTALES	350	540	1,7E+04	1,6E+05	4,6E+05	2,1E+05	1,1E+06	NMP/100ml
COLIFORMES FECALES	350	350	1,3E+04	1,6E+05	4,6E+05	2,1E+05	1,1E+06	NMP/100ml
ESTREPTOCOCO FECAL	33	79	2,7E+03	1,7E+04	1,3E+05	2,2E+05	4,8E+05	NMP/100ml
ENTEROCOCO	7,8	27	2,2E+03	1,3E+04	1,3E+05	1,7E+04	6,8E+04	NMP/100ml
RELACION CF/EF	10,6	4,4	4,8	9,4	3,5	1,0	2,3	NMP/100ml

Fuente: las autoras

Tabla 6. Determinación de coliformes totales, coliformes fecales, estreptococos fecales, enterococos y relación (CF/EF), Río Yanuncay: Período de lluvia

RESULTADOS DE ANÁLISIS RÍO YANUNCAY. 11 de febrero de 2019. Período de lluvia								
PARÁMETROS	1	2	3	4	5	6	7	UNIDAD
	Dispensario Barabón	Inmaculada de Barabón	Puente Misicata	Avda. Loja	Tres Puentes	Redondel UDA	Parque Paraíso	
COLIFORMES TOTALES	350	1,7E+03	5,4E+04	1,6E+05	1,6E+05	1,6E+06	1,6E+07	NMP/100ml
COLIFORMES FECALES	350	540	1,6E+04	9,2E+04	5,4E+04	3,5E+05	9,2E+06	NMP/100ml
ESTREPTOCOCO FECAL	11	280	3,3E+03	4,8E+03	9,2E+04	7,0E+04	3,2E+04	NMP/100ml
ENTEROCOCO	11	210	120	240	4,8E+03	7,0E+04	2,6E+04	NMP/100ml
RELACION CF/EF	31,8	1,9	4,8	19,2	0,6	5,0	287,5	NMP/100ml

Fuente: las autoras

Miriam Carolina Loja Sari
Andrea Janeth Palta Vera

**Tabla 7. Determinación de coliformes totales, fecales, estreptococos fecales, enterococos y relación (CF/EF), Río Yanuncay: Período caudal medio**

RESULTADOS DE ANÁLISIS RÍO YANUNCAY. 26 de junio de 2019. Período de lluvia. Período de caudal medio								
PARÁMETROS	1	2	3	4	5	6	7	UNIDAD
	Dispensario Barabón	Inmaculada de Barabón	Puente Misicata	Avda. Loja	Tres Puentes	Redondel UDA	Parque Paraíso	
COLIFORMES TOTALES	170	220	1,1E+03	3,5E+03	1,7E+04	2,2E+05	2,8E+05	NMP/100ml
COLIFORMES FECALES	49	70	460	1,3E+03	4,0E+03	4,0E+04	2,2E+05	NMP/100ml
ESTREPTOCOCO FECAL	24	27	400	2,2E+03	1,7E+04	2,8E+04	1,7E+04	NMP/100ml
ENTEROCOCO	21	27	140	320	390	1,4E+03	1,3E+04	NMP/100ml
RELACION CF/EF	2,0	2,6	1,2	0,6	0,2	1,4	12,9	NMP/100ml

*Fuente: las autoras***Tabla 8. Determinación de coliformes totales, coliformes fecales, estreptococos fecales, enterococos y relación (CF/EF), Río Yanuncay: Período de estiaje**

RESULTADOS DE ANALISIS RIO YANUNCAY. 16 de septiembre de 2019. Período de estiaje								
PARAMETROS	1	2	3	4	5	6	7	UNIDAD
	Dispensario Barabón	Inmaculada de Barabón	Puente Misicata	Avda. Loja	Tres Puentes	Redondel UDA	Parque Paraíso	
COLIFORMES TOTALES	460	700	700	1,6E+06	9,2E+05	5,4E+05	9,4E+04	NMP/100ml
COLIFORMES FECALES	350	540	460	9,2E+05	5,4E+05	5,4E+05	7,0E+04	NMP/100ml
ESTREPTOCOCO FECAL	330	170	270	2,5E+04	3,5E+04	2,8E+05	4,1E+03	NMP/100ml
ENTEROCOCO	47	110	170	2,4E+03	3,8E+03	2,2E+05	3,4E+03	NMP/100ml
RELACION CF/EF	1,1	3,2	1,7	36,8	15,4	1,9	17,1	NMP/100ml

Fuente: las autoras

**Tabla 9. Determinación de coliformes totales, coliformes fecales, estreptococos fecales, enterococos y relación (CF/EF), Río Tarqui: Período de lluvia**

RESULTADOS DE ANÁLISIS RÍO TARQUI. 18 de febrero de 2019. Período de lluvia								
PARÁMETROS	1	2	3	4	5	6	7	UNIDAD
	A.J. Irquis	D.J Cumbe	Entrada a Tarqui	Zona Franca	D. J Zhucay	Parque Inclusivo	A.J. Yanuncay	
COLIFORMES TOTALES	1,6E+05	1,1E+03	1,7E+04	1,7E+04	5,4E+04	3,5E+06	2,8E+06	NMP/100ml
COLIFORMES FECALES	9,2E+04	490	9,2E+03	1,3E+04	5,4E+04	2,4E+05	7,0E+05	NMP/100ml
ESTREPTOCOCO FECAL	350	220	490	3,1E+03	1,3E+04	3,5E+05	5,4E+05	NMP/100ml
ENTEROCOCO	350	170	220	1,1E+03	3,3E+03	2,4E+04	4,7E+04	NMP/100ml
RELACION CF/EF	262,9	2,2	18,8	4,2	4,2	0,7	1,3	NMP/100ml

Fuente: las autoras

Tabla 10. Determinación de coliformes totales, fecales, estreptococos fecales, enterococos y relación (CF/EF), Río Tarqui: Período de caudal medio

RESULTADOS DE ANÁLISIS RÍO TARQUI. 1 de julio de 2019. Período caudal medio								
PARÁMETROS	1	2	3	4	5	6	7	UNIDAD
	A.J. Irquis	D.J Cumbe	Entrada a Tarqui	Zona Franca	D.J Zhucay	Parque Inclusivo	A.J. Yanuncay	
COLIFORMES TOTALES	1,1E+04	1,7E+03	3,5E+04	7,0E+03	7,0E+04	5,4E+05	7,0E+05	NMP/100ml
COLIFORMES FECALES	7,0E+03	1,7E+03	3,9E+03	5,4E+03	4,6E+04	3,5E+05	7,0E+05	NMP/100ml
ESTREPTOCOCO FECAL	1,1E+03	2,4E+03	2,2E+03	1,7E+03	1,3E+04	4,7E+04	7,9E+04	NMP/100ml
ENTEROCOCO	460	1,3E+03	1,4E+03	1,4E+03	7,9E+03	1,7E+04	1,7E+04	NMP/100ml
RELACION CF/EF	6,4	0,7	1,8	3,2	3,5	7,4	8,9	NMP/100ml

Fuente: las autoras



Tabla 11. Determinación de coliformes totales, coliformes fecales, estreptococos fecales, enterococos y relación (CF/EF), Río Tarqui: Período de estiaje

RESULTADOS DE ANÁLISIS RÍO TARQUI. 18 de septiembre de 2019. Período de estiaje								
PARÁMETROS	1	2	3	4	5	6	7	UNIDAD
	A.J. Irquis	D.J Cumbe	Entrada a Tarqui	Zona Franca	D. J Zhucay	Parque Inclusivo	A.J. Yanuncay	
COLIFORMES TOTALES	1600	2,8E+03	3,5E+04	1,6E+05	1,7E+04	9,2E+04	1,1E+06	NMP/100ml
COLIFORMES FECALES	920	2,2E+03	3,5E+04	9,2E+04	1,1E+04	9,2E+04	4,6E+05	NMP/100ml
ESTREPTOCOCO FECAL	210	2,2E+03	9,2E+03	2,2E+03	1,7E+04	2,1E+03	1,1E+05	NMP/100ml
ENTEROCOCO	170	2,2E+03	9,2E+03	1,1E+03	1,7E+04	1,4E+03	7,8E+04	NMP/100ml
RELACION CF/EF	4,4	1,0	3,8	41,8	0,6	43,8	4,2	NMP/100ml

Fuente: las autoras

Tabla 12. Determinación de coliformes totales, coliformes fecales, estreptococos fecales, enterococos y relación (CF/EF), Río Machángara: Período de lluvia

RESULTADOS DE ANÁLISIS RÍO MACHÁNGARA. 25 de febrero de 2019. Período de lluvia						
PARÁMETROS	1	2	3	4	5	UNIDAD
	Chiquintad	Ochoa león	Feria de ganado	Parque industrial	Redondel Gonzales Suárez	
COLIFORMES TOTALES	460	1,6E+05	1,6E+05	2,2E+05	1,1E+05	NMP/100ml
COLIFORMES FECALES	460	9,2E+04	1,6E+05	2,2E+05	9,4E+04	NMP/100ml
ESTREPTOCOCO FECAL	49	1,6E+05	4,7E+03	2,4E+04	5,4E+04	NMP/100ml
ENTEROCOCO	49	470	3,3E+03	2,1E+03	5,4E+04	NMP/100ml
RELACION CF/EF	9,4	0,6	34,0	9,2	1,7	NMP/100ml

Fuente: las autoras

Miriam Carolina Loja Sari
Andrea Janeth Palta Vera

**Tabla 13. Determinación de coliformes totales, fecales, estreptococos fecales, enterococos y relación (CF/EF), Río Machángara: Período caudal medio**

RESULTADOS DE ANÁLISIS RÍO MACHÁNGARA. 3 de julio de 2019. Período de caudal medio						
PARÁMETROS	1	2	3	4	5	UNIDAD
	Chiquintad	Ochoa león	Feria de ganado	Parque industrial	Redondel Gonzales Suárez	
COLIFORMES TOTALES	350	9,2E+04	9,2E+04	1,6E+05	1,6E+05	NMP/100ml
COLIFORMES FECALES	350	5,4E+04	4,7E+03	5,4E+04	3,5E+04	NMP/100ml
ESTREPTOCOCO FECAL	70	9,2E+03	1,7E+04	2,2E+04	2,2E+04	NMP/100ml
ENTEROCOCO	21	1,7E+03	1,7E+04	1,7E+03	2,6E+03	NMP/100ml
RELACION CF/EF	5,0	5,9	0,3	2,5	1,6	NMP/100ml

*Fuente: las autoras***Tabla 14. Determinación de coliformes totales, fecales, estreptococos fecales, enterococos y relación (CF/EF), Río Machángara: Período de estiaje**

RESULTADOS DE ANÁLISIS RIO MACHÁNGARA. 23 de septiembre de 2019. Período de estiaje						
PARÁMETROS	1	2	3	4	5	UNIDAD
	Chiquintad	Ochoa león	Feria de ganado	Parque industrial	Redondel Gonzales Suárez	
COLIFORMES TOTALES	170	3,5E+04	9,2E+04	1,6E+05	1,6E+06	NMP/100ml
COLIFORMES FECALES	130	1,6E+04	2,8E+04	3,5E+04	2,8E+05	NMP/100ml
ESTREPTOCOCO FECAL	2,8E+03	2,4E+03	1,5E+03	1,7E+04	2,2E+05	NMP/100ml
ENTEROCOCO	140	2,4E+03	1,2E+03	1,7E+04	4,7E+04	NMP/100ml
RELACION CF/EF	0,0	6,7	18,7	2,1	1,3	NMP/100ml

Estos resultados permiten el siguiente análisis:

En los ríos Tomebamba, Yanuncay en los primeros puntos de monitoreo en las 3 épocas hidrológicas los indicadores de contaminación fecal se encuentran dentro del valor de referencia esto se debe a que se trata de zonas poco intervenidas y con menor influencia de la urbanización; en las zonas bajas se va incrementando la contaminación cuyos niveles ya no son compatibles con la mayor parte de los usos del agua establecidos en las respectivas normas.

En las figuras 2, 3,4 y 5 se comparan la magnitud de los indicadores coliformes fecales y estreptococos fecales para cada río y en los tres caudales. En cada gráfica se visualiza con línea entrecortada el valor de referencia establecido por la normativa TULSMA, fijado en 1000 NMP/100ml para coliformes fecales; otras reglamentaciones decretan el mismo valor para este indicador (Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de los cuerpos de agua superficiales (2009).

Para visualizar y diferenciar la magnitud de los indicadores y que permitan una mejor comparación, se utiliza el logaritmo de base 10 de los valores absolutos obtenidos en su cuantificación.

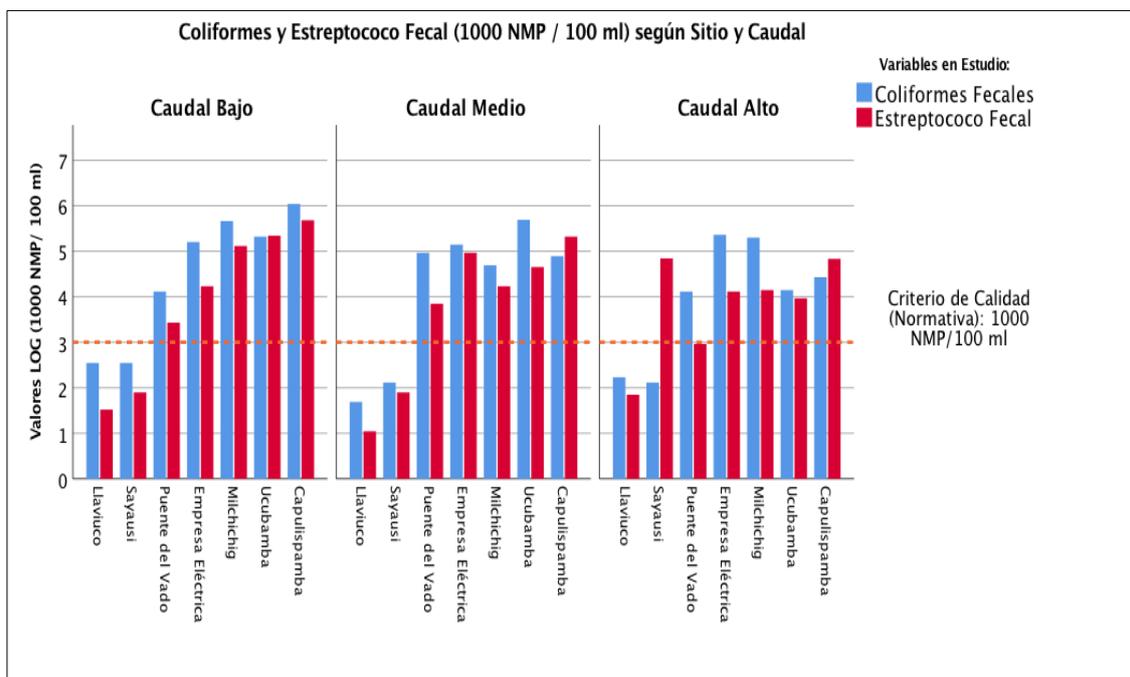


Figura 2. Comparación de coliformes fecales y estreptococos fecales para el Río Tomebamba

Fuente: las autoras.

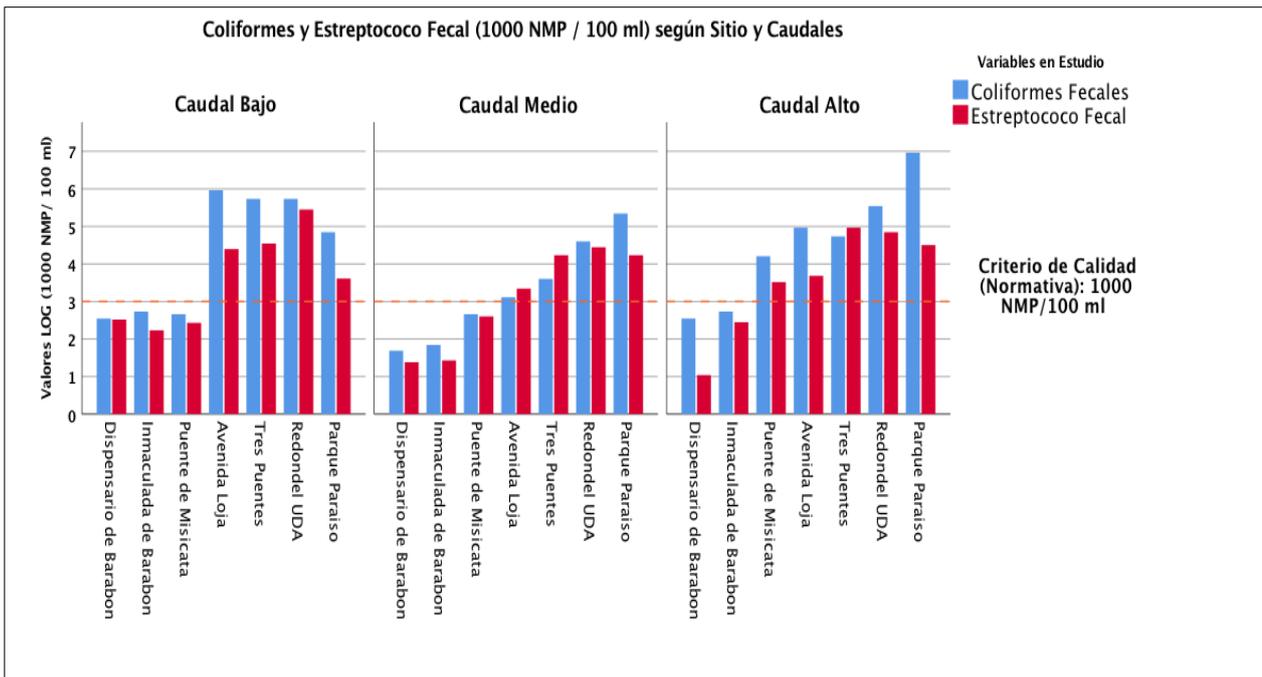
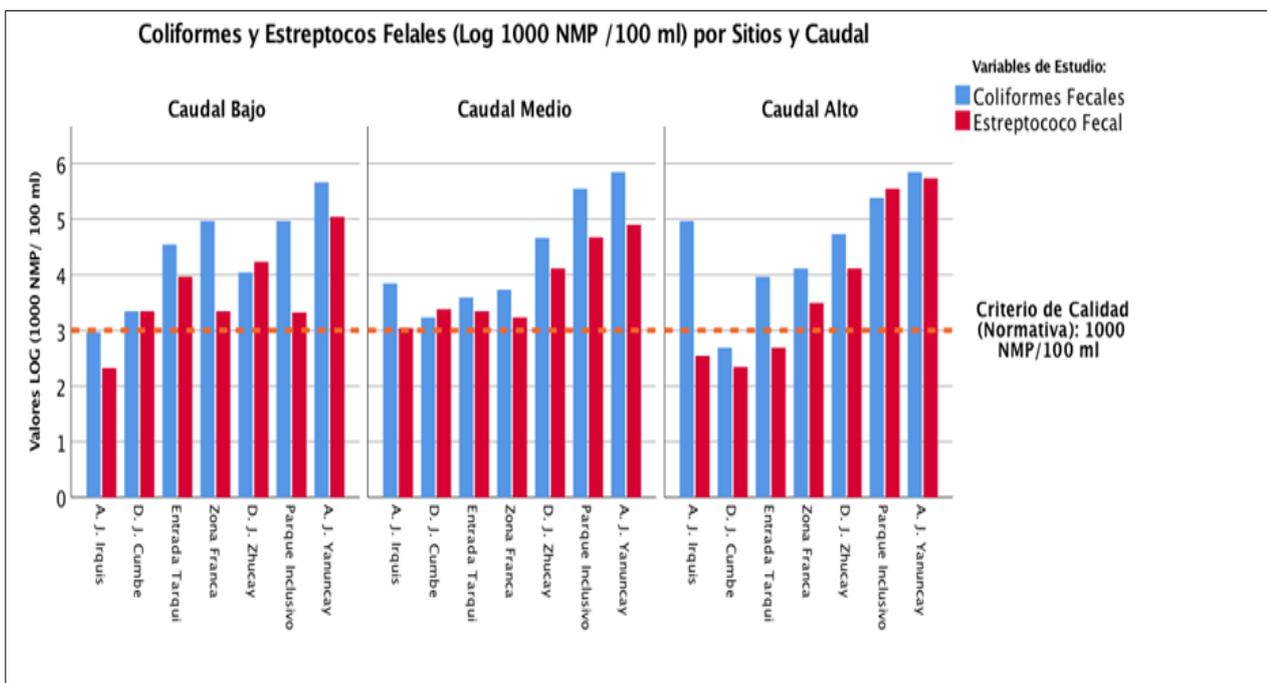


Figura 3. Comparación de coliformes fecales y estreptococos fecales para el Río Yanuncay



Fuente: las autoras.

Figura 4. Comparación de coliformes fecales y estreptococos fecales para el Río Tarqui

Fuente: las autoras.

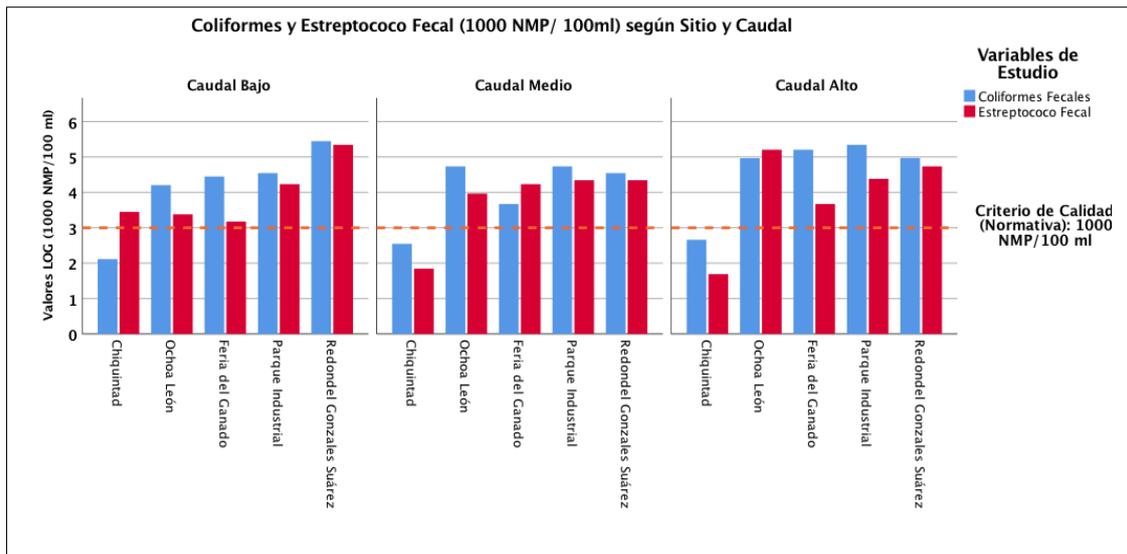


Figura 5. Comparación de coliformes fecales y estreptococos fecales para el Río Machángara

Fuente: las autoras.

Se observa que en la mayor parte de los sitios de monitoreo, la magnitud de los coliformes fecales es mayor que la de los estreptococos fecales; por lo tanto, podría interpretarse que estos últimos son más estables y sus números variarán menos a medida que pasa el tiempo comparados con los coliformes, representando mayor significación como indicadores de contaminación fecal; los estreptococos están mejor dotados para sobrevivir fuera del intestino (hábitat primario), son grampositivos con una gruesa pared bacteriana y forma esférica, esto les proporciona una gran resistencia a fuerzas físicas como la variación de la presión osmótica del medio externo, por ello persisten eficientemente en los ambientes acuáticos cuando se comparan con los coliformes en general (Larrea Murrel *et al.*, 2013).

Las figuras 6, 7, 8, 9 y 10 muestran la variabilidad de los datos a través de diagramas de cajas (valores de cuartiles) para cada indicador y para la relación coliformes fecales / estreptococos fecales, en todos los ríos y para cada caudal. Al igual que en los gráficos anteriores se usa el logaritmo base 10 del valor natural, para una mejor apreciación.

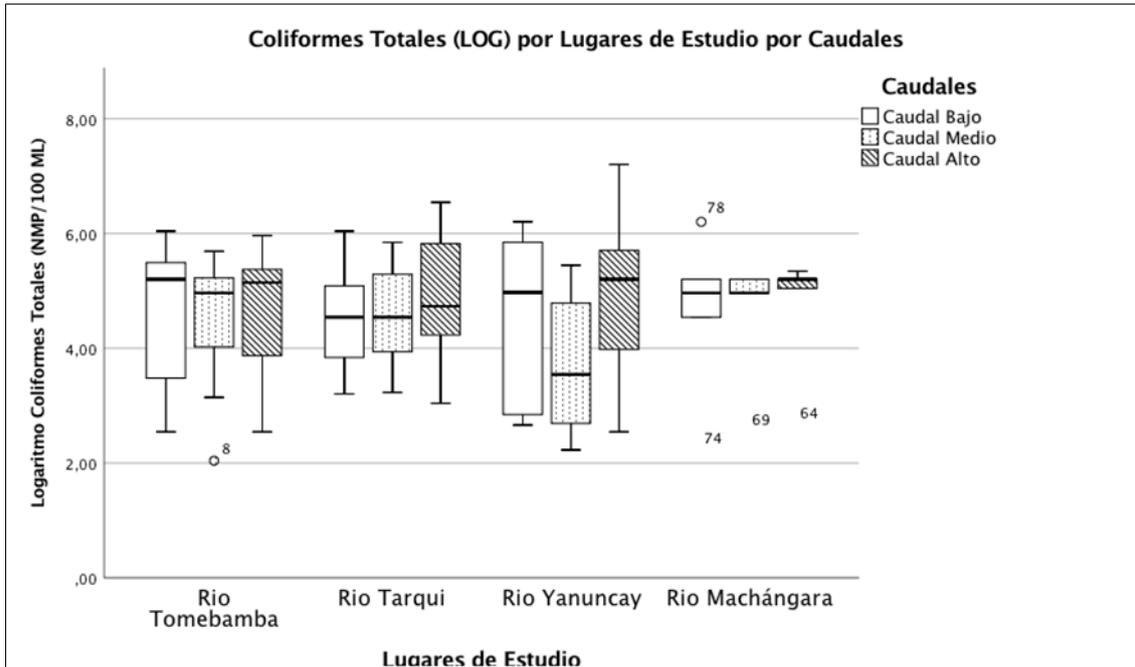


Figura 6. Coliformes totales en todos los ríos, en los tres períodos hidrológicos

Fuente: las autoras.

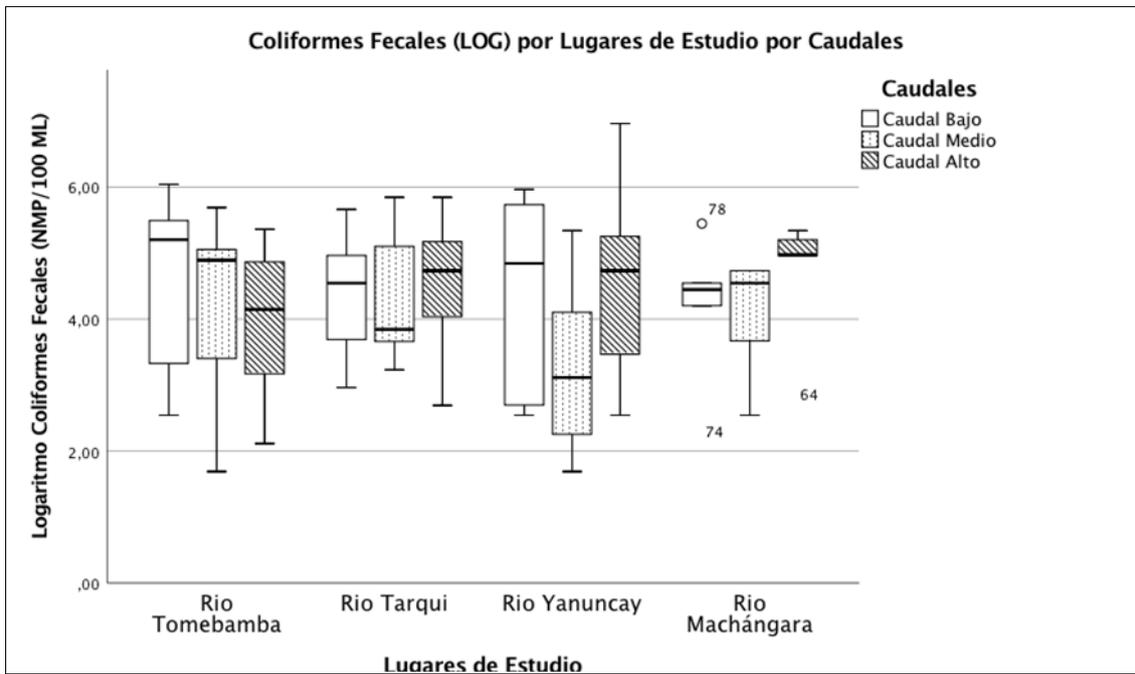


Figura 7. Coliformes fecales en todos los ríos, en los tres períodos hidrológicos

Fuente: las autoras.

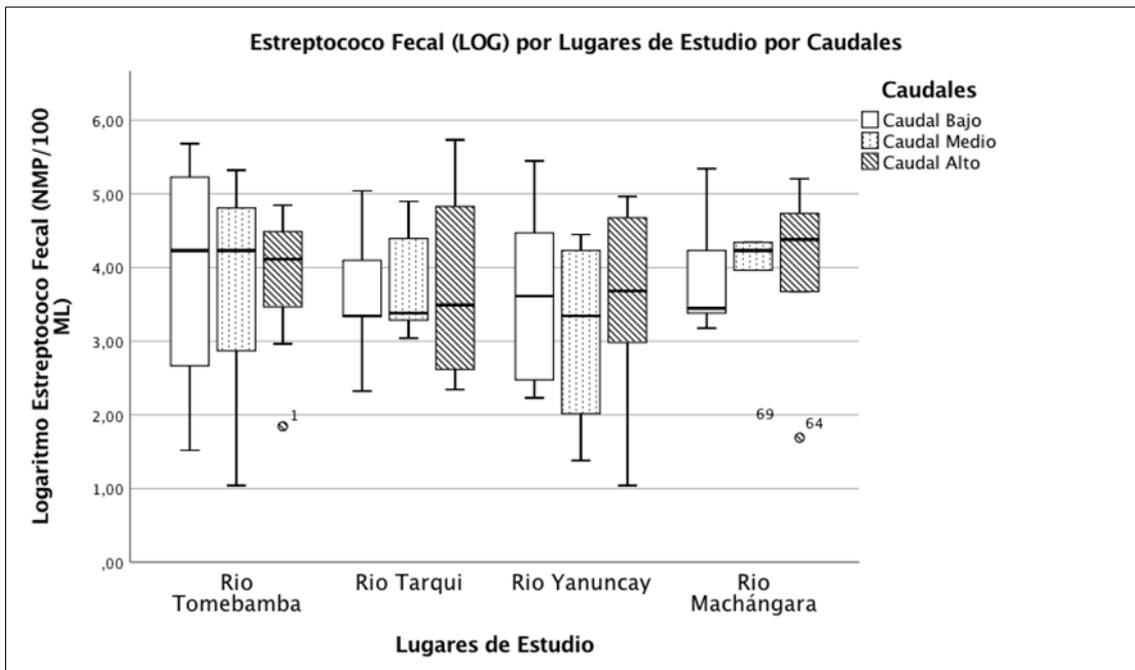


Figura 8. Estreptococos fecales en todos los ríos, en los tres períodos hidrológicos

Fuente: las autoras.

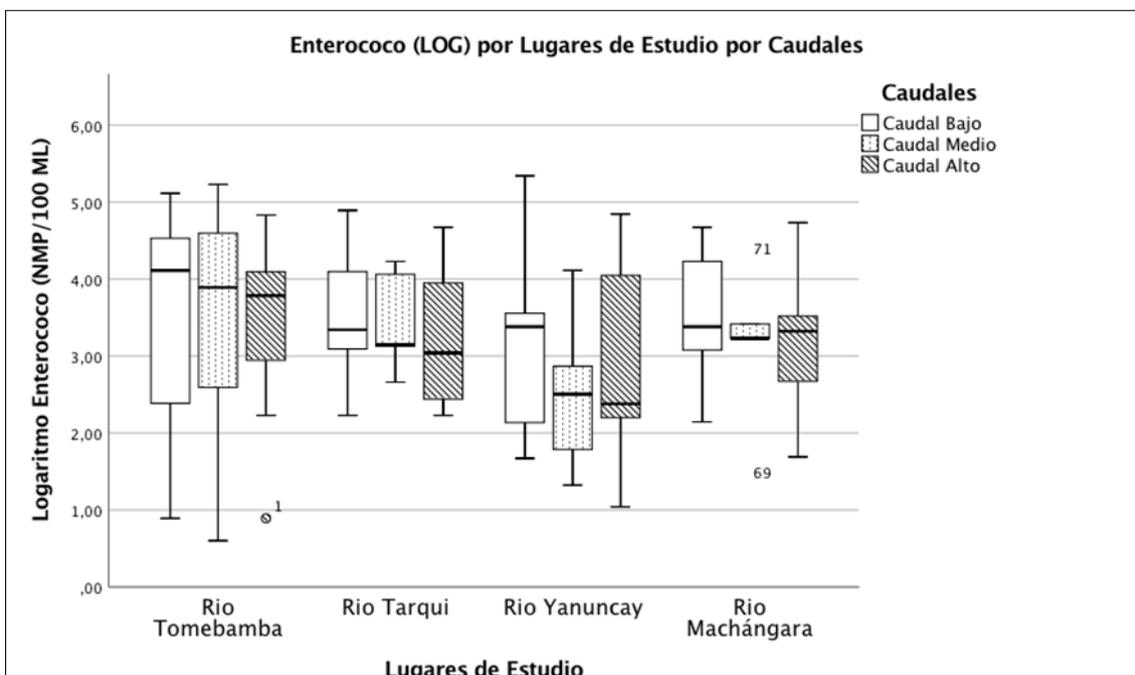


Figura 9. Enterococos en todos los ríos, en los tres períodos hidrológicos

Fuente: las autoras.

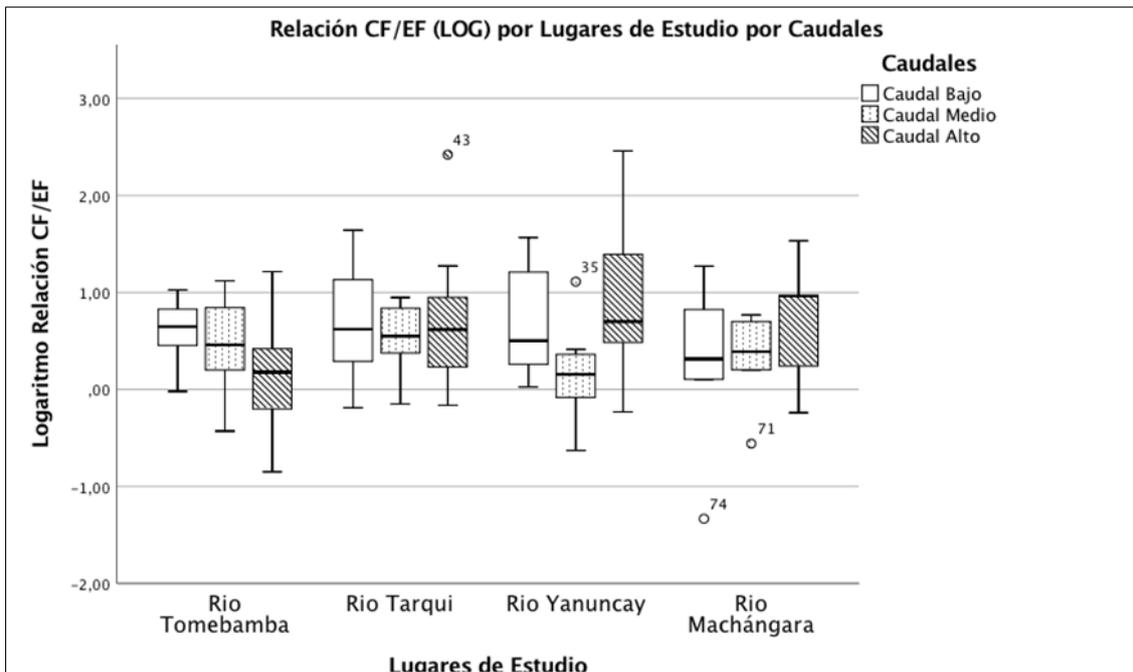


Figura 10. Relación: coliformes fecales/ estreptococos fecales en todos los ríos, en los tres períodos hidrológicos

Fuente: las autoras.

La mayor variabilidad para coliformes totales y fecales se presenta en el río Yanuncay, en cambio para los estreptococos fecales y enterococos, en el río Tomebamba.

Se observa que para todos los indicadores la menor variabilidad se presenta en el río Machángara, lo que indica que la calidad es más estable y depende menos del caudal; esto debido al efecto de regulación del caudal a través de los embalses para el aprovechamiento energético de la Empresa ELECAUSTRO.

ELECAUSTRO está a cargo de la central hidroeléctrica Saucay y Saymirín, las mismas que devuelven el agua a la planta potabilizadora de la empresa municipal ETAPA EP en Tixán generando 2.000 litros por segundo; 1.000 litros para riego y 2.000 al río, para cuidar su caudal ecológico (El Mercurio, 2018).

Sin embargo, de acuerdo a lo mostrado con los diagramas de cajas y a su vez con las pruebas de significancia de Kruskal-Wallis, en donde se relaciona la magnitud de los indicadores con respecto al caudal, no se ha encontrado evidencias de que los niveles difieran estadísticamente al menos al 5% de significancia, pudiendo establecerse únicamente como tendencias encontradas, es decir no hay relación entre la magnitud de los indicadores y el caudal.



Según Glynn & Gary (2009) mencionan que mediante la relación coliformes fecales/estreptococos fecales mayor a 4 se identifica el origen de la contaminación humana, y se observa que:

En el río Tomebamba cuatro estaciones superan esta relación en caudal bajo, tres en caudal medio y una en caudal alto; esto significa que la mayor parte de la contaminación en este río es de origen humano, siendo más crítica la situación en estiaje; y al incrementarse el caudal, la relación disminuye. A pesar de que este río cuenta con receptores marginales construidos por la empresa Etapa EP, no se descarta la posibilidad de que existan descargas de interceptores clandestinos (Vintimilla, 2016).

Llama la atención que en Llaviuco que es la de menor contaminación el origen sea antropológico (CF/EF = 10,6) en estiaje, por lo que la condición más crítica de la contaminación se presenta en verano; siendo imprescindible vigilar la zona restringiendo el tránsito de las personas y/o controlando descargas domiciliarias no identificadas. La estación Empresa Eléctrica, en invierno y estiaje supera la relación, con valores de 16,4 y 9,4 respectivamente.

Para el río Yanuncay, la estación Parque el Paraíso en todos los períodos hidrológicos se supera la relación de referencia, pero particularmente en invierno con un valor CF/EF= 287,5; denotando que casi toda la carga fecal es humana, al ser uno de los puntos de muestreo más concurridos y visitados por ciudadanos cuencanos y de cantones aledaños, al ser una zona recreativa. El agua para las lagunas que se encuentran en la parte interior del parque se captan del río Yanuncay y luego va a alimentar a las mismas a través de canales hasta llegar al parque, mediante un sistema de desfogue similar al de la represa de la central hidroeléctrica de Paute, pero a mínima escala y el agua va a ser devuelta a la corriente (Orden, 2004).

El río Tarqui presenta el mayor número de estaciones contaminadas, cuya relación CF/EF > 4. De particular interés en la A.J. Irquis, con un valor mayor a 4 en todas las condiciones hidrológicas, sobre todo en invierno cuya magnitud asciende a 262,9; esto significa un aporte constante de aguas residuales domésticas en esta estación.

Según Beltrán, Mendieta, & Vanegas (2013) en un estudio realizado en el río Tarqui presenta un valor de coliformes de 72000 NMP/100ml, siendo los vertidos de origen residual constituyendo la principal fuente de contaminación (Vintimilla, 2016).



Para el río Machángara en cambio son pocas las estaciones que superan esta relación y sus magnitudes también son bajas; Chiquintad y Feria del Ganado concitan la mayor atención.

Estos resultados permiten a las autoridades encargadas del manejo y control del recurso, la implementación de medidas correctoras y/o protectoras de los cuerpos superficiales: protección de fuentes de agua, control de vertidos, revisión de conexiones domiciliarias, etc.

El nivel de contaminación fecal basado en la determinación de los enterococos es importante y aporta información al momento de catalogar la calidad del agua; investigadores en Canadá consideran que este grupo también puede ser empleado en aguas marinas, debido a que sobreviven más tiempo que los coliformes fecales y presentan una correlación con enfermedades gastrointestinales, enfermedades del tracto respiratorio, infecciones del oído y de la piel (Suárez, 2002), por lo que su búsqueda e identificación en las fuentes de abastecimiento, enriquece la información epidemiológica de una comunidad.

Utilizar un solo grupo como indicador de contaminación fecal, sobre todo en ciertos ambientes en donde los coliformes constituyen parte de la flora autóctona, proporciona una información limitada de la calidad del agua (Rossen et al., 2008).

En un estudio realizado en Colombia en los ríos Manaure y Casacaré demuestra que los resultados de las magnitudes de coliformes totales, coliformes fecales y estreptococos fecales, enterococos durante el periodo de sequía se atribuyen en gran proporción a los asentamientos humanos de tipo rural ya que al no poseer un plan de recolección de residuos sólidos y sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas contribuyen a que el agua de escurrimiento corresponda a este tipo de vertimientos, demostrando también que las magnitudes en el caso de coliformes son altas en comparación de estreptococos fecales y enterococos (Arcos *et al.*, 2005; Larrea *et al.*, 2013). Con respecto a las estimaciones de coliformes fecales y enterococos fecales determinados en el río Casacará, en las dos temporadas fueron proporcionalmente bajos en todas las estaciones monitoreadas; este comportamiento puede explicarse por la no ocurrencia directa de los vertimientos sobre el cauce principal del río, además que éste mantiene un caudal relativamente similar durante todo el año, lo que contribuye a un mayor proceso de dilución de las descargas y autodepuración con respecto a lo que sucede en el río Manaure (Jáuregui *et al.*, 2007; Muñoz *et al.*, 2012; Ospina, 2015).



CONCLUSIONES

Los microorganismos estreptococos fecales y enterococos han demostrado un desempeño satisfactorio como indicadores de contaminación fecal; son sensibles a cambios en la calidad del agua, manifestándose en bajos niveles en zonas de poca contaminación e incrementándose a medida que la polución aumenta. En conclusión, pueden utilizarse al evaluar la calidad microbiológica de los cuerpos receptores en general.

Al comparar la magnitud de los estreptococos fecales y enterococos, con los tradicionales indicadores coliformes totales y fecales, se observa que los primeros siempre están presentes en números más pequeños, esto significa que sus valores son más confiables al no reproducirse tan fácilmente como los tradicionales; es decir muestran la contaminación real de la muestra.

En el presente estudio el período hidrológico: caudal alto, caudal medio y bajo, parece no tener influencia significativa en la magnitud de todos los indicadores; hay una ligera tendencia a presentar niveles más altos cuando también lo son los caudales; lo que significaría que en invierno el efecto de la escorrentía arrastra los microorganismos hacia los cuerpos receptores; no obstante estudios anteriores en las mismas estaciones de monitoreo mostraron el efecto de dilución que puede tener la lluvia disminuyendo los niveles de contaminación. Estas diferencias pueden deberse a que los años hidrológicos son diferentes, pudiendo catalogarse unas veces como “año seco” y otras como “año lluvioso”; aspecto que incide en la calidad.

Al establecer de manera aproximada el origen de la contaminación humana o animal, mediante la relación coliformes fecales/estreptococos fecales ($CF/EF > 4$), se concluye que para los ríos Tomebamba, Tarqui y Machángara, la pequeña contaminación fecal en las primeras estaciones, es debida a desechos humanos que pueden provenir de aguas residuales domésticas no interceptadas y/o deposiciones directas en tales sitios; situación que puede controlarse.

La estación Empresa Eléctrica del río Tomebamba también sugiere una revisión de las conexiones domiciliarias al sistema de interceptores marginales. En el río Machángara la estación Feria del ganado también merece atención y control sobre todo los días en que se realiza esta actividad comercial.



En el río Yanuncay, en la estación Parque El Paraíso la relación CF/EF es mayor en todos los caudales, lo que sugiere igualmente una revisión de las conexiones domiciliarias; pero es importante la mayor relación CF/EF (287,5) en invierno, lo que sugiere la capacidad de la subcuenca para arrastrar la contaminación fecal humana difusa y difícil de controlar, más el arribo constante de las aguas residuales domésticas.



RECOMENDACIONES

Se recomienda a los organismos de control, la revisión de la relación coliformes fecales/estreptococos fecales, la cual sirve para predecir de forma aproximada el origen de la contaminación; si es mayor a 4, sugiere que es de origen humano y que por lo tanto se puede evitar restringiendo la descarga de aguas residuales domésticas en los cuerpos receptores; si es menor a 0,7 se debe restringir el tránsito de animales sobre todo en las zonas altas de los ríos donde la calidad físico química es aceptable, pero la microbiológica se vería afectada.

La construcción de los interceptores marginales todavía no consigue llevar la contaminación fecal de los ríos al objetivo de calidad planteado: (NMP/100 ml = 1000); lo que sugiere una revisión más minuciosa de las conexiones domiciliarias, descargas de aguas residuales no interceptadas y un mayor control de la actividad antropológica, sobre todo en las estaciones de mayor contaminación.

Se recomienda la determinación de los estreptococos fecales y enterococos en los estudios de calidad de agua de los ríos, lagos y otros cuerpos superficiales sobre todo para identificar contaminaciones pasadas e intermitentes; la Organización Mundial de la Salud (OMS) por ejemplo plantea su uso en la calidad del agua potable proveniente de aguas subterráneas o de superficie, después de las instalaciones de nuevas cañerías.

Este trabajo será entregado a los Organismos que tienen a su cargo el control y el manejo del recurso: ETAPA EP, SENAGUA, Ministerio del Medio Ambiente, INEN, para que consideren la validez de todos los indicadores, y la conveniencia de incorporarlos en las normativas de calidad, tanto de las aguas destinadas a consumo humano, como de los cuerpos receptores. Con estos resultados se pretende llamar la atención sobre la problemática ambiental que representa la alta contaminación fecal en los ríos de la ciudad, y desarrollar acciones de control sobre las fuentes de contaminación que afectan la calidad de las aguas.



BIBLIOGRAFIA

American Public Health Association. (2005). *Standard Methods for examination of water and waste water*. (21 ed.). Washington.

Arcos, M. D. P., Ávila de Navia, MSC, S. L., Estupiñan, MSC, S. M., & Gómez, A. C. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *Nova*, 3(4).69. <https://doi.org/10.22490/24629448.338>

Bartram, J., Ballance, R. (1996). [Online] WATER QUALITY. Who.int.Available at: [\https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/GDWQchap1rev1and2.pdf [Accessed 17 May 2019].

Beltrán, A., Mendieta, P., & Vanegas, J. (2013). *Calidad del agua y contaminantes en el Río Tarqui*. Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/30013/1/171-627-1-PB.pdf>

Brow, J. (2013). *Manual of clinical microbiology* (Octava ed.). Recuperado de <https://www.bd.com/resource.aspx?IDX=8800>

Boehm A, Soller J. Recreational Water Risk: Pathogens and Fecal Indicators. In: Laws EA, editor. *Environmental Toxicology*: New York: Springer; 2013:441-59

Calvo-Brenes, G., & Mora-Molina, J. (2010). Estado actual de contaminación con coliformes fecales de los cuerpos de agua de la Península de Osa. *Tecnología en Marcha*, 23, 34-40.

Cárdenas, J. (2003) La calidad de las aguas para estudiantes de Ciencias Ambientales.

Universidad Distrital, Colombia.

https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642004000500013

Carrasco, M. C., Pineda, R., & Pérez, R. (2010). *Calidad del hábitat en los ríos Tomebamba y Yanuncay en ECUADOR*. 14.

Carbajal, Á., & González, M. (Eds.). (2012). *Propiedades y funciones biológicas del agua*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.



Carrillo EM, Lozano AM. Validación del método de detección de coliformes totales y fecales en agua potable utilizando Agar Chromocult. Facultad de Ciencias. Microbiología Industrial. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, 2008.

Deutsche, G. (2009). *Compendio Informativo sobre Enfermedades Hídricas*. Recuperado de <http://www.aguasimple.org.mx/revistav3/images/stories/pdf/ENFERMEDADES%20HIDRICAS,%20REFERENCIA%20CON%20PERMISO.pdf>

Del Pilar M, Ávila S, Mónica S, Gómez AC. Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. NOVA - Publicación Científica. 2005; 3(4):1794-2470.

El Mercurio. (2018, Diciembre 20). La cuenca Alta del Río Machángara aporta beneficios y es modelo de conservación. *Diario El Mercurio*. Recuperado de <https://ww2.elmercurio.com.ec/2018/12/20/la-cuenca-alta-del-rio-machangara-aporta-beneficios-y-es-modelo-de-conservacion/>

Feitelson, E. (2012). [Online] *Guidelines for Drinking-water Quality*. Who.int. Available at https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/GDWQchap1rev1and2.pdf [Accessed 17 May 2019].

Fernández Cirelli, A. (2012, diciembre). El agua: un recurso esencial. *Química viva*, vol.11, 147-170. <http://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf>

Fundación Nacional de Salud. (2013). *Manual Práctico de Análisis de agua* (Cuarta ed.). Brasilia. Recuperado de http://bvsm.s.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_practico_analisis_agua_4_ed.pdf

Galvañ, P. J. V., & Beneyto, M. S. (2009). *Curso de manipulador de agua de consumo humano*. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=qKOakGkYE1QC&pg=PA34&dq=enfermedades+de+transmision+hidrica&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwi-5bbEnJXjAhXKjFkKHf-UCxYQ6AEIQjAF#v=onepage&q=enfermedades%20de%20transmision%20hidrica&f=false>



- GESAMP. (2001). *Protecting the Oceans from Land-based Activities*
https://www.jodc.go.jp/info/ioc_doc/GESAMP/report71.pdf
- Gil, M. (2019, marzo 22). Caldo EC: fundamento, preparación y usos. Recuperado 29 de mayo de 2019, de Lifeder website: <https://www.lifeder.com/caldo-ec/>
- Glynn, H., & Gary, H. (2000). *Ingeniería ambiental* (Segunda ed.). Recuperado de https://books.google.com.ec/books?id=ToQmAKnPzIC&pg=PA274&dq=indicadores+de+contaminacion+fecal&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiDpqH65-_fAhVKn-AKH#v=onepage&q=indicadores%20de%20contaminacion%20fecal&f=false
- Iglesias, A. M. (2000). *Salud Ambiental*. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=uYqyNq5lehUC&pg=PA99&dq=enfermedades+de+transmision+hidrica&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjF2KOS-pTjAhUFvVkkHStdDJsQ6AEIJzAA#v=onepage&q=enfermedades%20de%20transmision%20hidrica&f=false>
- Isenberg, H., Goldberg, D., & Sampson, J. (2015). *Pfizer Selective Enterococcus Agar*. Recuperado de <http://www.himedialabs.com/TD/M787.pdf>
- Larrea, J., & Rojas, M. (2013). *Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas. 44*. Recuperado de <https://revista.cnic.edu.cu/revistaCB/articulos/bacterias-indicadoras-de-contaminaci%C3%B3n-fecal-en-la-evaluaci%C3%B3n-de-la-calidad-de-las-aguas>
- Marin, B., W. Troncoso, J. Acosta, M. Gómez y J. Betancourt. 2003 Magara, Y. (s. f.). Basic Concepts and Definitions in Water Quality and Standards. I, 6.
- Medina, A. (2014, junio 30). Enfermedades de transmisión hídrica | COMDA. Recuperado 2 de julio de 2019, de <http://www.comda.org.mx/enfermedades-de-transmision-hidrica/>
- Méndez RI, San Pedro L, Castillo ER, Vázquez EB. Modelación del tiempo de conservación de muestras biológicas de agua. Rev Int Contam. Ambient.2010; 26 (4):327-335.



- Norma Mexicana. NMX-AA-042-SCFI-2015.2-SCFI-2015. (2015). *Norma Mexicana. NMX-AA-042-SCFI-2015. Análisis de agua Enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales y Escherichia coli-Método del número más probable en tubos*. Recuperado de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166147/nmx-aa-042-scfi-2015.pdf>
- OEFA. (2014). Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales. Recuperado de https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- ONU-DAES. (2014, Octubre 22). Decenio Internacional para la Acción «El agua, fuente de vida» 2005-2015. Áreas temáticas: Calidad del agua. Recuperado 29 de octubre de 2018, de <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>
- Orden, R. (08 de OCTUBRE de 2004). EL UNIVERSO. *Parque El Paraíso, otro atractivo de Cuenca*. Obtenido de <https://www.eluniverso.com/2004/10/08/0001/12/17A46688190540428C9E7CB881FC4420.html>
- Pauta, G. (2014). Estudio Integral de la calidad del agua del Río Burgay y Evaluación del Riesgo Toxicológico por la probable presencia de plaguicidas.
- Peñañiel, A. (2014). *Evaluación de la calidad del agua del río Tomebamba mediante el índice ICA del instituto mexicano de tecnología del agua* (Universidad de Cuenca). Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/20919/1/tesis.pdf>
- Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua. (s. f.). *Indicadores de contaminación fecal en aguas*. Recuperado de http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/pdfs/Capitulo_20.pdf
- Rivera, N.R., Encina, F., Muñoz-Pedrerros, A., & Mejías, P. (2004). La Calidad de las Aguas en los Ríos Cautín e Imperial, IX Región-Chile. *Información tecnológica*, 15(5), 89-101. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642004000500013>



- Rivera, C. A., & Ochoa, L. E. (2018). *Caracterización microbiológica de las aguas de los ríos de la ciudad de Cuenca* (Universidad de Cuenca). Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/31338/1/Trabajo%20de%20Titulaci%C3%B3n.pdf>
- Rodríguez, S., Tremblay RL, Toledo-Hernández C, González-Nieves JE, Ryu H, Santo Domingo JW, Toranzos GA. Microbial quality of tropical inland waters and effects of rainfall events. *Appl and Environ Microbiol.* 2012; 78(15):5160-5169
- Rojas, R. 2002. Curso Internacional “GESTIÓN INTEGRAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES”.
<http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/cinetica.pdf>
- Rossen A, Rodríguez MI, Ruibal AL, Fortunato MS, Bustamante A, Ruiz M, Angelaccio C. Korol S. Indicadores bacterianos de contaminación fecal en el embalse San Roque (Córdoba, Argentina). *Hig Sanid Ambient.* 2008; 8:325-330.
- Solís, F. (2008). Agua, minería y conflictos socio ambiental. Foro de los Recursos Hídricos. <http://www.camaren.org/documents/contaminacion.pdf>
- Suárez, M. (2002). Tendencia actual del estreptococo como indicador de contaminación fecal. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 40(1), 38-43.
- Tortora, G., Funke, B., & Case, C. (2012). *Introducción a la microbiología*. (Novena ed.). Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=Nxb3iETuwplC&pg=PA332&dq=Streptococcus+caracteristicas&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjdlr7d5qbeAhVPq1MKHRCVBkIQ6AEIKzAB#v=onepage&q=Streptococcus%20caracteristicas&f=false>
- Trujillo, A. (2007). *Principios Básicos de Calidad y Tratamiento de Agua Potable*. (Primera ed.). Universidad de Caldas.



Vásconez, L. A., & Durán, W. (2015). *Evaluación ambiental de la Cuenca del río gala del cantón Camilo Ponce Enríquez* (Politécnica Salesiana). Recuperado de <file:///E:/tesis/pdf/UPS-CT005022.pdf>

Vásquez, E. (2017, agosto 21). Contaminación del agua: causas, consecuencias y soluciones. Recuperado 29 de enero de 2019, de Agua.org.mx website: <https://agua.org.mx/contaminacion-del-agua-causas-consecuencias-soluciones>

Vintimilla, M. P. (06 de Enero de 2016). Determinacion de contaminacion difusa en la Cuenca del rio Tomebamaba en Monay. Cuenca. Recuperado el 01 de Diciembre de 2019, de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23344/1/2.%20TESIS.pdf>

**ANEXOS****ANEXO 1. Coordenadas de las estaciones de monitoreo tomadas con GPS****• Coordenadas de los puntos de muestreo – Río Tomebamba**

Punto	Coordenada sur	Coordenada oeste	Lugar de muestreo
1	2°50'35.9"	79°07'31.5"	Llaviuco
2	2°52'09.0"	79°05'03.6"	Sayausí
3	2°53'55.2"	79°00'37.7"	Puente del Vado
4	2°54'23.6"	78°59'00.3"	Empresa Eléctrica
5	2°53'36.1"	78°57'57.2"	A.J.Q Milchichig
6	2°52'34.8"	78°56'50.1"	Antes de PTAR
7	2°50'54.4"	78°54'40.7"	Challuabamba

Fuente: las autoras.

• Coordenadas de los puntos de muestreo – Río Yanuncay

Punto	Coordenada sur	Coordenada oeste	Lugar de muestreo
1	2°55'37.6"	79°05'56.4"	Dispensario Barabón
2	2°54'40.1"	79°04'46.3"	Inmaculada de Barabón
3	2°54'01.5"	79°02'58.7"	Puente Misicata
4	2°54'22.5"	79°01'35.0"	Av. Loja
5	2°54'56.2"	79°00'31.9"	Tres Puentes
6	2°55'01.4"	79°00'04.5"	Redondel de UDA
7	2°54'45.3"	78°59'22.1"	Parque Paraíso

Fuente: las autoras.



- **Coordenadas de los puntos de muestreo – Río Tarqui**

Punto	Coordenada sur	Coordenada oeste	Lugar de muestreo
1	3°04'38.1"	79°04'26.3"	A.J. Irquis
2	3°02'46.4"	79°03'17.0"	D.J Cumbe
3	3°01'15.8"	79°02'24.1"	Entrada a Tarqui
4	3°00'04.9"	79°02'28.8"	Zona Franca
5	2°56'59.3"	79°02'46.7"	DJ Zhucay
6	2°55'19.5"	79°01'49.8"	Parque Inclusivo
7	2°55'08.1"	79°01'01.3"	A.J Yanuncay

Fuente: las autoras.

- **Coordenadas de los puntos de muestreo – Río Machángara**

Punto	Coordenada sur	Coordenada oeste	Lugar de muestreo
1	2°48'34.4"	78°59'53.7"	Chiquintad
2	2°50'00.7"	78°59'07.5"	Ochoa León
3	2°51'43.2"	78°58'51.8"	Feria de Ganado
4	2°52'21.1"	78°58'31.4"	Parque Industrial
5	2°53'10.6"	78°57'20.9"	Redondel Gonzales Suárez

Fuente: las autoras



ANEXO 2. Fotografías de la toma de muestra en los ríos de Cuenca

- Toma de muestra del río Tomebamba en los diferentes puntos de muestreo.



Fuente: las autoras

MILCHICHIG



UCUBAMBA



CAPULISPAMBA



Fuente: las autoras

- Toma de muestra del río Yanuncay en los diferentes puntos de muestreo.

DISPENSARIO BARABÓN



INMACULADA BARABÓN



PUENTE MISICATA



AV LOJA Y 1 MAYO



Fuente: las autoras

TRES PUENTES



REDONDEL UDA



PARQUE PARAISO



Fuente: las autoras

- Toma de muestra del río Tarqui en los diferentes puntos de muestreo.



Fuente: las autoras

NARANCAY



PARQUE INCLUSIVO

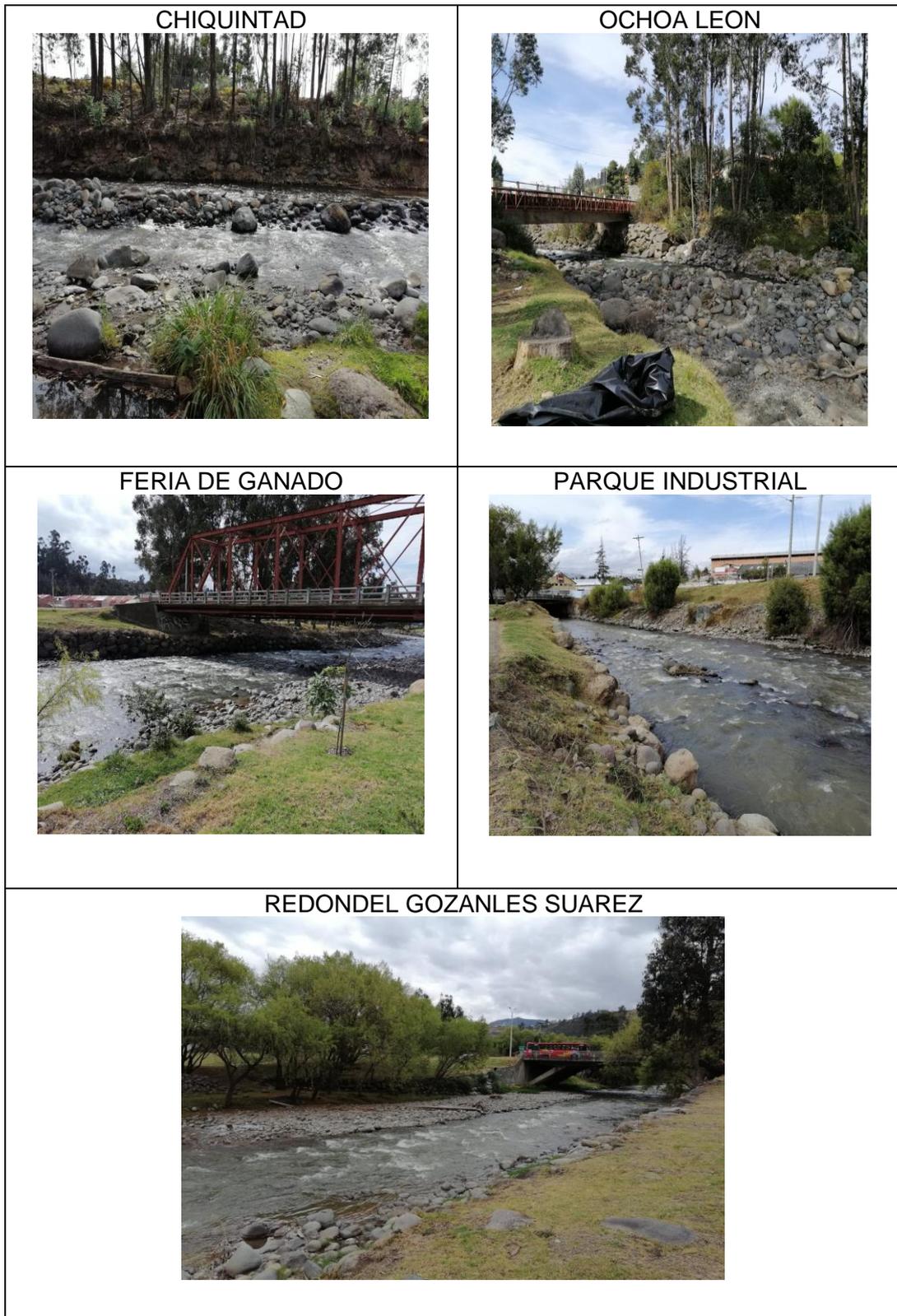


MALL DEL RÍO



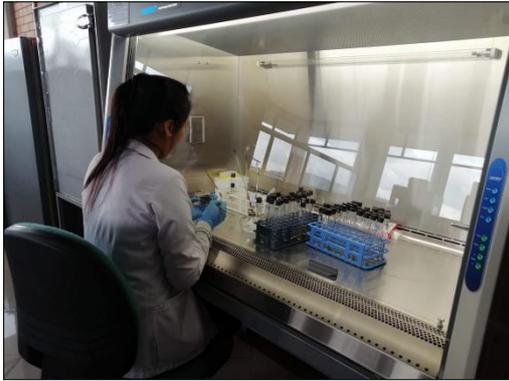
Fuente: las autoras

- Toma de muestra del río Yanuncay en los diferentes puntos de muestreo

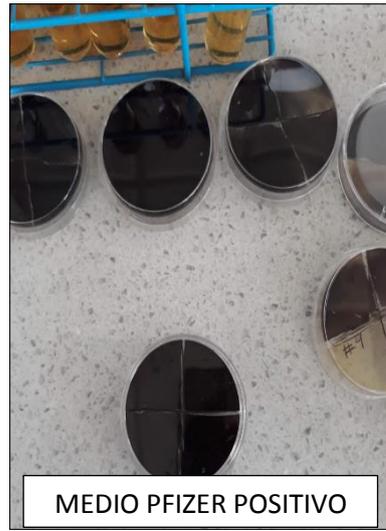


Fuente: las autoras

- **Fotografías de los resultados positivos para coliformes totales y fecales.**



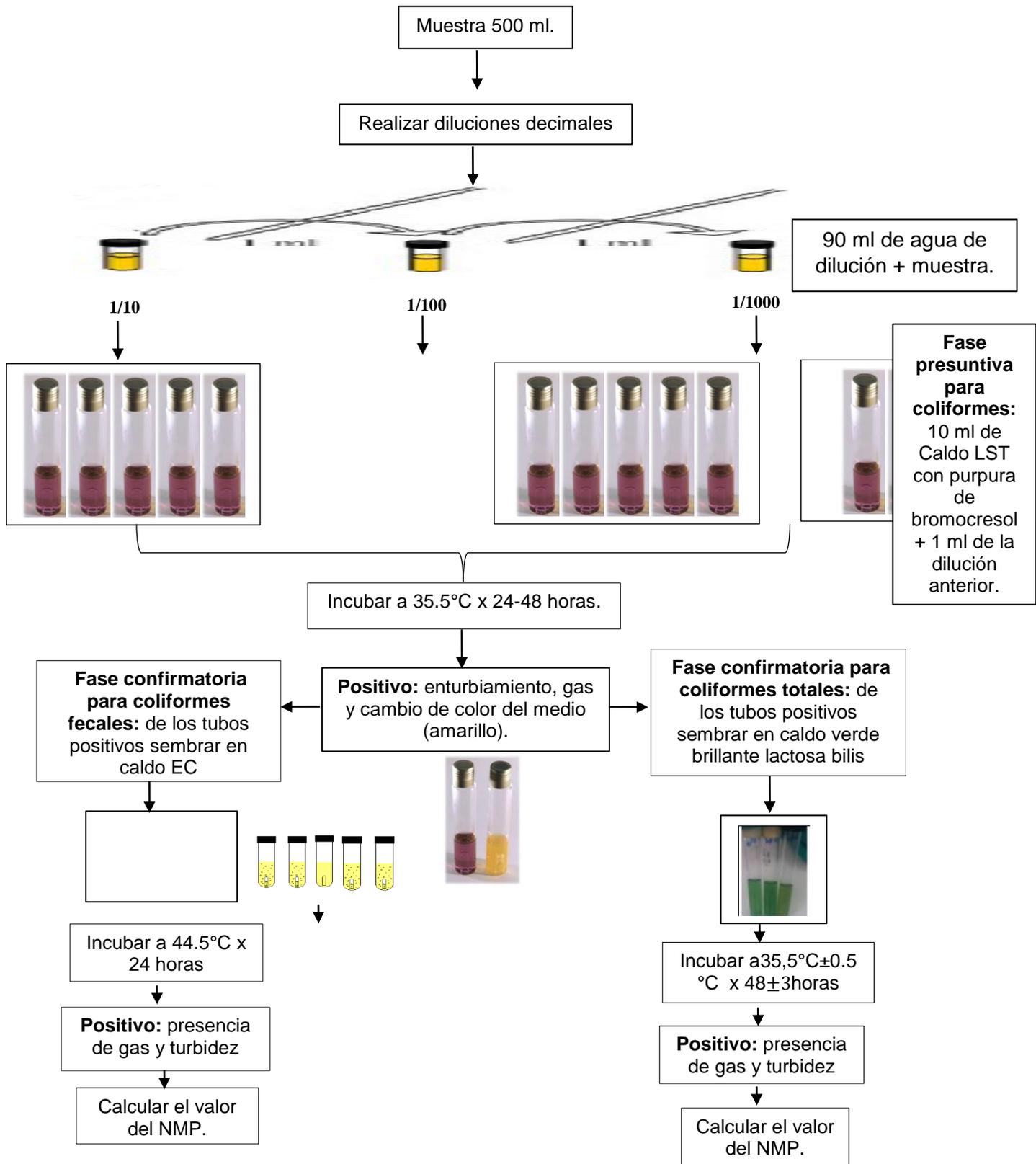
- **Fotografías de los resultados positivos para estreptococos**



Fuente: las autoras



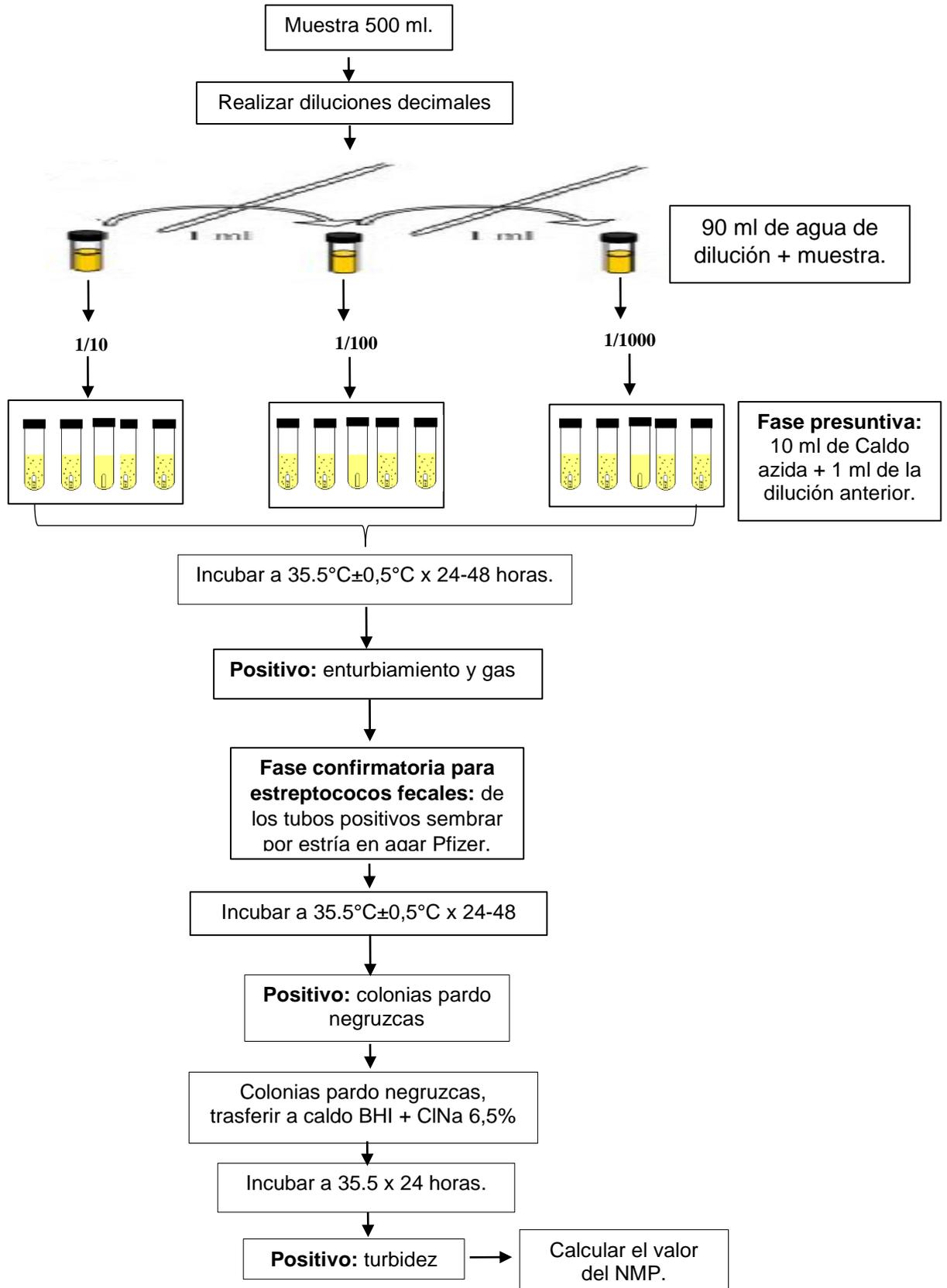
ANEXO 3. Esquema del procedimiento del NMP para coliformes fecales y totales



Fuente: Las autoras.



ANEXO 4. Esquema del procedimiento del NMP para estreptococos



Fuente: Las autoras.



ANEXO 5. Tabla de interpretación de resultados para NMP para 5 tubos

Combinación de tubos positivos			NMP/100mL	Límites de 95% de confianza		Combinación de tubos positivos			NMP/100mL	Límites de 95% de confianza	
				Inferior	Superior					Inferior	Superior
0	0	0	< 1.8	-	6.8	4	0	3	25	9.8	70
0	0	1	1.8	0.090	6.8	4	1	0	17	6.0	40
0	1	0	1.8	0.090	6.9	4	1	1	21	6.8	42
0	1	1	3.6	0.70	10	4	1	2	26	9.8	70
0	2	0	3.7	0.70	10	4	1	3	31	10	70
0	2	1	5.5	1.8	15	4	2	0	22	6.8	50
0	3	0	5.6	1.8	15	4	2	1	26	9.8	70
1	0	0	2.0	0.10	10	4	2	2	32	10	70
1	0	1	4.0	0.70	10	4	2	3	38	14	100
1	0	2	6.0	1.8	15	4	3	0	27	9.9	70
1	1	0	4.0	0.71	12	4	3	1	33	10	70
1	1	1	6.1	1.8	15	4	3	2	39	14	100
1	1	2	8.1	3.4	22	4	4	0	34	14	100
1	2	0	6.1	1.8	15	4	4	1	40	14	100
1	2	1	8.2	3.4	22	4	4	2	47	15	120
1	3	0	8.3	3.4	22	4	5	0	41	14	100
1	3	1	10	3.5	22	4	5	1	48	15	120
1	4	0	10	3.5	22	5	0	0	23	6.8	70
2	0	0	4.5	0.79	15	5	0	1	31	10	70
2	0	1	6.8	1.8	15	5	0	2	43	14	100
2	0	2	9.1	3.4	22	5	0	3	58	22	150
2	1	0	6.8	1.8	17	5	1	0	33	10	100
2	1	1	9.2	3.4	22	5	1	1	46	14	120
2	1	2	12	4.1	26	5	1	2	63	22	150
2	2	0	9.3	3.4	22	5	1	3	84	34	220
2	2	1	12	4.1	26	5	2	0	49	15	150
2	2	2	14	5.9	36	5	2	1	70	22	170
2	3	0	12	4.1	26	5	2	2	94	34	230
2	3	1	14	5.9	36	5	2	3	120	36	250
2	4	0	15	5.9	36	5	2	4	150	58	400
3	0	0	7.8	2.1	22	5	3	0	79	22	220
3	0	1	11	3.5	23	5	3	1	110	34	250
3	0	2	13	5.6	35	5	3	2	140	52	400
3	1	0	11	3.5	26	5	3	3	170	70	400
3	1	1	14	5.6	36	5	3	4	210	70	400
3	1	2	17	6.0	36	5	4	0	130	36	400
3	2	0	14	5.7	36	5	4	1	170	58	400
3	2	1	17	6.8	40	5	4	2	220	70	440
3	2	2	20	6.8	40	5	4	3	280	100	710
3	3	0	17	6.8	40	5	4	4	350	100	710
3	3	1	21	6.8	40	5	4	5	430	150	1100
3	3	2	24	9.8	70	5	5	0	240	70	710
3	4	0	21	6.8	40	5	5	1	350	100	1100
3	4	1	24	9.8	70	5	5	2	540	150	1700
3	5	0	25	9.8	70	5	5	3	920	220	2600
4	0	0	13	4.1	35	5	5	4	1600	400	4600
4	0	1	17	5.9	36	5	5	5	>1600	700	-
4	0	2	21	6.8	40						

Fuente: (American Public Health Association, 2005).