

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ACUICULTURA Y GESTIÓN AMBIENTAL



**Evaluación de la contaminación bacteriológica fecal en aguas
superficiales de la cuenca baja del río Tumbes, de mayo a
diciembre 2017**

Tesis

Para optar el grado académico de Maestro en Acuicultura y Gestión
Ambiental

Autor: Br. José Aracelio Rojas Peña

Tumbes, 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ACUICULTURA Y GESTIÓN AMBIENTAL



**Evaluación de la contaminación bacteriológica fecal en aguas
superficiales de la cuenca baja del río Tumbes, de mayo a
diciembre 2017**

Tesis aprobada en forma y estilo por:

Dr. David Edilberto Saldarriaga Yacila (presidente)
Código ORCID: 0000-0002-4919-8607

Dra. Rosa Liliana Solís Castro (secretaria)
Código ORCID: 0000-0002-1813-8644

Dra. Enedia Graciela Vieyra Peña (vocal y asesor)
Código ORCID: 0000-0001-6541-7075

Tumbes, 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ACUICULTURA GESTIÓN AMBIENTAL



**Evaluación de la contaminación bacteriológica fecal en aguas
superficiales de la cuenca baja del río Tumbes, de mayo a
diciembre 2017**

Los suscritos declaramos que la tesis es original en su contenido y
forma

Br. José Aracelio Rojas Peña (autor)
Código ORCID: 0009-0001-1191-9480

Dra. Enedia Graciela Vieyra Peña (vocal y asesor)
Código ORCID: 0000-0001-6541-7075

Tumbes, 2026



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
Licenciada
Resolución del Consejo Directivo N° 155-2019-SUNEDU/CD
ESCUELA DE POSGRADO
Tumbes – Perú

"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Tumbes, a los diecisiete días del mes de agosto del dos mil veintiséis, siendo las once horas treinta minutos en el aula N° 02 de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Tumbes, se reunieron los miembros del jurado calificador constituidos con la **RESOLUCIÓN N° 0539-2025/UNTUMBES-EPG-D** del diecinueve de setiembre del dos mil veinticinco presidido por el Dr. David Edilberto Saldarriaga Yacila, la Dra. Rosa Lilliana Solís Castro (secretaría) y la Dra. Enedia Graciela Vieyra Peña (vocal y asesor).

Instalado el jurado, se procedió a la evaluación, deliberación y calificación del acto de la sustentación de la tesis titulada: **"Evaluación de la contaminación bacteriológica fecal en aguas superficiales de la cuenca baja del río Tumbes, de mayo a diciembre 2017"**, presentado por el maestrando: **José Aracello Rojas Peña**, del programa de Maestría en Acuicultura y Gestión Ambiental.

Concluida la sustentación y absueltas las preguntas, por parte del sustentante y después de la correspondiente deliberación el jurado, conforme a lo normado en el artículo N° 111 del Reglamento de Tesis de la Universidad Nacional de Tumbes, declara al maestrando **APROBADO**..... por **UNANIMIDAD**.. con el calificativo de **..MUY BUENO**

Por lo anterior, el sustentante está apto para iniciar los trámites correspondientes y conducentes a la obtención del grado académico de **Maestro en Acuicultura y Gestión Ambiental**, en conformidad con lo normado en la Ley Universitaria N° 30220, el Estatuto, El Reglamento General, el Reglamento General de Grados Títulos y el Reglamento de Tesis de la Universidad Nacional de Tumbes.

Siendo las doce y treinta minutos, del mismo día, se dio por concluida la ceremonia académica, procediendo a firmar el acta en presencia de público asistente.

Dr. David Edilberto Saldarriaga Yacila
Presidente
DNI N° 00320699
<https://orcid.org/0000-0002-4919-8607>

Dra. Rosa Lilliana Solís Castro
Secretaría
DNI N° 17628592
<https://orcid.org/0000-0002-1813-8644>

Dra. Enedia Graciela Vieyra Peña
Vocal y Asesor
DNI N° 00217076

<https://orcid.org/0000-0001-6541-7075>

Reporte de similitud (Turnitin)



Página 1 de 59 - Portada

Identificador de la entrega: trnoid::3117:608060051

Jose Aracelio Rojas Peña

Tesis maestría de José Aracelio Rojas Peña 15.07.2026

Informe final de tesis de José Aracelio Rojas Peña 15.07.2026

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trnoid::3117:608060051

Fecha de entrega

15 jul 2026, 10:46 GMT-5

Fecha de descarga

15 jul 2026, 10:49 GMT-5

Nombre del archivo

Tesis maestría de José Aracelio Rojas Peña 15.07.2026.docx

Tamaño del archivo

8.0 MB

55 páginas

14.068 palabras

74.776 caracteres

Dra. Enedia Graciela Vieyra Peña
Orcid: 0000-0001-6541-7075
Asesora de tesis



Página 1 de 59 - Portada

Identificador de la entrega: trnoid::3117:608060051

5% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 5%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 3%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Dra. Enedia Graciela Vieyra Peña
Orcid: 0000-0001-6541-7075
Asesora de tesis

Fuentes principales

- 5% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 3% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	tesis.unap.edu.pe	2%
2	Trabajos del estudiante	Universidad de Salamanca on 2019-05-26	<1%
3	Internet	dspace.unitru.edu.pe	<1%
4	Internet	es.scribd.com	<1%
5	Internet	hdl.handle.net	<1%
6	Trabajos del estudiante	Universidad Ort on 2019-08-08	<1%
7	Publicación	Marco Paz-y-Miño, Carmen Barzola, César Lazcano, Milagros Ponce, Jorge León. "...	<1%
8	Internet	doczz.net	<1%
9	Internet	pt.scribd.com	<1%
10	Trabajos del estudiante	uncedu on 2025-05-18	<1%
11	Internet	revistas.javeriana.edu.co	<1%

Dra. Enedia Graciela Vieyra Peña
Orcid: 0000-0001-6541-7075
Asesora de tesis

12	Internet	sinia.minam.gob.pe	<1%
13	Trabajos del estudiante	Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez on 2020-07-10	<1%
14	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo on 2016-03-12	<1%
15	Internet	repositorio.uladech.edu.pe	<1%
16	Internet	1library.co	<1%
17	Internet	eprints.ucm.es	<1%
18	Internet	repositorio.ucss.edu.pe	<1%
19	Internet	repositorio.unu.edu.pe	<1%
20	Internet	www.oalib.com	<1%



Dra. Enedia Graciela Vieyra Peña
Orcid: 0000-0001-6541-7075
Asesora de tesis

DEDICATORIA

En primer lugar a nuestro divino Dios,
fuente de fortaleza y guía en todo
momento, por darme la energía, sabiduría
y las fuerzas para superar cada desafío.

En segundo lugar a mis padres, allá
en el cielo, quienes me enseñaron el
valor del esfuerzo y la perseverancia
sin límites.

A mis hijos con quienes compartimos
juntos las aulas de la Universidad
Nacional de Tumbes en diferentes
especialidades. A mi esposa, mis
nietecitos y familiares.

José Aracelio Rojas Peña

AGRADECIMIENTO

A Dios padre celestial, por ser mi guía en todo momento, quien nos da la fuerza, vigor, solidez, existencia y bienestar para seguir adelante. A las autoridades competentes de la Universidad Nacional de Tumbes por el financiamiento otorgado al Proyecto de Investigación de canon y sobre canon petrolero.

Expresar mi gratitud a quienes hicieron posible este trabajo de tesis. Jurados, asesores y colaboradores en especial al docente de Bioq. Rubén Hernán Alfaro Aguilera por su apoyo logístico incondicional, así como también técnicos de laboratorios. A mi esposa, hijos y familiares, a mis colegas y compañeros de la UNTumbes. Infinitas gracias de todo corazón.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
I. INTRODUCCIÓN.....	18
II. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	22
2.1. Bases teóricas.....	22
2.1.1. El agua de los ríos	22
2.1.2. Ecosistemas dulce acuícolas a nivel internacional	23
2.1.3. La contaminación de los ríos en el Perú.....	24
2.1.4. Calidad de agua.....	25
2.1.6. Contaminación del agua	27
2.1.7. Aguas residuales	27
2.1.8. Impacto contaminante	28
2.2. Antecedentes	30
3. MATERIALES Y MÉTODOS	36
3.1. Lugar y periodo de ejecución de la investigación	36
Figura 1.....	36
3.2. Tipo y diseño de investigación	37
3.3. Población y muestra de estudio	37
3.6. Ubicación geográfica de puntos de muestreo	39
3.7. Métodos, técnicas e instrumentos utilizados	40
3.8. Método del Número Más Probable (NMP)	40
3.9. Etapa presuntiva	40
3.10. Etapa confirmativa.....	41
3.11. Confirmación de coliformes.....	41
3.12. Confirmación de <i>Escherichia coli</i>	41
3.13. Detalles de obtención de las muestras.....	41
3.14. Procesamiento y análisis de datos.....	43
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
4.1. Coliformes fecales.....	48
4.2. Tirante de agua en diferentes zonas del río Tumbes	52

4.3.	Parámetros físico químicos en zonas de muestreo del río Tumbes	53
4.4.	Temperatura del agua en diferentes zonas del río Tumbes	53
4.5.	Oxígeno disuelto en diferentes zonas del río Tumbes.	54
4.7.	Salinidad (‰) en diferentes zonas del río Tumbes.	57
5.	CONCLUSIONES	60
6.	RECOMENDACIONES	61
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo en las zonas de estudio de Tumbes.....	38
Tabla 2. Resultados de coliformes fecales expresados en NMP/100ml por zona investigada en río Tumbes, año 2017.....	47
Tabla 3. Valores del tirante de agua (m) del río Tumbes registradas <i>in situ</i> en las diferentes zonas de muestreos.....	51
Tabla 4. Valores de temperatura (°C) del agua del río Tumbes registradas <i>in situ</i> en las diferentes zonas de muestreo.....	52
Tabla 5. Valores del oxígeno disuelto (mg/l) del agua del río Tumbes registradas <i>in situ</i> en las diferentes zonas de muestreo	53
Tabla 6. Valores del pH del agua del río Tumbes registradas <i>in situ</i> en las diferentes zonas de muestreo.....	38
Tabla 7. Valores de la salinidad (‰) del agua del río Tumbes registradas <i>in situ</i> en las diferentes zonas de muestreo.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de laboratorio de Bioquímica de la Facultad de Ciencias de la Salud Pampa Grande Ciudad Universitaria34 Zona 1 ubicado en San Juan, Zona 2 ubicado en Garbanzal, zona 3 Malecón Tumbes y zona 4 Costado Cuartel Coloma.....	36
Figura 3. Muestras en recipientes con medidas precisas de capacidad 500 ml cantidad de muestra por frasco 200 ml	40
Figura 4. Procedimiento para evaluación de coliformes de forma presuntiva	42
Figura 5. Procedimiento para evaluación de coliformes totales prueba confirmativa.....	43
Figura 6. Procedimiento de prueba confirmativa de coliformes fecales.	44
Figura 7. Resultados coliformes fecales en el río Tumbes, de acuerdo con las zonas de muestreo seleccionadas, año 2017	47
Figura 8. Panel fotográfico de ejecución de tesis: a) Preparación de medio de cultivo, b) tubos de ensayo con medio de cultivo, c) Observación de coliformes fecales o termotolerantes y d) Siembra de coliformes fecales o termotolerantes.....	78

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. ANOVA de los parámetros ambientales y coliformes en cada zona de muestreo	70
Anexo 2. Prueba de Duncan a tirante de agua, oxígeno disuelto y pH entre cada zona de muestreo.....	71
Anexo 3. ANOVA de los parámetros ambientales y coliformes fecales con respecto a los meses de muestreo	72
Anexo 4. Prueba de Tukey a tirante de agua, temperatura y pH entre cada mes de muestreo	73
Anexo 5. Análisis de regresión lineal múltiple entre número más probable de coliformes fecales o termotolerantes y los parámetros ambientales	74
Anexo 6. Patrones de Conservación de Recursos Acuáticos	75
Anexo 7. Clasificación de Calidad de Aguas de Cuerpos Superficiales	75
Anexo 8. Patrones Calidad Ambiental Categoría 3: Regadío Vegetal	76
Anexo 9. Patrones Ambientales Categoría 3: Regadío Vegetal y Bebida Animal ..	76
Anexo 10. Para medir coliformes en la habilidad de tubos múltiples en NMP y con un límite de confianza del 95%, para diversas combinaciones de resultados positivos, si se usan cinco tubos para cada dilución (10 ml, 1,0 ml y 0,1 ml) (FUNASA, 2013)	77
Anexo 11. Panel fotográfico de ejecución de tesis	78

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la contaminación bacteriológica fecal y determinar las zonas críticas de contaminación en la cuenca baja del río Tumbes. El estudio se realizó en cuatro puntos de muestreo: San Juan (N: 9598694; E: 562609), Garbanzal (N: 9601828; E: 561431), Malecón Tumbes (N: 9604984; E: 560144) y Cuartel Coloma (N: 9605268; E: 559833). Previamente se registraron los parámetros fisicoquímicos del agua y el muestreo se efectuó siguiendo los lineamientos establecidos por la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA). Se recolectaron muestras de agua de 200 ml por triplicado en recipientes de vidrio estériles, las cuales fueron trasladadas al Laboratorio de Microbiología y Parasitología de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Nacional de Tumbes, para su procesamiento y análisis. Se emplearon agua peptonada bufferada, caldo lauril sulfato, caldo bilis verde brillante y caldo EC, utilizando el método del Número Más Probable (NMP) para la determinación de coliformes fecales. Los datos obtenidos fueron sistematizados en tablas y analizados, aplicándose un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$. La investigación fue de tipo descriptiva y de diseño no experimental longitudinal. Los resultados evidenciaron una elevada contaminación bacteriológica fecal en los sectores ubicados desde la ciudad de Tumbes hacia aguas abajo, registrándose valores superiores a 2000 NMP/100 ml, los cuales superaron los límites establecidos por la normativa nacional para cuerpos de agua de Categoría III según el D.S. N° 002-2008-MINAM. Se concluyó que dichas zonas presentaron altos niveles de contaminación microbiológica, representando un riesgo para la salud pública, restringiendo su uso recreativo y generando efectos negativos sobre la calidad ambiental y el equilibrio del ecosistema acuático de la cuenca baja del río Tumbes.

Palabras clave: Análisis microbiológico, coliformes fecales, método NMP.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate fecal bacteriological contamination and determine critical contamination zones in the lower Tumbes River basin. The study was conducted at four sampling points: San Juan (N: 9598694; E: 562609), Garbanzal (N: 9601828; E: 561431), Malecón Tumbes (N: 9604984; E: 560144), and Cuartel Coloma (N: 9605268; E: 559833). The physicochemical parameters of the water were recorded beforehand, and sampling was carried out following the guidelines established by the General Directorate of Environmental Health (DIGESA). Water samples of 200 ml were collected in triplicate in sterile glass containers and transported to the Microbiology and Parasitology Laboratory of the Faculty of Health Sciences at the National University of Tumbes for processing and analysis. Buffered peptone water, lauryl sulfate broth, brilliant green bile broth, and EC broth were used, employing the Most Probable Number (MPN) method for the determination of fecal coliforms. The data obtained were systematized in tables and analyzed, applying an analysis of variance (ANOVA) with a significance level of $\alpha = 0.05$. The research was descriptive and employed a longitudinal, non-experimental design. The results showed high levels of fecal bacteriological contamination in the areas located downstream from the city of Tumbes, with values exceeding 2000 MPN/100 ml, surpassing the limits established by national regulations for Category III water bodies according to Supreme Decree No. 002-2008-MINAM. It was concluded that these areas presented high levels of microbiological contamination, representing a risk to public health, restricting their recreational use, and generating negative effects on the environmental quality and balance of the aquatic ecosystem of the lower Tumbes River basin.

Keywords: Microbiological analysis, fecal coliforms, MPN method.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la contaminación de los medios acuáticos constituye un problema creciente que se viene dando en aumento, en ese contexto ha permitido analizar la las bacterias fecales de las aguas de San Juan de la Virgen, Garbanzal, malecón tumbes y costado del Cuartel Coloma, con el objetivo de evaluar la contaminación bacteriológica fecal de las aguas del río y determinar las zonas críticas de contaminación bacteriológica fecal del líquido vital elemento valioso muypreciado para zonas aledañas y ciudad tumbesina. La utilización del agua, que no cuenta con una buena calidad, provoca numerosas enfermedades ligadas a infecciones por bacterias por la existencia de descargas de aguas servidas contaminadas que representan un mayor desafío para la humanidad en los próximos años venideros. En naciones con escasas reservas de agua dulce, su situación se agravará progresivamente.

Las aguas contaminadas generan una serie de problemas en los flujos de agua a causa de los variados residuos que contienen, especialmente en zonas receptoras que serán cada vez más insuficientes para resistir.

Por lo tanto, estas circunstancias están agravando gradualmente provocando un desorden en numerosas regiones de nuestro país y a nivel global. En numerosas áreas densamente pobladas, los residuos vertidos superan las capacidades de captación de ríos, lagos y entornos litorales o estuarios. A nivel mundial se estima que más del 80% de las aguas residuales se vierten al medio ambiente sin ser tratadas adecuadamente; en los países pobres, únicamente el 8% de los efluentes municipales e industriales reciben algún tipo de tratamiento (WWAP, 2017).

En el Perú existe una estimación del 70 % de las aguas residuales no tratadas (Larios-Meño et al., 2015).

Los riesgos asociados a las aguas residuales no tratadas tienen un impacto negativo en la salud pública y en los ecosistemas, así como en sus componentes.

Esto se debe a que incluyen microorganismos patógenos como hongos, bacterias, virus, parásitos e incluso metales pesados, contaminantes emergentes y disruptores endocrinos. En consecuencia, afectan de manera general a todos los ecosistemas receptores (WWAP, 2017). Asimismo, estos efectos impactan de manera adversa la economía de la zona, el entorno natural y el bienestar de las personas (PNUMA, 2015).

Según Rodríguez et al. (2016) calcula que el 4% de los fallecimientos a nivel global están relacionados con aspectos de higiene, saneamiento y la pureza del agua. En naciones en desarrollo, este número es mayor debido a la inadecuada gestión de desechos líquidos y los escasos sistemas de tratamiento de agua.

El agua que fluye en los ríos es un recurso natural altamente apreciado y un componente esencial para mejorar la calidad de vida humana, así como sus actividades. Sin embargo, el empleo intenso de este medio, combinado con el aumento poblacional global, dando como resultado reducción alarmante de la disponibilidad del líquido vital en fuentes de abastecimiento en ecosistemas ribereños. Este escenario amenaza la disponibilidad del recurso esencial para la vida (Siew-Leng et al., 2012; Avila de Navia & Estupiñan, 2009; Ram et al., 2008; Ashbolt, 2004 y Galindo et al., 2005).

La parte inferior de la cuenca del río Tumbes está siendo impactada de manera continua por las expulsiones de aguas residuales urbanas, donde las bacterias coliformes fecales son las más comunes, albergando una amplia gama de microorganismos patógenos intestinales como *Salmonella*, *Shigella*, *Yersinia*, *Campylobacter*, *Aeromonas*, *Vibrio*, *Pasteurella*, *Francisella*, *Leptospira*, protozoos y diversos tipos de virus. Cuando estos microorganismos se vierten en cuerpos de aguas naturales, su presentación indica contaminación fecal y representan un peligro de transmisión de enfermedades (Paz, et al., 2003).

Los agentes involucrados que participan en la transmisión hídrica pueden provocar diversas enfermedades tanto en seres humanos como en animales, con distintos grados de severidad, que van desde gastroenteritis leve hasta casos graves como diarreas mortales, disentería, hepatitis o fiebre tifoidea. Por ello, es fundamental realizar un seguimiento a microbianos nocivos que habitan en ambientes ribereños mitigando los posibles riesgos para la salud. No obstante, existe un acuerdo general

acerca de la complejidad de identificar todos los microbios perjudiciales en estos entornos desagradables, pues aquel proceso requeriría diversos tipos de estudio, altos costes disponibilidad de recintos y especialistas dedicados a fines.

El ecosistema dulceacuícola de Tumbes está expuesto a contaminación por aguas servidas de los vertimientos de las poblaciones ribereñas acrecentándose por falta de pozas de oxidación para tratamientos respectivos de estas aguas antes de ser evacuadas al río Tumbes, esta situación está provocando ciertos problemas en la parte baja de la cuenca, contaminando el agua vital y los cultivos en la orilla rivereña del mencionado río (Bermejo y Cruz, 2011).

Así, al mencionar la polución, nos referimos a las aguas residuales de las zonas urbanas que se vierten al río Tumbes, lo que implica la presencia de contaminantes excrementicios. Nuestra realidad pone en riesgo la zona baja de nuestro río, ya que estos líquidos son contaminantes y afectan principalmente a los humanos. Los orígenes de esta contaminación provienen de las descargas efectuadas desde zonas altas hasta la ciudad de Tumbes, donde se liberan grandes volúmenes aguas residuales domésticas sin tratar, con un bombeo de 400 litros por segundo durante 40 minutos de cada hora.

El agua de los ríos es vista hoy en día como un recurso esencial que necesita ser salvaguardado de su uso irracional, de igual manera que el control de la polución generada por la acción humana. Esto es crucial, ya que la manera en que se gestione afectará la salud, el entorno y el progreso social de comunidades. Los diversos patógenos que afectan al río Tumbes incluyen, entre otros, la polución bacteriana fecal. Esta se produce por los residuos de aguas servidas de las comunidades aledañas, las cuales descargan sus efluentes sin tratamiento en el río Tumbes.

El agua que fluye en este río es regularmente abundante, especialmente durante la temporada de lluvias; sin embargo, su pureza se ve dañada por las acciones humanas de las comunidades cercanas a sus orillas. Por lo tanto, estas acciones pueden provocar un aumento continuo de coliformes fecales en la parte baja del río Tumbes, lo que representa un obstáculo para lograr un uso efectivo del recurso. Esto pone en riesgo tanto la calidad como la cantidad del suministro, afectando la

inmunidad humana, las actividades pecuarias, cultivos y conservación del medio ambiente, por lo que su relación debe ser abordada.

Se necesita la difusión en la comunidad para entidades que realicen proyectos y actividades con una perspectiva económica y social. Asimismo, se presentan las recomendaciones y hallazgos obtenidos de la indagación, junto con el repertorio de referencias utilizadas y algunos apéndices que se consideraron indispensables.

Por ello, esta investigación tuvo como objetivo:

Evaluar las aguas del río Tumbes y determinar el número más probable (NMP/100ml) de bacteria fecales, al igual que, identificar las áreas problemáticas de contaminación por bacterias fecales en la parte baja de la cuenca del río Tumbes.

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Bases teóricas.

2.1.1. El agua de los ríos

Para la vida, el agua es un recurso esencial y para las labores que incluyen la agricultura (70% y 80%), la industria (20%) y el consumo doméstico (6%). Se la tiene en alta estima como uno de los recursos más valorados del mundo (Arcos et al., 2005) y es esencial conservar y proteger su pureza natural para garantizar que esté disponible para las generaciones venideras (ONU, 2014).

Este recurso hídrico originario limitado, esencial para la vida, expuesto a varios factores que pueden comprometerlo. No solo es crucial que este recurso se encuentre en el volumen correcto, constituye un medio imprescindible para la existencia de muchos seres vivos susceptible, sensible a distintos factores. No solo es importante que este recurso esté presente en cuantía adecuada, sino que también debe cumplir con los estándares necesarios de excelencia. La eficacia biológica de este líquido permite medir diversidades de géneros la relevancia ecológica de las comunidades de organismos que conviven en un río o en una parte particular de él (Harwood et al., 2005).

Los ríos representan una parte de entornos acuáticos más esencial de agua dulce, y su existencia obedece completamente de sus patrones. Así mismo, es importante proceder con cuidado para no alterar esos patrones al intervenir en el río y su área de drenaje, ya que una gestión inadecuada del agua o su explotación excesiva.

Podrían ocasionar efectos devastadores en el ecosistema. Sin embargo, las acciones humanas impactan significativamente, haciéndolos sensibles a polución. Provocando alteración en su estructura, lo que compromete su aprovechamiento y/o reutilización, ya que dificulta la recuperación nativa automática.

Mihelcic y Zimmerman, (2011) caracterizan la contaminación como la incorporación de un componente o sustancia al entorno en grados que conducen a que se pierda el uso provechoso de un recurso, así como a poner en riesgo la salud de las personas y la vida silvestre o los ecosistemas.

La importancia de ríos trasciende las fronteras y las preocupaciones regionales, puesto que en ellos se halla una porción significativa del agua potable del planeta, esencial para sustentar la vida. Proteger y conservar la pureza de sus aguas es fundamental para garantizar que el recurso hídrico esté disponible en cantidad y calidad para abastecer organismos vivos (Meybeck & Helmer, 1996).

2.1.2. Ecosistemas dulce acuícolas a nivel internacional

A pesar de las medidas de control y prevención disponibles, numerosos países reportan contaminación en sus aguas superficiales. Se sugiere que, con el aumento de la población global, también se incrementa la demanda sobre los recursos hídricos. Según informes de la OMS del tiempo remoto, han mencionado que la población mundial se ha triplicado mientras que el uso del agua se ha multiplicado por seis (WHO 2011).

Naciones avanzadas como Francia, Estados Unidos, Canadá, Japón y el Reino Unido reportan un elevado nivel de contaminación biológica en varios de sus ecosistemas en agua dulce y destacan la necesidad de implementar regulaciones severas en los desechos que se vierten en los cuerpos acuáticos mediante legislaciones efectivas (García, Ksoll et al., 2007; Anon, 2000; Hoshima et al. 2001).

En las naciones en desarrollo, el panorama se presenta aún más complicado. Se calcula que más del 90% de las aguas utilizadas son descargadas directamente a los drenajes naturales, a través de métodos de desagüe abiertos sin ningún tratamiento previo (WHO, 2011).

Circunstancias como tales, sumada al inadecuado drenaje, favorece la polución de recursos acuáticos frívolos de aquellos países (Bitton, 2005; Delgado et al., 2008).

Se ha reportado un deterioro gradual de la calidad de los recursos acuáticos en Colombia, México, Puerto Rico, Brasil y Argentina, evidenciando una condición muy desfavorable en los ecosistemas de acuicultura dulce superficial de sus ciudades más importantes (Campos, Pinilla et al., 2008; Martínez et al., 2009; Galindo et al., 2005).

2.1.3. La contaminación de los ríos en el Perú

En el 2016, ANA ha realizado estudios a 129 cuencas de nuestra nación, ha expuesto, vulneraciones de contaminación de todos los ríos. Modificando las características del agua apta para el consumo humano y para usos agrícolas e industriales, esto se origina primordialmente por el derramamiento de líquidos excedentes y desechos sólidos provenientes de comunidades situadas en las proximidades de los cauces.

El panorama que se ha formado a causa de los contaminantes, la falta de métodos alternativos para eliminar líquidos desechados y el aumento de urbanizaciones, pone en peligro la purificación natural del agua (Pérez y Valdés, 2011). En este panorama, los flujos líquidos originarios se ven amenazados por el flujo y servidumbre abundantes de líquidos usados.

El agua es un recurso esencial y fundamental para la vida y actividades como el uso doméstico (6%), la industria (20%) y la agricultura (70%-80%). Se considera uno de los recursos más importantes de nuestro planeta, según Arcos et al. (2005), y es importante conservarla y preservar su calidad natural para asegurar su sostenibilidad y disponibilidad para las generaciones futuras (ONU, 2014).

Por lo tanto, a pesar de que el agua es un recurso natural escaso, es esencial para la vida humana y el mantenimiento del medio ambiente. Sin embargo, debido al rápido crecimiento económico y humano, así como a la inadecuada utilización de este recurso, ha experimentado un alarmante deterioro. Esto ha resultado en la aparición de componentes tóxicos no deseados y una alteración en las concentraciones de sus elementos naturales, los cuales son generados por diversas actividades humanas que interactúan con diferentes compartimentos ambientales.

Las aguas residuales (urbanas, industriales o provenientes de la agricultura o ganadería) constituyen el principal canal de ingreso de estos contaminantes al entorno acuático. La prevalencia de estas aguas residuales depende del tipo de contaminación ocasionada y del nivel de tratamiento o atenuación natural (Barceló y López de Alda, 2009).

En ocasiones, la polución que ingresa al medioambiente en un sitio particular afecta a cientos o miles de kilómetros de distancia; este fenómeno se llama contaminación transfronteriza. Un par de ejemplos son los residuos radiactivos que viajan por océanos desde plantas nucleares hacia países cercanos y las sustancias químicas que fluyen por ríos hasta llegar a fronteras lejanas (Singh y Gupta, 2017).

2.1.4. Calidad de agua

Lo que se entiende comúnmente por calidad del agua es las características químicas, físicas y biológicas del agua en cuanto a su conveniencia para un uso particular. Con este fin, se establecen estándares de calidad del agua para salvaguardar los diversos usos asignados a los cuerpos acuáticos.

Por consiguiente, el gobierno tiene que vigilar estos cuerpos de agua para garantizar que se cumplan las expresiones estándar, el uso que se les dé a estas fuentes de agua ya sea para la industria, el consumo humano, la agricultura, el esparcimiento o la pesca, determinará esto, cada uno de estos usos posee sus estándares específicos (Daniels et al. 2014).

2.1.5. Microorganismos indicadores de contaminación fecal

Se denominan termotolerantes, dado que pueden soportar temperaturas altas y reproducirse fuera del aparato digestivo de animales homeotermos. Esta facultad se ve favorecida por determinadas condiciones de materia orgánica, humedad, pH, etcétera (Arcos et al. 2005). La presencia de coliformes totales se interpreta en función del tipo de agua: deberían estar ausentes en el 85% de las muestras de aguas tratadas y potables, y si están presentes, su número no debe exceder los 2-3 coliformes. Esta contaminación, aunque es baja, no debería aparecer en tres muestras recogidas a lo largo de días seguidos (Arcos et al., 2005). La presencia de coliformes totales indica que la contaminación está ocurriendo, aunque no se

pueda determinar su fuente; sin embargo, señala que hubo fallas en el tratamiento, en la distribución o incluso en las fuentes domiciliarias (Harwood et al. 2005).

En investigaciones de bacterias, se han empleado diversos tipos de indicadores que permiten organizar, medir y evaluar, siendo algunos de los más comunes aquellos que reflejan ciertos parámetros esenciales requeridos por la mayor parte de las regulaciones a nivel internacional. Estos abarcan coliformes totales, fecales, *Escherichia coli* y *Enterococcus faecalis* destinados a la regulación de aguas potables, residuales y de uso público. Asimismo, se ha sugerido que *Clostridium perfringens* puede servir como un indicativo de polución fecal a distancia, en situaciones de aguas subterráneas, y como una posible indicación de la existencia de quistes de protozoos (Payment y Franco, 1993; Ferguson, et al., 1996).

Los microorganismos componen conjuntos variados con una extensa diversidad en cláusulas de naturaleza de géneros y especies. Dentro las familias *Enterobacteriaceae* se encuentran las especies *Escherichia*, *Klebsiella*, *enterobacter* y *Citrobacter*, integran la microbiota intestinal, generalmente sin inducir a patologías e inclusive favorecen la inmunidad como las bacterias facultativas aerobias y anaerobios Gram negativas no formadoras de esporas, de forma bacilar, que fermentan la lactosa generando ácido y gas tras una incubación de 48 horas a 35°C (APHA, 1998).

Así mismo Gram negativas, no formadoras de esporas, bacilares, que desarrollan colonias rojas con brillo metálico después de la incubación de 24 horas a 35 grados centígrados en medios de cultivos Endo type más lactosa. La clasificación de componentes del grupo coliforme ha expandido su alcance para abarcar bacterias con otras propiedades, reaccionando igual que galactosidasa efectiva o reacciona como catalizador de base (APHA, 1998).

El acuerdo universal en cuanto a la complejidad de identificar presencia de microorganismos perjudiciales y dañinos inmersos en fluidos contaminados, dado que tal identificación requeriría muchas jornadas de estudio, altos costes, mano de obra y recintos. Ante estos retos y la urgencia de determinar rápidamente y de manera fiable la existencia de patógenos contagiosos en líquidos, se ha propuesto uso de microorganismos indicadores. El uso de bacterias que señalan contaminación con heces es un procedimiento aceptado de manera universal. Los

microorganismos más frecuentemente empleados para estos propósitos incluyen los coliformes totales, coliformes, *Escherichia-coli* y *enterococos* gracias a su procedencia intestinal (Arcos et al., 2005; Rompré et al., 2002; Ashbolt et al. 2001).

2.1.6. Contaminación del agua

Los contaminantes presentes en el agua pueden clasificarse de la siguiente manera (Zarza, 2020; Singh et al. 2020): Sedimentos y material suspendido engloba las partículas que se separan del suelo y son arrastradas por la escorrentía. Los sedimentos y varios sólidos en la suspensión es la principal causa de contaminación en términos de masa total.

Microorganismos patógenos, trata de una variedad de organismos microscópicos que causan enfermedades como el cólera, la tifoidea, la gastroenteritis, la hepatitis y otras (incluyen bacterias, virus, protozoos y más). Por lo general, estos organismos llegan a los recursos hídricos junto con las heces y otros residuos orgánicos. La mayoría de los patógenos que se encuentran en las aguas residuales tienen la capacidad de generar enfermedades graves del aparato digestivo; otros, como el virus de Norwalk y la hepatitis, son virus; Candida es un hongo común; Salmonella es una bacteria que puede intoxicar al ser humano; por último, los parásitos *Cryptosporidium* y *Schistosoma* pueden dar lugar a diarrea, así como también as enfermedades gastrointestinales severas pueden ser causadas por patógenos presentes en aguas residuales (Dwivedi, 2017).

2.1.7. Aguas residuales

El agua residual es aquella que se ha empleado con un propósito consuntivo y a la que se le han añadido, como consecuencia de dicho uso, componentes que dañan su calidad original (contaminación), lo que reduce su potencial de utilización (Silva, 2004). En la mayoría de los países en desarrollo, no existen sistemas adecuados para el tratamiento de sus aguas residuales. En Perú, por ejemplo, el 70% de estas aguas no reciben ningún tipo de tratamiento y solo el 14% (o sea, 10) de las 143 plantas de tratamiento que hay cumplen con la normativa vigente para su funcionamiento correcto (Larios Meoño et al., 2015).

Los residuos domésticos son el resultado de desechos del público que son transportados por el agua. Aproximadamente, su composición es 99% agua y 1%

sólidos; de estos sólidos, el 30% es inorgánico y el 70%, orgánico. De la parte orgánica, un 25% son carbohidratos, un 10%, grasas y un 65%, proteínas. La fracción inorgánica de las aguas residuales está compuesta por metales, sales y arenilla en proporciones diversas (Singh et al., 2020).

Las aguas residuales urbanas, como resultado de su uso previo por parte de seres humanos, representan varios peligros y deben desecharse debido a que contienen microorganismos y/o sustancias dañinas. También se clasifican en función de su origen: aguas negras o residuos domésticos (que provienen de orina y heces humanas), aguas blancas (que vienen de la lluvia, el hielo, la nieve, el riego y la limpieza de espacios públicos, calles y parques), residuos industriales (producidos por procesos en fábricas y centros industriales) y aguas residuales agrícolas (que derivan de actividades agropecuarias en áreas rurales) (García, 2014).

2.1.8. Impacto contaminante

La carga contaminante alude a la cantidad de contaminantes que se encuentran en el agua residual. Dichas concentraciones fluctúan constantemente; sin embargo, su efecto sobre los diversos elementos del medio ambiente puede irse deteriorando gradualmente, ocasionando daños en la salud de las personas, los animales y la vegetación.

2.1.8.1. Variedades de cuerpos líquidos

Desde los márgenes de Ecuador hasta el punto de succión de agua por entidad privada Unidad Ejecutora de Servicios de Saneamiento (ATUSA), este recurso se utiliza para mejorar los patrones de consumo humano en todo entorno tumbesino, siendo catalogadas legalmente clase II. Estos líquidos son utilizados a diario en todos los domicilios previamente sometidas a tratamientos análogos y/o procesos de mezclas decantación, filtrado, desinfecciones validadas aplicadas con supervisión del departamento de salud.

A partir de la estación de bombeo del líquido vital para consumo, realizada por la Empresa de (ATUSA), hasta su salida al océano pacífico, sus fluidos son empleados para la irrigación de plantas que se consumen crudas y para uso animal, se categoriza como clase III aguas utilizadas para irrigar vegetales destinados al consumo humano y animal.

2.1.8.2. Tipos de parámetros

a) Parámetro tirante de nivel de agua

Es la distancia vertical de un conducto canal o río refiere a la medida de columna de agua que en este contexto indica la profundidad del río Tumbes.

b) Parámetro de temperatura

Es el grado de frío o calor de los cuerpos o del ambiente, es un indicador importante en todos los cuerpos receptores tales como en mares, ríos, lagos etc., debido a que el calor influye de manera opuesta en la capacidad de disolución del oxígeno en el agua, lo que significa que, al aumentar la temperatura, la disolución del oxígeno disminuye. Por otro lado, el calor impacta de manera directamente proporcional en el metabolismo de los seres vivos que son poiquilotermos, o que también se les llama ectodérmicos o de sangre fría, la subida de calor aumenta la disolución de las sales, ocasionando cambios de la conductividad y el pH (Murgel, 1984).

c) Parámetro potencial hidrógeno (pH)

Es una medición que indica el nivel de acidez o alcalinidad del agua. Se relaciona con la concentración de iones de hidrógeno que se encuentran en el agua. La escala logarítmica del pH abarca números desde 0 hasta 14 en soluciones de agua. En cuerpos de agua con baja basicidad, los desechos ácidos, con un pH inferior a 6, disminuyen el potencial hidrogeno del agua nativa menor que los límites aceptables para especies ribereñas el pH entre 5 y 9, semejante ocurre con desechos básicos que tienen un pH mayor a 9. Los metales pesados se disuelven en el agua con pH ácido, mientras que un pH básico causa que se precipiten (Glynn y Heinke, 1999).

d) Parámetro de oxígeno disuelto

Es uno de los indicadores principales de contaminación, más relevantes que define la calidad de las aguas superficiales, ya sean ríos, lagos o lagunas. La altitud, la temperatura del agua y el tipo de cuerpo acuático determinan su concentración. Su relevancia proviene del papel que desempeña en la preservación de la vida en el agua.

La concentración de oxígeno disuelto se reduce a medida que la temperatura del agua sube; este fenómeno depende de la presión atmosférica y de la temperatura del agua, el oxígeno se consume rápidamente debido a descomposición de materia orgánica (CH_2O). A menos que el agua sea oxigenada de manera efectiva, como ocurre con el flujo turbulento, pierde oxígeno rápidamente y no puede mantener la vida acuática. Aparte del consumo de oxígeno por microorganismos que descomponen la materia orgánica, este elemento en el agua también puede ser utilizado para la bio-oxigenación de compuestos nitrogenados y a través de la oxidación química o bioquímica de reductores como Fe^{2+} y SO_3^{2-} . La cantidad de oxígeno en el agua tiene una relación inversa con la temperatura (Manahan, 2007).

e) Parámetro de salinidad

El nivel de salinidad, que se asocia con la capacidad de conducción eléctrica, muestra el nivel de minerales en el agua y su potencial de generación. Un incremento en la capacidad eléctrica de los cuerpos de agua natural afecta la productividad de los ecosistemas (Murgel, 1984).

2.2. Antecedentes

Ramírez (2004) evaluó la contaminación fecal en ríos urbanos mediante la determinación de Urobilinas con el objetivo de medir la polución fecal en ríos urbanos de Nuevo León, México; asimismo, caracterizó la contaminación fecal en aguas superficiales de ríos y embalses urbanos. Para ello, propuso un método químico basado en espectrofotometría, con el fin de determinar el contagio excrementicio en fluidos y ofrecer una alternativa innovadora frente a los métodos bacteriológicos convencionales. En su investigación incluyó un muestreo en 14 sitios distintos durante un periodo de tres meses. Sus resultados mostraron que la probabilidad de coliformes totales varió entre 46 y 3 450 000, mientras que las concentraciones de urobilinas oscilaron entre 0,1170 y 1,64 pg/ml. Estos hallazgos le permitieron establecer una relación significativa entre los datos obtenidos mediante el método bacteriológico y las concentraciones de urobilinas. Concluyo que el enfoque utilizado constituye una herramienta confiable, rápida y precisa para medir la contaminación fecal en ecosistemas acuáticos urbanos, aportando

soluciones prácticas al problema de las descargas inadecuadas y los escurrimientos en la ciudad.

Añazco, (2004) realizó un trabajo de investigación sobre la contaminación microbiológica en el río Tumbes, abarcando la zona de Rica Playa y culminando cerca del océano pacífico, durante los meses de abril a diciembre de 2004. Su objetivo fue evaluar el grado de profanación fecal del río de Tumbes. El artículo reveló que los niveles más elevados de contaminación fecal alcanzaron hasta 4,500 unidades formadoras de colonias (UFC/100 ml) de coliformes fecales encontrados en octubre a diciembre, particularmente en malecón Tumbes y al finalizar el río. A lo largo de la investigación, se estableció una relación muy significativa entre las variables ambientales y la concentración de coliformes fecales.

Lima y Mazari (2007) realizaron un análisis bacteriológico del fluido del río Lerma, México. El estudio lo realizaron en ocho puntos de muestreo a lo largo del río Lerma, aplicando el método de filtración por membrana (APHA, 1998) para separar y cuantificar bacterias de coliformes totales, coliformes fecales y enterococos, sus resultados lo reportaron en unidades formadoras de colonias (UFC/100 ml). La identificación bacteriana lo realizaron a nivel de género y especie, encontrando cuatro microorganismos de relevancia sanitaria: *Escherichia coli*, *Vibrio fluvialis*, *Klebsiella pneumoniae* y *Enterobacter agglomerans*. Concluyeron que la calidad del agua del río Lerma no es apta para actividades agrícolas ni recreativas, y resulta inadecuada para el consumo humano.

Gallardo (2009) evaluó la eficacia del líquido suministrado en localidades del Almendro, Jucuaran y Usulután, con el objetivo de ayudar a las comunidades a encontrar alternativas para mejorar la calidad de vida de sus residentes. Para ello, realizó encuestas a los miembros de las comunidades, recogiendo información sobre factores sociales, económicos, ambientales, de agua y salud. Posteriormente, tomó muestras de agua y aplicó análisis físico-químicos y microbiológicos mediante el método NMP/100. Sus resultados mostraron que, en temporada de lluvias, el nivel más elevado alcanzó 1,164 NMP/100 ml, mientras que en temporada seca el valor más bajo fue de 26 NMP/100 ml. Los niveles de bacterias indicadores de contaminación excedieron los máximos permitidos, concluyendo que el agua que abastece a las cuatro comunidades se encuentra

contaminada bacteriológicamente y representa un riesgo para la salud de sus habitantes.

Aliaga, (2010) investigo sobre el entorno ambiental del agua específicamente parte baja del río Chillón y su viabilidad ciudad de Lima, Perú, para corregir con un enfoque en el desarrollo sostenible, analizó diferentes variables ambientales, económicas, sociales y culturales de esta área y cómo estas han afectado la calidad de vida de los residentes que habitan junto al río. La investigación abarcó parte baja del río Chillón, hasta Ventanilla. Las deducciones analizados físicos, químicos y microbianos contagiosos realizados el año 2005 revelaron niveles elevados debido a la presencia de coliformes fecales o termotolerantes, alcanzando 1,000 y coliformes totales, que fueron de 5,000 NMP/100ml.

Terleira, (2010) realizó un trabajo de investigación sobre contaminación fecal en aguas cuenca río Chiclayo que se situa en Tarapoto de la región San Martín. Asimismo realizaron análisis de coliformes mediante un enfoque de tubos (NMP), se identificaron tres áreas de muestreo. Entre los dos primeros puntos, se observó baja contaminación fecal, cumpliendo los estándares establecidos, adecuada para el procesamiento de líquido vital potable y actividades recreativas. Sin embargo, los puntos 3 y 4 mostraron niveles de contaminación elevados que exceden los estándares. A pesar de eso, los residentes continúan utilizando este líquido para consumo y recreación, instaurando inseguridad saludable. En conclusión, se propuso un plan de monitoreo para evaluar los cambios en mejoramiento sistemático de la cuenca media del río Chiclayo a lo largo del tiempo y el espacio.

García et al., (2011) evaluaron la calidad ambiental del agua en el río Uctubamba utilizando parámetros físicos, químicos *in situ*. Además, analizaron la microflora en la ribera y realizaron pruebas biológicas (NMP), recogiendo muestras en las provincias de Chachapoyas, Luya, Bongará, Utcubamba y Bagua. En la mayoría de los puntos de muestreo, hallaron concentraciones superiores a 1100 NMP coliformes totales y 178 NMP fecales, los investigadores concluyeron que las aguas del río Uctubamba, eran influenciadas de actividades humanas.

Guzmán et al., (2011) realizaron una investigación en México sobre el análisis temporal y espacial de la cualidad o condición de pureza del H₂O del río San Pedro

en el curso de Aguascalientes. El estudio tuvo como objetivo evaluar la variación de mezclas de componentes orgánicos, nutrientes tóxicos, coliformes y metales pesados en diferentes lugares y momentos. Para ello, recolectaron muestras de agua en 43 puntos de muestreo durante las temporadas de sequía y lluvias. Sus resultados evidenciaron que el 95 % de los puntos analizados presentaban altos niveles de contaminantes, destacando la presencia significativa de maleza orgánica y agentes químicos. Concluyeron que el agua del río San Pedro es deficiente en calidad y no apta para su uso en cultivos agrícolas.

Calvo y Mora, (2012) realizaron una investigación en México sobre la presencia de bacterias fecales en diversas riberas de la estación Metropolitana y la Península de Osa, con el objetivo de evaluar la calidad del agua y los posibles usos de los ríos. Para ello, analizaron coliformes fecales en tres puntos de muestreo por cada río de las provincias de San José, Alajuela, Heredia y Cartago, así como en la región de Osa. Sus resultados reportan que en zonas con densidad poblacional media o alta la contaminación por coliformes fecales fue significativa, superando en varios casos el límite máximo permitido para actividades recreativas de contacto primario. Concluyeron que los ríos analizados no son adecuados para la recreación durante la temporada de invierno, mientras que en verano los niveles se mantienen dentro de parámetros aceptables.

Romeu (2012), realizó un trabajo de investigación sobre la caracterización de cepas de *Escherichia coli* relevantes para la salud humana en ecosistemas de agua dulce de La Habana en Cuba, con el propósito de identificar el contagio de aguas superficiales en los ríos Almendares, Quibú y Luyanó. Utilizando el aislamiento de cepas bacterianas y el análisis de indicadores microbiológicos, complementado con la identificación de fuentes de contaminación doméstica. Sus resultados revelaron que los tres ríos presentaban altos niveles de contaminación por microorganismos, superando los límites establecidos por la normativa cubana para aguas recreativas. Las concentraciones más elevadas se registraron durante una etapa de sequía, donde se localizaron 25 focos de contaminación originados por descargas de fluidos residuales sin tratar, previamente no documentados en estos ecosistemas. Concluyendo que existe una analogía significativa en los niveles de dos indicadores analizados, lo que confirma la magnitud del riesgo sanitario y ambiental en las zonas estudiadas.

Acosta (2015), evaluó el agua del río San Sebastián y sus efectos en la salubridad y el bienestar de los habitantes del caserío Santa Rosa de Lima, La Unión, El Salvador”, realizó un estudio de tipo descriptivo-experimental, aplicando la técnica de triangulación para analizar la calidad del agua y su impacto en la salud de los residentes. En la metodología utilizada incluyó encuestas comunitarias para recoger información sobre factores sociales, económicos, ambientales y de salud, así como análisis físico-químicos y microbiológicos de muestras de agua mediante el método NMP/100. Los resultados mostraron que, durante la temporada seca, los niveles de coliformes totales alcanzaron 240 NMP/100 m, mientras que en la temporada de lluvias ascendieron a 700 para coliformes totales y 432 para coliformes fecales. En los análisis de plomo, mercurio y otros metales pesados realizados en el río y en pozas examinadas, encuentro concentraciones que excedieron las normas permitidas. Concluyendo que el agua tanto del río como de las pozas representa un riesgo significativo para la salud de los organismos y habitantes de la zona.

Puño, (2016) realizó un estudio en el río Puyango Tumbes, examino ocho puntos la recolección se realizó en dos estaciones del año (época de lluvia marzo) y (época de sequía mes de noviembre). Sus resultados indicaron que se superaron los niveles permitidos de calidad ambiental en lo referente a los parámetros microbiológicos e identificó que las fuentes de profanación en la zona costera de nuestro rieron son principalmente la agricultura y la producción de aguas residuales y desechos sólidos. Concluyendo que uno de los contaminantes más significativos que deterioran la calidad del agua en la cuenca del río Puyango Tumbes son los coliformes termotolerantes, presentando altos niveles de NMP que exceden los patrones legales.

Araujo, (2017) Investigó el nivel de contaminación microbiológica en agua potable en la zona Sequia Alta, Santa Bárbara, Huancavelica, con el objetivo de determinar el grado de contaminación del agua que se destina a la población en la región indicada. Para ello, se tomaron 10 muestras de agua potable en diferentes sitios: 1 punto de captación, 2 depósitos y 7 llaves de paso. La investigación se clasifico básica, de tipo descriptivo, utilizando métodos inductivos, deductivos y estadísticos; el diseño del estudio fue no experimental y transversal; la técnica empleada para recopilar datos fue la observación, apoyada en un instrumento de guía los

resultados en la primera muestra, correspondiente a la captación (Paltamachay), se halló un promedio de contaminación microbiológica de 2,8; en la segunda muestra, del reservorio, el promedio fue de 1,1, y en la tercera muestra, proveniente de los grifos, se observó un promedio de 0,6 de contaminación microbiológica. En conclusión, todas las muestras de agua para consumo humano en el área de Sequia Alta, Santa Bárbara, Huancavelica, en el año 2017, contenían microorganismos patógenos, oscilando por encima de los niveles máximos permitidos según la normativa de calidad del agua destinada al consumo humano.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar y periodo de ejecución de la investigación

El análisis de la polución bacteriológica fecal en la parte baja del río Tumbes se llevó a cabo en ambiente especializado denominado como Laboratorio de Bioquímica y Parasitología de la Facultad de Ciencias de la Salud ubicada en la Ciudad Universitaria, Pampa Grande – Tumbes.

Figura 1

Ubicación de laboratorio de Bioquímica de la Facultad de Ciencias de la Salud Pampa Grande Ciudad Universitaria



3.2. Tipo y diseño de investigación

Descriptivo el propósito es detallar las observaciones, situaciones y eventos es decir cómo se manifiesta el fenómeno, los estudios descriptivos buscan especificar los eventos importantes de personas, grupos, comunidades, cosas o cualquier otro fenómeno que se intente someterlo a análisis, evaluación o de medida de diversos aspectos dimensiones o componentes del fenómeno o fenómenos a examinar.

Desde una perspectiva científica, describir es sinónimo de medir. En otras palabras, en un estudio descriptivo se eligen una serie de cuestiones y cada una se mide por separado.

Este estudio que se presenta a continuación está diseñado de forma analítica, no experimental u observacional, no se basa en experimentos de modificar o interferir en las variables que se consideran relevantes.

3.3. Población y muestra de estudio

Población: Se realizó el muestreo en cuatro zonas en la cuenca baja del río Tumbes.

Muestra: En cada área de muestreo, se recolectaron 3 muestras de 200 ml de agua del río.

Muestreo: Los muestreos se llevaron a cabo de mayo a diciembre del 2017 en cuatro zonas del río Tumbes.

Las muestras se recolectaron en ocho meses de estudio, recolectando 192 de muestras en total. Asimismo se tomaron en total 38,400 ml de muestra de agua de río Tumbes.

Las muestras tomadas fueron rotuladas o codificadas de la siguiente manera:

Unidades de muestras (3) A1, A2 y A3 zona San Juan igual a 600 ml

Unidades de muestras (3) B1, B2 y B3 zona Garbanzal, igual a 600 ml

Unidades de muestras (3) C1, C2 y C3 zona malecón, igual a 600 ml

Unidades de muestras (3) D1, D2 y D3 Cuartel Coloma igual a 600 ml

3.4. Elección de muestra poblacional

La elección de la muestra se llevó a cabo de manera aleatoria y planificada, abarcando aproximadamente de 10 kilómetros donde se recolectaron 200 mL de agua superficial, tres muestras por zona determinada del río Tumbes, utilizando dos frecuencias absolutas primera y segunda quincena por mes de mayo a diciembre del 2017.

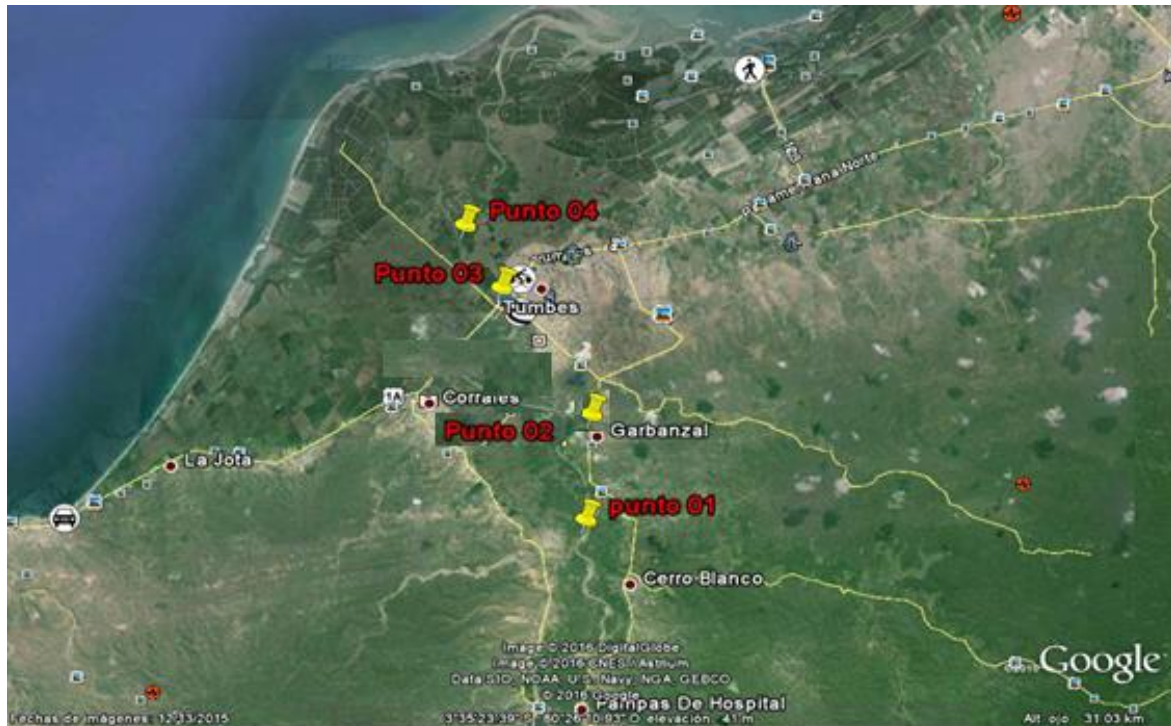
3.5. Ubicación de zonas de muestreo.

El enfoque utilizado para determinar la ubicación de las zonas muestreo en este estudio se realizó un recorrido iniciando en San Juan, finalizando después del Cuartel Coloma con ciertas dificultades para llevar a cabo las mediciones, se buscó sitios estratégicos de acceso en el terreno, ajustes y verificación del modelo de dispersión, que genera resultados seguros, reducen la incertidumbre en esta complicada labor, de manera que se estableció sistemáticamente 4 zonas de muestreo tales como:

- a) San Juan
- b) Garbanzal
- c) Malecón de Tumbes
- d) Costado Cuartel Coloma.

Figura 2

Zona 1 ubicado en San Juan, Zona 2 ubicado en Garbanzal, zona 3 Malecón Tumbes y zona 4 Costado Cuartel Coloma



3.6. Ubicación geográfica de puntos de muestreo

La tabla 1 se presenta las coordenadas geográficas UTM de los puntos de muestreo seleccionados en cuatro zonas de estudio: San Juan, Garbanzal, Malecón Tumbes y Cuartel Coloma. Las coordenadas están expresadas en los componentes Norte y Este, permitiendo la ubicación precisa de cada punto dentro del área de investigación.

Tabla 1

Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo en las zonas de estudio de Tumbes

Georreferencia		Zonas de Estudio		
(UTP)	San Juan	Garbanzal	Malecón Tumbes	Cuartel Coloma
Norte	9598694	9601828	9604984	9605268
Este	562609	561431	560144	559833

3.7. Métodos, técnicas e instrumentos utilizados

El método utilizado para la determinación de coliformes totales, coliformes fecales y *E. coli* la numeración de coliformes totales y termotolerantes por el método de tubos múltiples, (APHA, 1998) los volúmenes decrecientes de cada muestra serán preparadas inoculadas en el medio de cultivo adecuado, donde combinando el resultado sea positivo y/o negativo se usará para cuantificar el número más probable.

3.8. Método del Número Más Probable (NMP)

La determinación de bacterias coliformes totales mediante el método del Número más Probable (NMP) se basa en la capacidad de fermentar la lactosa para formar ácido y gas cuando se incuba a 37 °C durante 48 horas utilizando un medio que contiene sales biliares. Esta detección consta de dos fases, la fase de predicción y la fase de confirmación. Al realizar diluciones seriadas de la muestra se busca lograr que al menos una célula muestre crecimiento en el medio, inoculación con fermentación de lactosa en la prueba presuntiva y fermentación de lactosa y producción de gas en la prueba confirmatoria. El número de tubos positivos y negativos permite obtener una estimación de la densidad de bacterias obtenida mediante cálculos de probabilidad (Camacho, et al. 2009).

3.9. Etapa presuntiva

Es la evaluación inicial, involucra la adición de volúmenes específicos de muestra (1 ml), el diluyente debe elaborarse en tubos de ensayo con tapa de rosca, incorporando 9 mL para crear diluciones 1:10. Una vez que se obtiene una dilución decimal, el proceso se repite en serie hasta llegar a la dilución requerida. Esta se vierte en una serie de tubos que contienen caldo de lauril sulfato. Se instaló una campana de Durhan de forma inversa en cada tubo antes de la inoculación, la incubación fue a 37 °C durante un período de 24 a 48 horas (se llevaron a cabo 5 diluciones decimales por muestra). En esta evaluación inicial se llevó a cabo la identificación de los microorganismos que fermentan lactosa, generan gas al interior de la campana, lo cual sugiere la posible existencia de bacterias de grupo coliformes.

3.10. Etapa confirmativa

Cada tubo de ensayo que demostró generación de gas en la campana de Durham fue inoculado con un micro pipeta en tubos de ensayo que contenían caldo verde brillante y estaban equipados con tubos de Durham. Posteriormente, se incubaron durante un periodo de 48 horas a una temperatura de 37 °C. Los tubos donde se observó la producción de gas son clasificados como positivos en relación con coliformes.

3.11. Confirmación de coliformes

Se efectuaron inoculaciones en un medio de cultivo de caldo *E. coli*, obtenidos de los tubos de ensayo mostrando producto gaseoso en la prueba confirmativa, tras haber incubado durante 24 horas 45 °C. En estas circunstancias, se observó la generación de gas en tubos de caldo *E. coli*.

3.12. Confirmación de *Escherichia coli*

Se tomó una muestra de los tubos que se observó turbio con presencia de gas en la campana del medio de *E. coli*, y después se inoculó aplicando la técnica de estría cruzada en agar EMB, incubándose a una temperatura de 37 grados Celsius durante 48 horas.

Se recogió una muestra de todos los tubos que resultaron positivos en el caldo de *E. coli*, y a continuación se inoculó utilizando el método de estría cruzada en agar EMB, incubando a 37 grados centígrados por un período de 48 horas. Se definen como positivas las colonias típicas que presentan nucleación, con o sin un brillo metálico, así como aquellas colonias atípicas, que se caracterizan por ser opacas no brillantes, sin núcleos, y tener tono rosadito. Estas colonias distintivas y extrañas serán sembradas en EMB y en tubos que contengan agar Mac Conkey inclinado. Esto confirma que la prueba complementaria es positiva si se observa producción de gas debido a la fermentación de la lactosa, lo que permitirá proceder con las pruebas bioquímicas correspondientes.

3.13. Detalles de obtención de las muestras

En cada zona de recolección de muestras se inició con la medición de temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto y niveles de agua in sito, luego se tomó la muestra

de agua en frascos de vidrio de boca ancha con tapa rosca etiquetándolos con un código de reconocimiento para su análisis respectivo usando un marcador tinta indeleble, garantizando que la escritura fuese legible y fácil de observar.

El sistema de codificación incluía una letra la cual identifica a la zona de muestreo y un número que identifica al orden de las muestras, se describe la forma y el orden siguiente:

Las muestras de San Juan simbolizadas por los códigos A1, A2 y A3.

Las muestras de Garbanzal simbolizadas por los códigos B1, B2 y B3.

Las muestras de Malecón Tumbes simbolizadas por C1, C2 y C3.

Las muestras costado Cuartel Coloma simbolizadas por D1, D2 y D3.

Los números 1, 2 y 3 referidas muestras tomadas en cada zona.

Finalmente se registró el día y la hora en un cuadernillo de notas.

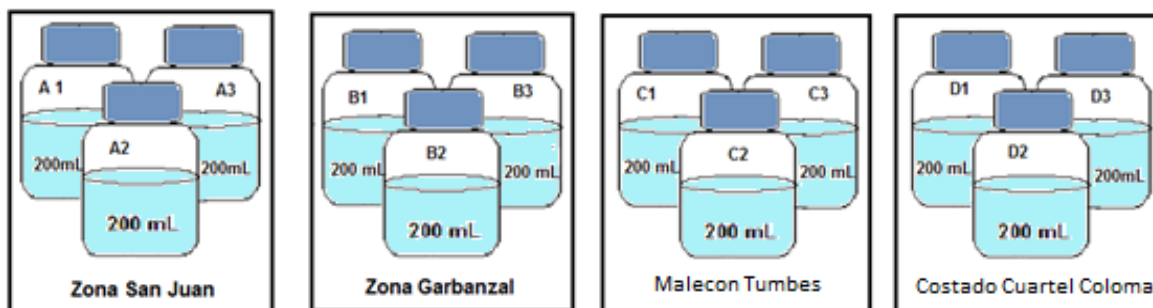
Preservación de las muestras se realizó en la caja cooler con hielo.

Los recipientes de vidrio empleados para la recolección de muestras fueron con medidas precisas, de bocha ancha, se limpiaron y desinfectaron antes de su uso. Cada frasco de capacidad de 500 ml, en los cuales se obtuvo la muestra de 200 mL de agua por frasco captada directamente de la superficie del río, repitiendo la captura tres veces en cada zona, sumando un total de 12 muestreos quincenal, operando 24 muestras al mes y culminando con 192 muestreos desde el mes mayo hasta diciembre durante el marco de la investigación.

Las muestras se recolectaron en las zonas previstas iniciando en San Juan de la Virgen, garbanzal, malecón de Tumbes y costado Cuartel Coloma, la muestra se obtuvo a una distancia de entre cinco y diez metros de la orilla, con una profundidad aproximada de veinte centímetros del nivel de agua, tras la obtención de las muestras, los frascos de vidrio se les colocó una tapa rosca y se envolvieron en papel kraft, organizándolos en una caja con hielo para garantizar su protección y conservación, inmediatamente fueron trasladadas en vehículo al recinto especializado de análisis de muestras de la Facultad de Ciencias de la Salud, donde se llevaron a cabo diversas técnicas y métodos específicos.

Figura 3

Muestras en recipientes con medidas precisas de capacidad 500 ml cantidad de muestra por frasco 200 ml



3.14. Procesamiento y análisis de datos

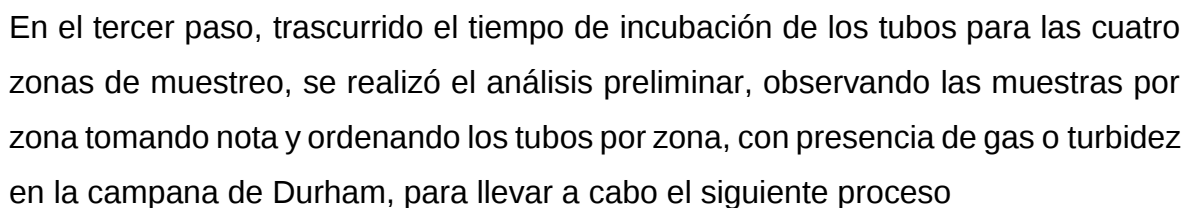
En el laboratorio de microbiología y Parasitología de la Facultad de Ciencias de la Salud, se empleó el método, denominado Numero Más Probable (NMP/100), que consiste en un procedimiento técnico estadístico cuyo principio es determinar cantidades mínimas de microorganismos presentes en las muestras, iniciando con una serie de diluciones líquidas en tubos de ensayo, utilizando diversos tipos de medios de cultivo, tales como agua peptonada bufferada, caldo de lauril sulfato, caldo verde brillante de bilis y caldo *E. coli*, incubaciones a 37 y 44.5°C, por 24 horas observación de la producción del gas o turbidez, anotaciones de productos positivos para reutilizarlos y descarte de los productos negativos, siguiendo los procesos correspondientes siguientes:

Se empleó un agitador electrónico para mezclar cada frasco con 200 ml de muestra durante un tiempo de 5 minutos programados.

Como primer paso, después de cada limpieza y esterilización de los materiales a usar, se preparó 45 ml de agua peptonada bufferada al 1% normal para distribuirlos los cinco tubos de ensayo, correspondiendo 9 ml cada uno, luego se inoculó con un mililitro de agua de la primera muestra al primer tubo agitándolo y denominándolo (10^{-1}) equivalente 1/10, de esta disolución se extrae un mililitro para agregar al segundo tubo denominado (10^{-2}), equivalente a 0,01 o la fracción 1/100 agitándolo totalmente luego de este continúa sucesivamente diluyendo al tercer cultivo hasta completar el quinto tubo de ensayo denominado (10^{-5}), equivalente a 0.00001 obteniendo las primeras 5 diluciones disgregadas tubos de ensayo.

En el segundo paso se formaron cinco grupos de tres tubos de ensayo, incorporando una campana de Durham (pequeño tubo de vidrio) invertido dentro de cada tubo grande, dispositivo que permite observar la producción de gas mediante el metabolismo bacteriano generado tras la incubación a 37 °C durante 24 horas. En consecuencia como medio de cultivo, se preparó 135 ml de caldo de lauril sulfato, para distribuirlos en 15 tubos, colocando con precisión 9 ml en cada tubo, preparados los cinco grupos para la inoculación, siguiendo el orden primer grupo de tres se les inoculo con un mililitro cada uno del primer tubo inicial de muestra, luego el segundo grupo se inoculo con un mililitro a cada uno, con un mililitro extraído del segundo tubo disgregado del tubo inicial, en este orden hasta completar la inoculación de 5 grupos de tres denominándolos (10^{-2}), (10^{-3}), (10^{-4}), (10^{-5}), (10^{-6}), y para el grupo (10^{-1}), se sembró un mililitro extraído directamente de la muestra inicial para cada uno de la serie de tres tubos de ensayo con 09 mililitros de cultivo caldo de lauril sulfato, así mismo para finalizar este cultivo, se utilizó tres tubos de doble volumen con 10 ml de caldo de lauril sulfato, luego se inoculo con 10 ml de muestra inicial, este proceso se realizó para todas las muestras obtenidas de las cuatro zonas de muestreo, habiendo completado la inoculación de todas las muestras de las zonas de muestreo, inmediatamente se procedió a la incubación por 24 horas a 37 °C, este procedimiento se basa en el principio de que una única célula viva pueda desarrollarse, gráficamente se observa la secuencia del procedimiento de diluciones de una de las muestras para el proceso de prueba presuntiva (figura 4).

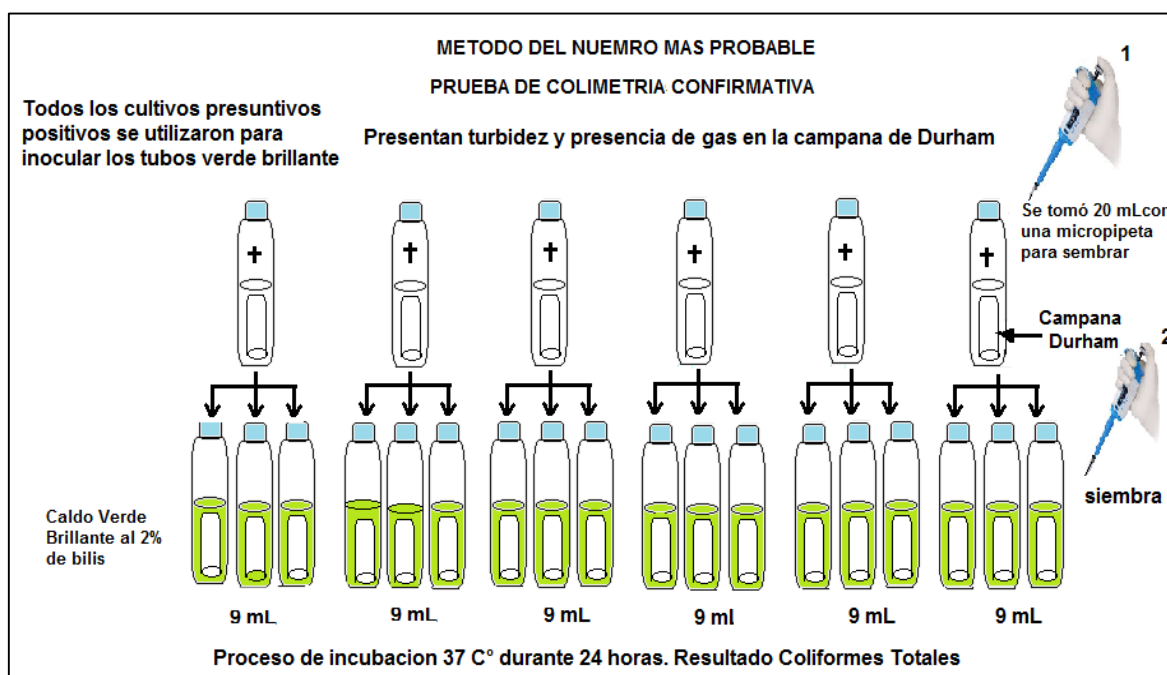
Procedimiento para evaluación de coliformes de forma presuntiva



45

Figura 5

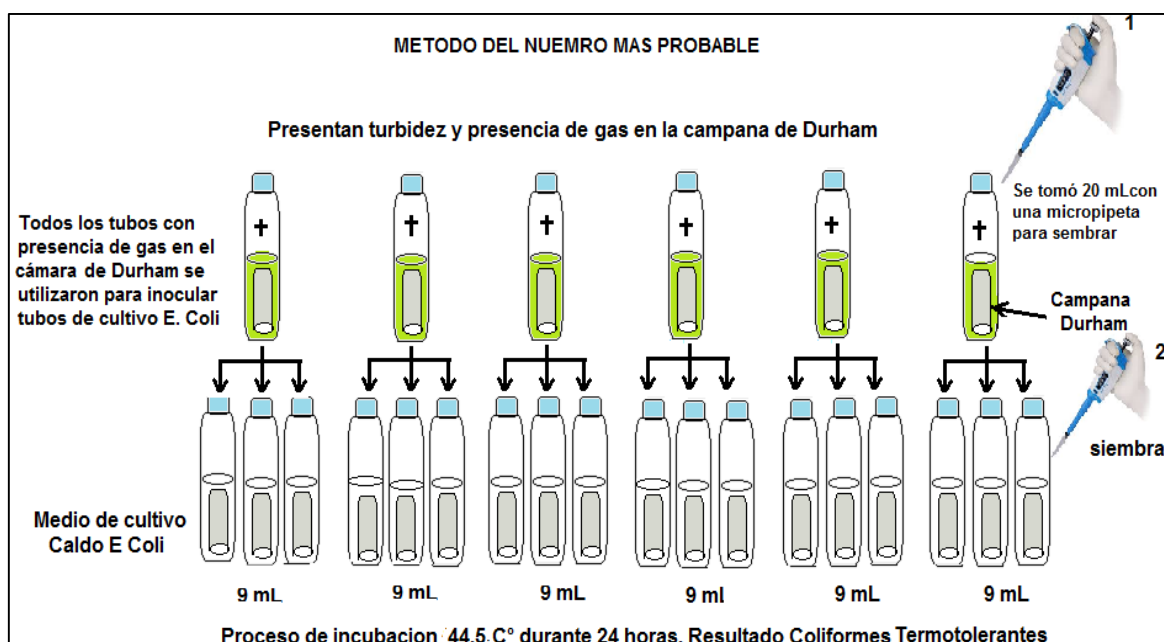
Procedimiento para evaluación de coliformes totales prueba confirmativa



En el paso 5, después de transcurrido el tiempo de incubación se contabilizaron por zona todos los tubos positivos que mostraban burbujas o turbidez en el interior de la Campana de Durham, para tal situación se ordena todos los resultados positivos por zona se repite el proceso paso 4 para todos los tubos que resultaron positivos esta vez utilizando medio de cultivo caldo *E. Coli*, para prueba de confirmación, se extrajeron 20 µL de cada uno los tubos positivos, para inocular en grupos de tres tubos, llevándolos al proceso de incubación a 44,5 °C por un lapso de 24 horas (figura 6).

Figura 6

Procedimiento de prueba confirmativa de coliformes fecales



En el paso 6, transcurridas 24 horas desde que comenzó la incubación de la prueba confirmativa a una temperatura de 44,5 °C, todos los tubos de ensayo que mostraron la formación de gas en la campana de Durham indican la presencia de coliformes termotolerantes positivos, las unidades de cultivo que no reaccionaron con presencia de gas se descartaron negativos.

La información recopilada fue estructurada y clasificada en gráficos y tablas, organizándola según cada sitio de muestreo. Los datos se procesaron y se clasificaron estadísticamente, se utilizó el software SPSS Statistics 20, el cual permitió realizar una prueba t para la media con un nivel que simboliza el 5%.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Coliformes fecales

En la tabla 2 se reportó que las dos primeras zonas de estudio presentaron menor contaminación durante, todo el estudio del río del año 2017, San Juan con un promedio de 4,90 resultado obtenido del método número más probable NMP/100 y Garbanzal con un promedio de 6,40. Sin embargo, los resultados obtenidos del análisis de la zona malecón de Tumbes con un promedio de 19,80 bordeando lo establecido, sin embargo por el costado del Cuartel Coloma con promedio de 23,60 revelo mayor valor superando los límites permitidos con cifras superiores a (2,000 NMP/100ml), tal como otros investigadores nacionales e internacionales, ocurridos durante el periodo de estiaje entre agosto a noviembre del mencionado año. En diciembre, se registró una evidente mengua del valor en todas las áreas analizadas en comparación con septiembre, octubre y noviembre. Esta reducción imputa principalmente a las condiciones climáticas de lluvia en las zonas altas, que ha generado un aumento del factor denominado tirante o nivel de agua.

En esta investigación se demuestra que los resultados casi siempre son elevados en la zona de malecón Tumbes con 19,8 (NMP/100m) y costado Cuartel Coloma 23,60 (NMP/100m) en, niveles al borde y por encima de lo normado en la parte baja, donde se supone que la causa problemática es el lanzamiento de aguas residuales y diversos tipos de desechos, se origina la mayor contaminación en este cuerpo hídrico, sobrepasando los límites máximos permitidos, en la época seca, alcanzando cifras que exceden (2000 NMP/100 ml), regulados por el Decreto Supremo (MINAM N°002-2008), que establece estos límites como aceptables en los ríos.

Aplicado el análisis de varianza de Anova al resultado coliformes fecales revelo variaciones significativas entre las diferentes áreas de muestreo ($p < 0,05$) como se explica en el anexo 1. La prueba post Hoc de Duncan identificó dos grupos: el primero incluyó a San Juan de la Virgen y Garbanzal, mientras que el segundo abarcó malecón Tumbes y Cuartel Coloma río abajo, siendo este último grupo el

que presentó los mayores niveles de coliformes termotolerantes (anexo 2). En relación con las variaciones entre los meses de evaluación, el ANOVA reveló que no existieron diferencias estadísticas significativas (anexo 3).

Tabla 2

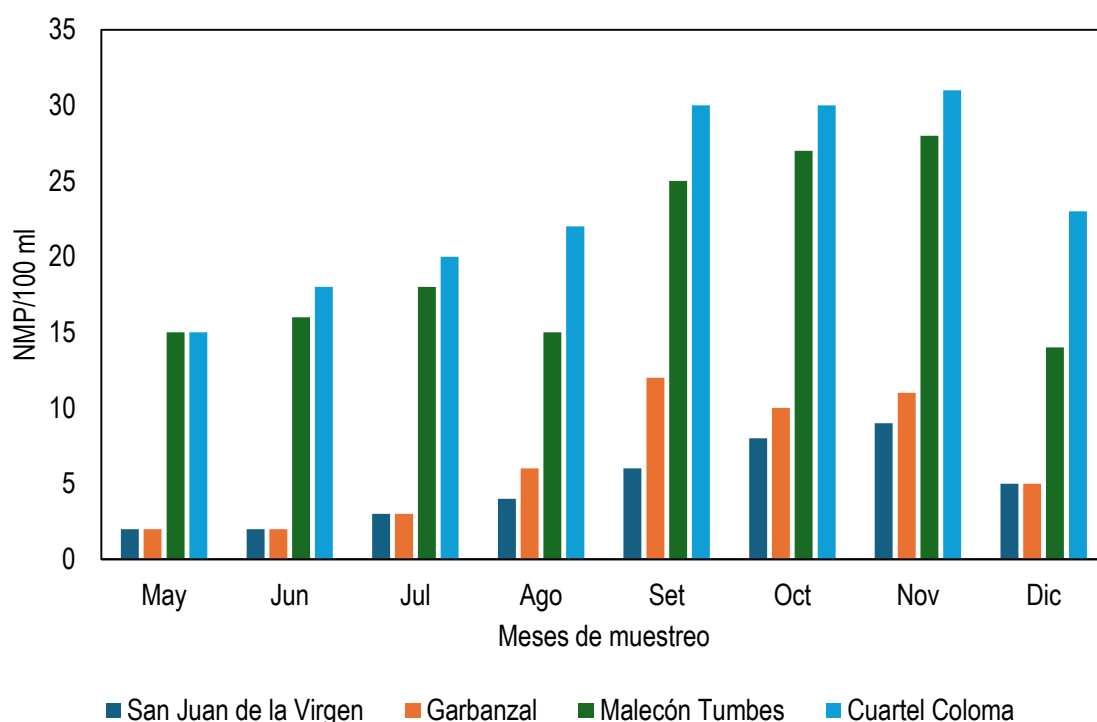
Resultados de coliformes fecales expresados en NMP/100ml por zona investigada en río Tumbes, año 2017

Zona de muestreo	Meses								Promedio de coliformes fecales
	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
San Juan de la Virgen	2,0	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	9,0	5,0	4,90
Garbanzal	2,0	2,0	3,0	6,0	12,0	10,0	11,0	5,0	6,40
Malecón Tumbes	15,0	16,0	18,0	15,0	25,0	27,0	28,0	14,0	19,80
Cuartel Coloma	15,0	18,0	20,0	22,0	30,0	30,0	31,0	23,0	23,60
Promedio Total									13,65

De acuerdo con lo investigado, en tabla 2 y la figura 7 reflejan valores elevados que vulneran los límites establecidos por las normas peruanas de setiembre a noviembre del 2017 en malecón de Tumbes y Cuartel Coloma, donde se evacuan grandes volúmenes de aguas residuales de la ciudad de Tumbes. Sin embargo, en diciembre, se observó una significativa disminución de coliformes fecales en todas las áreas muestreadas, además de un aumento en el flujo de agua, debido a las lluvias en las regiones altas de la cuenca de Perú y Ecuador.

Figura 7

Resultados coliformes fecales en el río Tumbes, de acuerdo con las zonas de muestreo seleccionadas, año 2017



Los resultados obtenidos en la presente investigación coinciden con lo reportado por Romeu (2012), quien encontró elevados niveles de contaminación microbiológica en los ríos Almendares, Quibú y Luyanó de La Habana, Cuba, superando los límites permisibles para aguas recreativas debido principalmente a descargas domésticas. Asimismo, las mayores concentraciones en época seca se atribuyeron a la menor dilución de los contaminantes, comportamiento similar al observado en Tumbes. Estos hallazgos evidencian la influencia de las actividades antrópicas y la necesidad de fortalecer el monitoreo y control de la contaminación hídrica. Además, Romeu señaló que las mayores concentraciones microbianas ocurrieron durante períodos de sequía, debido a la menor capacidad de dilución de los contaminantes, comportamiento que también podría explicar los resultados observados en el presente estudio. Estos hallazgos resaltan la necesidad de fortalecer el monitoreo microbiológico y la gestión de las fuentes de contaminación para proteger la salud pública y los ecosistemas acuáticos.

En el presente estudio muestran que los niveles de coliformes fecales variaron entre 2,0 y 31,0 NMP/100 ml en las diferentes zonas de muestreo del río Tumbes, registrándose los valores más altos en Cuartel Coloma (23,60 NMP/100 ml) y Malecón Tumbes (19,80 NMP/100 ml), mientras que San Juan de la Virgen presentó el menor promedio (4,90 NMP/100 ml). Estos resultados son consistentes con lo reportado por Puño (2015), quien identificó a los coliformes termotolerantes como uno de los principales contaminantes de la cuenca Puyango-Tumbes. Sin embargo, los valores encontrados en esta investigación se mantienen muy por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por el MINAM (D.S. N° 002-2008-MINAM), que fija valores de hasta 2000 NMP/100 ml para la conservación del ambiente acuático y entre 1000 y 2000 NMP/100 ml para otros usos. No obstante, el incremento progresivo de los coliformes fecales observado entre septiembre y noviembre, especialmente en las zonas urbanas, evidencia la influencia de actividades antropogénicas y posibles descargas de aguas residuales, por lo que resulta necesario mantener programas de monitoreo y control que permitan prevenir el deterioro de la calidad microbiológica del río y proteger la salud pública.

Los resultados del presente estudio coinciden con lo reportado por Acosta (2015), quien encontró mayores concentraciones de coliformes fecales durante la época de sequía debido a la reducción del caudal y la menor capacidad de dilución de los contaminantes. De manera similar, en el río Tumbes se observó un incremento de coliformes fecales entre septiembre y noviembre, especialmente en Cuartel Coloma y Malecón Tumbes, lo que evidencia que la temporada seca representa un período de mayor riesgo para la calidad microbiológica del agua y requiere un monitoreo continuo para proteger la salud pública.

Los resultados obtenidos en el presente estudio guardan relación con lo reportado por Gallardo (2009), quien encontró contaminación bacteriológica en las fuentes de agua evaluadas, registrando valores entre 26 y 1 164 NMP/100 ml y superando los límites permisibles. De manera similar, en el río Tumbes se evidenció la presencia de coliformes fecales en todas las zonas de muestreo, observándose mayores concentraciones en Cuartel Coloma y Malecón Tumbes. Aunque los valores encontrados fueron inferiores a los reportados por Gallardo, ambos estudios coinciden en que la contaminación microbiológica constituye un riesgo para la

calidad del agua y resalta la importancia de mantener una vigilancia permanente para prevenir posibles impactos en la salud de la población.

Por otro lado, estos estudios coinciden con lo reportado por Araujo (2017), quien encontró contaminación microbiológica en todas las muestras de agua destinadas al consumo humano en Sequia Alta, Huancavelica, superando los límites permitidos por la normativa vigente. De manera similar, en el río Tumbes se detectó la presencia de coliformes fecales en todas las zonas evaluadas, con mayores concentraciones en Cuartel Coloma y Malecón Tumbes. Aunque los niveles registrados en esta investigación fueron menores que los reportados por Araujo (2017) y Acosta (2015), ambos estudios evidencian que la contaminación microbiológica sigue siendo un problema recurrente en los recursos hídricos. Estos hallazgos resaltan la necesidad de fortalecer el monitoreo de la calidad del agua y adoptar medidas preventivas que reduzcan las fuentes de contaminación, contribuyendo así a la protección de la salud pública y del ambiente.

4.2. Tirante de agua en diferentes zonas del río Tumbes

En los estudios respecto a las condiciones ambientales, en mayo se registró el promedio más alto de nivel de volumen de agua del experimento (1,88 m); sin embargo, se observó una declinación en promedios de la tirante de agua del río Tumbes para los meses de junio, agosto y noviembre (mes con menor promedio). El nivel del agua disminuyó en un promedio 1,27 m durante los meses de sequía, agosto a noviembre. Sin embargo, en diciembre, se observó un notable incremento de agua en todos los lugares de muestreo con un promedio de 1,43 m en comparación de noviembre fuente (tabla 3).

El análisis de varianza (ANOVA) mostró que hubo una diferencia significativa desde el punto de vista estadístico. La prueba de Duncan identificó dos conjuntos: el primero, con las medias más bajas, abarca a San Juan, Garbanzal y la ciudad de Tumbes, mientras el segundo incluye a la localidad de Tumbes y la zona baja de la ribera Tumbesina (anexos 1 y 2). Además, los promedios mensuales revelaron diferencias significativas, facilitando la formación de tres grupos según los hallazgos de la prueba de Duncan (anexo 3 y 4).

Tabla 3

Valores del tirante de agua (m) del río Tumbes registradas in situ en las diferentes zonas de muestreos

Zona de muestreo	Tirante de agua (m)							
	Mayo	Junio	Julio	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
San Juan	1,8	1,6	1,4	1,2	1,1	1	1,0	1,3
Garbanzal	1,9	1,5	1,5	1,3	1,1	1,1	1,0	1,3
Malecón Tumbes	1,8	1,8	1,7	1,5	1,3	1,3	1,3	1,4
Cuartel Coloma	2	1,9	1,8	1,6	1,5	1,5	1,5	1,7
Promedio	1,88	1,7	1,6	1,4	1,25	1,23	1,2	1,43
Promedio en meses de sequia								1,27

4.3. Parámetros físico químicos en zonas de muestreo del río Tumbes

A continuación, se muestran los valores de los parámetros físico-químicos registrados en las zonas de muestreo del río Tumbes, los cuales permitieron evaluar la calidad del agua y las condiciones ambientales del ecosistema acuático.

4.4. Temperatura del agua en diferentes zonas del río Tumbes

En Este fenómeno indica un rango de cambios en la temperatura del agua que varió de 24,6°C en septiembre a 25,7°C en mayo en todas las áreas de muestreo, sin que se hayan notado diferencias significativas entre las distintas regiones analizadas (tabla 4). Este patrón sugiere una uniformidad en la temperatura del agua a lo largo de las diferentes zonas, lo cual podría estar vinculado a factores climáticos y geográficos compartidos en la región. El ANOVA realizado para examinar la variación de las temperaturas entre las áreas de muestreo mostró que no hubo diferencias estadísticas relevantes entre ellas, lo que implica que las condiciones térmicas del agua en las varias zonas son bastante semejantes. Sin embargo, al revisar las variaciones a través del tiempo, se observaron diferencias significativas entre los meses analizados (Anexos 1 y 3), lo que indica un comportamiento estacional en la temperatura superficial del agua.

Se llevó a cabo el test de Duncan, el cual permitió organizar los meses en cuatro categorías diferentes según las temperaturas registradas. Los hallazgos de este test, que se explican en el anexo 4, indican que mayo mostró las temperaturas más elevadas, lo que podría estar asociado a elementos climáticos estacionales, como el aumento de la radiación solar en ese periodo del año.

Tabla 4

Valores de temperatura (°C) del agua del río Tumbes registradas in situ en las diferentes zonas de muestreo

Zona de muestreo	Temperatura (°C) de agua							
	Mayo	Junio	Julio	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
San Juan	25,7	25,5	25,5	25,5	24,6	25,0	25,0	25,0
Garbanzal	25,6	25,4	25,4	25,5	24,7	25,0	25,0	25,0
Malecón Tumbes	25,7	25,4	25,5	25,6	24,6	25,0	25,0	25,0
Cuartel Coloma	25,7	25,5	25,6	25,6	24,6	25,0	25,0	25,0

4.5. Oxígeno disuelto en diferentes zonas del río Tumbes.

El valor más bajo fue de 6,80 mg/l, se registró en el área de Garbanzal en julio de 2017, en oposición al nivel más elevado que alcanzó 7,90 mg/l, en agosto en Cuartel Coloma rio abajo (tabla 5). Estos datos revelan diferencias en cantidad de este elemento gas dinámico (O₂) entre diferentes áreas del río y a lo largo de los meses, lo que podría estar vinculado a elementos tanto naturales como generados por el ser humano, alteraciones fuertes de altas temperaturas, actividades biológicas y el impacto de contaminantes (Manahan, 2007). El análisis de varianza ejecutado mostró variaciones significativas desde el punto de vista estadístico entre los diferentes puntos de muestreo, lo que indica que las concentraciones de oxígeno que se disuelven cambian notablemente de acuerdo a la localización a lo largo del cauce del río. Este descubrimiento resulta relevante, ya que puede estar vinculado a las discrepancias en la calidad del agua, la existencia de flora acuática, el caudal de agua y el impacto de las actividades humanas en cada área. La prueba de Duncan, que se utilizó para detectar agrupaciones homogéneas, permitió categorizar las muestras de agua en dos grupos diferentes; el primero incluyó los datos de las zonas de San Juan, Garbanzal y malecón Tumbes, mientras que la

segunda comprendió los datos de la sección Cuartel Coloma. El primer conjunto abarcó la información de las áreas de San Juan, Garbanzal y malecón, mientras que el segundo contempló los datos de la Cuartel Coloma. Este último grupo mostró los índices más elevados de oxígeno disuelto, lo que podría asociarse con un mayor caudal de agua o con particularidades del área que favorecen la oxigenación del líquido, como la reducción de contaminantes o un incremento en la actividad biológica.

A diferencia de otros hallazgos, el examen de las cantidades de oxígeno disuelto a lo largo de los distintos meses no reveló diferencias que fueran estadísticamente relevantes (Ver Anexos 1, 2 y 3). Esto implica que, aunque hubo cambios en los niveles de oxígeno disuelto a lo largo del tiempo analizado, estas fluctuaciones no fueron lo suficientemente marcadas como para indicar una tendencia clara. Esto podría sugerir que elementos estacionales o cíclicos, como la temperatura y la necesidad biológica de oxígeno, no tuvieron un impacto significativo en los niveles de oxígeno disuelto en la zona malecón tumbes durante el tiempo de estudio, o que dichos elementos fueron compensados por otras influencias.

Tabla 5

Valores del oxígeno disuelto (mg/l) del agua del río Tumbes registradas in situ en las diferentes zonas de muestreo

Zona de muestreo	Oxígeno disuelto (mg/l)							
	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
San Juan	7,05	7,0	6,9	7,2	7,1	7	7,1	7,1
Garbanzal	7,03	7,01	6,8	7,1	7,0	7,2	7,2	7,2
Malecón Tumbes	7,2	7,1	6,9	6,9	7,0	7,1	7,1	7,2
Cuartel Coloma	7,5	7,6	7,7	7,9	7,0	7,1	7,1	7,2

4.6. Potencial de hidrogeno (pH) en diferentes zonas del río Tumbes.

De Las mediciones de pH en el agua mostraron una notable variabilidad, presentando valores que variaron desde 6,50 en mayo de 2017 en el área de San Juan hasta 7,90 en agosto en la parte baja del río (tabla 6). Estas variaciones indican que el pH del agua no es constante a lo largo del curso del río Tumbes y que hay factores que afectan su comportamiento en cada región. El pH se considera un indicador esencial de la calidad del agua, ya que impacta tanto en la solubilidad como en la toxicidad de los contaminantes, además de influir en los procesos biológicos acuáticos, como la actividad de las bacterias y la fotosíntesis en las plantas acuáticas (Glynn, 1999) los valores medidos podrían estar vinculados a la interacción de elementos naturales, como el tipo de suelo, la flora acuática y las condiciones climáticas, o a la influencia de actividades humanas, como la contaminación generada por el hombre. El estudio de variación (ANOVA) reveló que hay diferencias significativas desde un punto de vista estadístico entre las áreas de muestreo, lo que indica que la ubicación geográfica tiene un efecto considerable en los niveles de pH. Según los hallazgos, se identificaron dos grupos diferentes: uno que abarcó el área de San Juan de la Virgen, y otro que incluyó las demás áreas de muestreo, las cuales mostraron los niveles de pH más elevados. Este descubrimiento indica que las características particulares de la región de San Juan pueden estar afectando de manera única el pH del agua. Factores que podrían explicar esta variación incluyen la existencia de contaminantes específicos, como la descarga de aguas residuales, las fluctuaciones en la vegetación ribereña que pueden impactar el pH mediante procesos de descomposición de materia orgánica, o incluso las propiedades geológicas de la zona que cambian los niveles ácidos o básicos del agua. Respecto a las diferencias mensuales, el ANOVA también reveló variaciones estadísticamente relevantes entre los meses analizados, sugiriendo que el pH del agua no permanezca uniforme durante el año. La prueba de Duncan organizó los meses en tres categorías de acuerdo con los niveles de pH, lo que evidencia la existencia de cambios estacionales o cíclicos a lo largo del estudio. El mes de agosto, que presentó el pH más alto (7,90), podría estar vinculado a un incremento en la actividad biológica, disminución de precipitaciones o alteraciones en las condiciones climáticas donde un pH más elevado es favorecido, mientras que, en mayo, donde se registró el valor más bajo (6,50), podría haber sido influenciado por una mayor cantidad de materia orgánica en proceso de

descomposición o una actividad bacteriana incrementada que provoca una reducción del pH.

Asimismo, elementos como la evaporación, las precipitaciones, el movimiento del agua y las temperaturas pueden haber afectado estas fluctuaciones mensuales. Este patrón del pH subraya la relevancia de tener en cuenta las particularidades del entorno local y las variaciones estacionales al evaluar la calidad del agua, dado que estos factores pueden impactar los procesos ecológicos en los cuerpos de agua y en la habilidad del río para sostener un entorno saludable para la vida vegetal y animal acuática.

Tabla 6

Valores del pH del agua del río Tumbes registradas in situ en las diferentes zonas de muestreo

Zona de muestreo	Valores de pH							
	Mayo	Junio	Julio	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic.
San Juan	6,5	7,0	6,9	7,2	7,1	7,4	7,5	7,1
Garbanzal	7,03	7,01	6,8	7,1	7,0	7,6	7,8	7,2
Malecón de Tumbes	7,2	7,1	6,9	6,9	7,0	7,7	7,7	7,2
Cuartel Coloma	7,5	7,6	7,7	7,9	7,0	7,6	7,8	7,2

4.7. Salinidad (‰) en diferentes zonas del río Tumbes.

De Los niveles de salinidad en las distintas áreas de muestreo mostraron una gran variabilidad. Durante cada mes y en las áreas de recolección, a excepción de la sección baja del río Tumbes, la salinidad se mantuvo constante en un valor de 0,1 ‰. Por el contrario, en la parte baja del río, la salinidad mostró variaciones entre 0,8 y 0,9 ‰ (tabla 7). Estos hallazgos sugieren una diferencia en los niveles de salinidad a lo largo del río, particularmente en la sección baja, lo que podría estar vinculado a la influencia de las mareas, la entrada de agua salada del océano o la proximidad de cuerpos de agua salina.

El análisis ANOVA indicó que había diferencias estadísticamente relevantes entre las áreas de muestreo, lo que implica que la salinidad cambia dependiendo del sitio a lo largo del río. No obstante, no se detectaron diferencias notables entre los meses analizados, lo que sugiere que los niveles de salinidad se mantuvieron

bastante constantes con el tiempo, sin importar las fluctuaciones estacionales o climatológicas. La evaluación de Duncan permitió dividir las áreas de muestreo en dos categorías: la primera incluyó las áreas de San Juan, Garbanzal y la ciudad de Tumbes, donde la salinidad fue baja (0,1 ‰), y la segunda categoría sólo consistió en la parte baja del río Tumbes, que mostró los valores de salinidad más altos. Esto apoya la noción de que la parte baja del río es más afectada por el agua salina que proviene del océano o de fuentes adyacentes, lo que causa un incremento en la salinidad en comparación con las otras áreas del río.

Tabla 7

Valores de la salinidad (‰) del agua del río Tumbes registradas in situ en las diferentes zonas de muestreo

Zona de muestreo	Salinidad (‰)							
	Mayo	Junio	Julio	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
San Juan	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Garbanzal	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Malecón de Tumbes	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Cuartel Coloma	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9

El estudio de regresión multivariada se realizó de forma gradual, en el que el valor más probable de coliformes termo resistente se consideró como la variable independiente, y los factores ambientales como las variables dependientes. Esto permitió desarrollar dos modelos, como se indica en el Anexo 5. El primer modelo excluye todos los factores, excepto la salinidad, mientras que el segundo omite todos los factores salvo la salinidad y el pH. Este segundo modelo presentó un coeficiente de correlación de Pearson más elevado ($r = 0,830$), lo que sugiere una relación más robusta entre las variables dependientes e independientes. Además, este modelo mostró un coeficiente de determinación ($r^2 = 0,69$), lo que implica que el 69% de las variaciones en la cantidad más probable de coliformes termo resistentes puede ser explicada por los factores de salinidad y pH.

Este elevado valor de r^2 destaca la relevancia de estas dos variables en la estimación de los niveles de coliformes termo tolerantes en el agua. El análisis ANOVA efectuado para ambos modelos que mostró una conexión altamente significativa entre las variables independientes y dependientes, lo que respalda la credibilidad de los modelos generados. Asimismo, los coeficientes B ligados a la salinidad y al pH evidenciaron una correlación directa entre estas variables y la cantidad más probable de coliformes termo tolerantes, lo que sugiere que conforme cambian los niveles de salinidad y pH, también lo hace la concentración de coliformes. Este descubrimiento indica que tanto la salinidad como el pH podrían influir considerablemente en la existencia y cantidad de coliformes termo tolerantes en el agua, lo que es relevante al analizar la calidad microbiológica del agua en la zona.

V. CONCLUSIONES

- 1) Se identificaron como zonas críticas de contaminación bacteriológica fecal al Malecón Tumbes y Cuartel Coloma, donde durante los meses de sequía (agosto a noviembre de 2017) se registraron concentraciones de coliformes fecales superiores a los límites establecidos por el D.S. N° 002-2008-MINAM, validándose la hipótesis planteada en la investigación.
- 2) Las zonas de San Juan y Garbanzal presentaron los menores niveles de contaminación por coliformes fecales durante todo el período de estudio, manteniéndose dentro de rangos aceptables y evidenciando una mejor calidad microbiológica del agua en comparación con las demás zonas evaluadas.
- 3) Se determinó que la época de sequía favoreció el incremento de las concentraciones de coliformes fecales, mientras que durante la temporada de lluvias los niveles disminuyeron debido al mayor caudal y capacidad de dilución del río, evidenciando la influencia de las condiciones hidrológicas sobre la calidad microbiológica del agua.
- 4) Se comprobó la existencia de una relación entre la disminución del nivel del agua y el aumento de la contaminación bacteriológica fecal, ya que la reducción del caudal favoreció la concentración de microorganismos provenientes de descargas y residuos presentes en el entorno.
- 5) La calidad microbiológica del agua de la cuenca baja del río Tumbes requiere una vigilancia continua y la implementación de medidas de gestión ambiental que permitan reducir las fuentes de contaminación fecal, garantizando la conservación de los ecosistemas acuáticos y la protección de la salud pública.

VI. RECOMENDACIONES

- 1) Se sugiere implementar un método de supervisión en el área, adaptando la legislación actual, para observar y regular de forma eficiente la calidad del agua del río tumbesino.
- 2) Es esencial definir y fomentar un objetivo que incluya diversas áreas para generar un método completo en el manejo ribereño, uniendo a todas las entidades relevantes que se encargan de resguardar y conservar el ecosistema acuático que nos rodea.
- 3) Realizar estudios sobre el manejo del agua en Tumbes, con el objetivo de crear métodos eficaces para su depuración y saneamiento.
- 4) Se recomienda reducir o eliminar la descarga de aguas servidas de la planta de bombeo Coloma, especialmente durante las épocas secas, cuando se liberan desechos residenciales sin tratamiento del área urbana, o establecer un sistema previo antes de las descargas al río para disminuir el efecto adverso.
- 5) Del mismo modo, es necesario establecer iniciativas para informar a la ciudad de Tumbes sobre la importancia de proteger y cuidar el agua esencial del río.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, D. (2015). *Determinación de la calidad del agua del río San Sebastián y su Impacto en la Salud y Calidad de Vida de los habitantes del Caserío San Sebastián, Municipio Santa Rosa de Lima, Departamento La Unión* [Tesis para obtener el Grado de Maestra en Gestión Integral del Agua, Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador, Centroamérica]. Obtenido de <https://repositorio.ues.edu.sv/server/api/core/bitstreams/99589e08-7322-4024-a623-685f714a8d0f/content>
- Aliaga, M. P. (2010). Situación ambiental del recurso hídrico en la cuenca baja del río chillón y su factibilidad de recuperación para el desarrollo sostenible [Tesis para optar el Grado de Maestra en Ciencias con mención en Tratamiento de agua y reuso de desechos, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú]. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_a06ae996bf1ccb17ce8a2fbffb629f36
- Allen, M. (1996). La importancia para la salud pública de los indicadores bacterianos que se encuentran en el agua potable. Reunión sobre la calidad del agua potable, CEPIS. OPS. OMS, Lima, Perú.
- Anon, D. (2000). Waterborne outbreak of gastroenteritis associated with a contaminated municipal water supply, Walkerton, Ontario, May-June 2000. *Can Commun Dis Rep*, 26(1), 170 - 173.
- Añazco, J. A. (2004). Contaminación microbiológica fecal del Río Tumbes, desde Rica Playa hasta su desembocadura, Abril-Diciembre 2004 [Tesis de

- Maestro en Ciencias Mención en Gestión Ambiental, Universidad de Trujillo, Trujillo]. https://biblioteca.imarpe.gob.pe/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=17520
- APHA. (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 9222 D. Faecal Coliform Membrane Filter Procedure American Water Works Association. Denver, CO.
- APHA – AWWA. (1998). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. 17 edición, Ed. Díaz de Santos, SA.
- Arcos, M., Ávila, S., Estupiñán, S., & Gómez Aura. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *Revista NOVA Publicación científica en Ciencias Biomédicas*, 3(4), 69 -79. doi:<https://doi.org/10.22490/24629448.338>
- Arias, F. (2012). El proyecto de investigación - Introducción a la metodología científica (Sexta ed.). Caracas - Venezuela: Editorial Episteme. <https://abacoenred.org/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf-1.pdf>
- Ashbolt, N. (2004). Microbial contamination of drinking water and disease outcomes in developing regions. *Toxicology*, 198(1-3), 229 -238. doi:10.1016/j.tox.2004.01.030.
- Ashbolt, N., Grabow, W., & Snozzi, M. (2001). Indicators of microbial water quality. En L. Fewtrell, & J. Bartram, *Water Quality: Guidelines, Standards and Health Risk Assessment and Management for Water-Related Infectious Disease* (Chapter 13) (págs. 289-315). London: IWA Publishing. Obtenido de <https://home.iitk.ac.in/~anubha/Water3.pdf>

- Autoridad Nacional del Agua - ANA. (2016). Estrategia Nacional para el mejoramiento de la calidad de los recursos hídricos. Boletín, Lima. Obtenido de https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/r.j._042-2016-ana_-_copia.pdf
- Avila de Navia, S. L., & Estupiñan, S. (2009). Calidad sanitaria del agua de la cienaga Mata de Palma en el departamento del Cesar Colombia. *NOVA publicación científica en Ciencias Biomédicas*, 7 (11), 87 - 91.
- Bermejo, L., & Cruz, G. (2011). Evaluación de la contaminación fisicoquímica y microbiológica de las aguas de drenaje agrícola de la margen izquierda del Río Tumbes. *Manglar Revista de Investigación Científica*, 7 (11), 11 - 25.
- Bitton, G. (2005). *Wastewater Microbiology* (3era ed.). (J. Wiley, & Sons, Edits.) Hoboken, New Jersey: Wiley-Liss. https://sannhiquangngai.com/uploads/page/2018_11/wastewatermicrobiologygabrielbitton.pdf
- Calvo, G., & Mora, J. (2012). Contaminación fecal en varios ríos de la Gran Área Metropolitana y la Península de la Osa. *Tecnología en Marcha*, 25 (4), 33 - 39. https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/617/543
- Campos-Pinilla, C., Cárdenas-Guzmán, M., & Guerrero-Cañizares, A. (2008). Comportamiento de los indicadores de contaminación fecal en diferente tipo de aguas de la sabana de Bogotá (Colombia). *Universitas Scientiarum*, 13 (2), 103 - 108. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pidM=S0122-74832008000200001
- Decreto Supremo N° 002-2008-MINAN. (2008). *Aprueba los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua*. Normas Legales - El peruano.
- Delgado, Y., Miravet, M., & Nuñez Raquel. (2008). Indicadores microbiológicos de calidad del agua en la costa oeste de Ciudad de la Habana. *Higiene y*

- Sanidad Ambiental*, 8 (1), 387 - 391. https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc51018cc317234_Hig.Sanid_.Ambient.8.387-391%282008%29.pdf
- Falcão, D. P., Leite, C. Q., Simões, M. J., Giannini, M. J., & Valentini, S. R. (1993). Microbiological quality of recreational waters in Araraquara, SP, Brazil. *Sci Total Environ*, 128 (1), 37 - 49. doi:10.1016/0048-9697(93)90178-9.
- Ferguson, C. M., Coote, B., Ashbolt, N. J., & Stevenson, I. M. (1996). Relationships between indicators, pathogens and water quality in an estuarine system. *Water Research*, 30, 2045 - 2054.
- Fernández, A. (2011). Proyecto de modernización de la gestión de los recursos hídricos. Taller "Mejora de gestión de la calidad del agua en las Cuencas Piloto", Autoridad Nacional del Agua - ANA, Arequipa. https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/3_problematika_de_la_contaminacion_af_0.pdf
- Galindo, J. A., Vázquez, L., Cruz, M. A., López, M., & San Martín, P. (2005). Contaminación del Río Cazonas, Veracruz, México durante el periodo octubre 2004 - junio 2005. *Revista Científica UDO Agrícola*, 5 (1), 74 - 80.
- Gallardo, C. (2009). *Determinación de la calidad del agua que abastece a cuatro comunidades del Cantón El Almendro del Municipio de Jucaran, Usulután* [Tesis para optar el Grado de Maestra en Ciencias en Agricultura sostenible, Universidad de El Salvador, San Salvador, EL Salvador, Centro América]. <https://repositorio.ues.edu.sv/server/api/core/bitstreams/63bc1676-a452-4e89-913d-ae17e0406a4d/content>

- García, T., Prats, J., & Servais, P. (2007). Comparison of culturable fecal coliforms and *Escherichia coli* enumeration in freshwaters. *Can J. Microbiol*, 53 (6), 798 - 801. doi:10.1139/W07-033.
- García, T., Torres, J., & Vergara, S. (2011). Calidad ecológica del agua del río utcubamba en relación a parámetros fisicoquímicos y biológicos. Amazonas, Perú. *SCIENDO*, 14 (1-2), 7-19. https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/SCIENDO/article/view/533/pdf_10
- Glynn, H., & Heinke, G. (1999). Ingeniería Ambiental (Segunda ed.). México: Prentice Hall.
- González, J. A. (2002). El coprostanol como biomarcador de la contaminación fecal. Una revisión de sus aplicaciones en el medio marino. *Journal of the Meican Chenival Society*, 46 (4), 341 - 348. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47546409>
- Guzmán, G., Thalasso, F., Ramírez, E., Rodríguez, S., Guerrero, A., & Avelar, F. (2011). Evaluación espacio-temporal de la calidad del agua del río San Pedro en el Estado de Aguascalientes, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 27 (2). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992011000200001
- Harwood, V., Levine, A., Scott, T., Chivukula, V., Lukasik, J., Farrah, S., & Rose, J. (2005). Validity of the indicator organism paradigm for pathogen reduction in reclaimed water and public health protection. *Appl Environ Microbiol*, 71 (6), 3163 - 3170. doi:10.1128/AEM.71.6.3163-3170.2005
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (1999). *Metodología de la investigación* (Segunda ed.). México: McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A.

- Hoshina, K., Itagaki, A., Seki, R., Yamamoto, K., Masuda, S., Muku, T., & Okada, N. (2001). Enterohemorrhagic *Escherichia coli* O26 outbreak caused by contaminated natural water supplied by facility owned by local community. *Jpn Infect Dis*, 54 (9), 247 - 248.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales - INRENA. (1999). Informe de estudio preliminar de calidad de agua del río Tumbes. Tumbes.
- Ksoll, W., Ishii, S., Sadowsky, M., & Hicks, R. (2007). Presence and Sources of Fecal Coliform Bacteria in Epilithic Periphyton Communities of Lake Superior. *Applied and Environmental Microbiology*, 73 (12), 3771 - 3778. doi:10.1128/AEM.02654-06
- Larios-Meoño, J.F., Taranco, C. y Morales, Y. (2015). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Saber y Hacer*, 2(2), 19-25.
- Lima, A., & Mazari, M. (2007). *Evaluación bacteriológica de la Calidad de agua en el río Lerma, México* [Tesis para optar el Título de Biólogo, Universidad Nacional Autónoma de México, México]. <https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000612607/3/0612607.pdf>
- Manahan, S. (2007). *Introducción a la química ambiental*. México: Editorial Reverté, S.A.
- Mantilla, C. (1998). *Monitoreo de los niveles de contaminación del río Tumbes y zonas adyacentes. Parte microbiológica* [Universidad Nacional de Tumbes, Tumbes].
- Martínez, A., Fonseca, K., Ortega, J. L., & García, C. (2009). Monitoreo de la calidad microbiológica del agua en la cuenca hidrológica del Río Nazas, México. *Química Viva*, 8 (1), 35 - 47. <https://www.redalyc.org/pdf/863/86311258005.pdf>

- Meybeck, M., & Helmer, R. (1996). An introduction to water quality. En D. Chapman, Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring (Segunda ed., págs. 19 - 40). https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/41850/0419216006_eng.pdf
- Mora, J., & Calvo, G. (2010). Estado actual de contaminación con coliformes fecales de los cuerpos de agua de la Península de Osa. *Tecnológico en Marcha*, 23 (5), 34 - 40. https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/56/55
- Murgel, S. (1984). Limnología sanitaria, estudio de la polución de aguas continentales. Monografía, OEA - Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos, Washintong.
- Murtaugh, J., & Bunch, R. (1967). Water Pollution Control Federation. *Scielo*, 39, 404 - 409.
- Payment, P., & Franco, E. (1993). Clostridium perfringens and somatic coliphages as indicators of the efficiency of drinking water treatment for viruses and protozoan cysts. *Applied Environmental Microbiology*, 59 (8), 2418 - 2424. doi:10.1128/aem.59.8.2418-2424.1993.
- Paz, M., Barzola, C., Lazcano, C., Ponce, M., & León, J. (2003). Colífagos como indicadores de contaminación fecal y de remoción bacteriana en la potabilización del agua. *Revista Peruana de Biología*, 10 (2), 133 - 144. https://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/biologia/v10_n2/bib_colifagos.htm
- Pérez, D. (2002). Los recursos hídricos y su significación en el siglo XXI. El caso particular de Cuba. *Rev. Ingen. Hid. y Ambiental*, 23 (3), 9 - 12.
- Pérez, R., & Valdés, H. (2011). *Recursos Hídricos Cuba*, Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (pág. 42). Fundación FENSA y BID.

- PNUMA – Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2011).
Titicaca desagadero – Poopó – Salar de Coipasa (TDPS), GEO Titicaca.
Colombia: Panamericana Formas e Impresos S.A.
- Puño, N. (2016). Plan de manejo ambiental del recurso hídrico de la cuenca del río
Puyango Tumbes. *Revista El manglar*, 13 (2), 53 - 61. doi:<https://doi.org/10.17268/manglar.2016.016>
- Ram, S., Vajpayee, P., & Shanker, R. (2008). Contamination of potable water
distribution systems by multiantimicrobial-resistant enterohemorrhagic
Escherichia coli. *Environmental Health Perspectives*, 116 (4), 448 - 452.
doi:10.1289/ehp.10809.
- Ramírez, E. (2004). Evaluación de la contaminación fecal en ríos urbanos mediante
la determinación de Urobilinas. Tesis para obtener el grado de Maestría en
Ciencias con especialidad en Ingeniería Ambiental, Universidad Autónoma
de Nuevo León, San Nicolas de los Garza, Nuevo León. Obtenido de
<https://core.ac.uk/download/pdf/76591158.pdf>
- Rivera, S. C., Hazen, T. C., & Toranzos, G. A. (1998). Isolation of fecal coliforms
from pristine sites in a tropical rain forest. *Applied Environmental
Microbiology*, 52 (2), 513 - 517.
- Rodríguez, J, García, C. y García, J. (2017). Enfermedades transmitidas por el agua
y saneamiento básico en Colombia. *Revista de Salud Pública*, 18 (5), 738-
745. DOI <http://dx.doi.org/10.15446/rsap.v18n5.54869>
- Romeu, B. (2012). *Caracterización de cepas de Escherichia coli de importancia
clínica humana aisladas de ecosistemas dulceacuícolas de La Habana*.
[Tesis para optar el grado de Doctor en Ciencias, Universidad de la Habana,

Facultad de Biología, La Habana]. <https://tesis.sld.cu/index.php?P=FullRecord&ID=118>

Rompré, A., Servais, P., Baudart, J., De-Roubin, M., & Laurent, P. (2002). Detection and enumeration of coliforms in drinking water: current methods and emerging approaches. *Microbiol Methods*, 49 (1), 31 - 54. doi:10.1016/s0167-7012(01)00351-7.

Salazar, J. (2009). Inventario preliminar de recursos hídricos de la cuenca del río Amazonas. Guía N° 3, Unidad Técnica Nacional Proyecto GEF Amazonas OTC/PNUMA.

Seoanez, M., & Gutiérrez, A. (1999). Aguas residuales: Tratamiento por humedales artificiales. Madrid - España: Mundiprensa.

Siew-Leng, L., Fane, A., Krantz, W., & Teik-Thye, L. (2012). Emergency water supply: a review of potential technologies and selection criteria. *Water Res.* 46 (10), 3125 - 3151. doi:10.1016/j.watres.2012.03.030

Singh, J. Yadav, P., Kumar, A. y Mishra, V. (2020). Water Pollutants: Origin and Status. En D. Pooja (Ed.), *Sensors in Water Pollutants Monitoring: Role of Material, Advanced Functional Materials and Sensors* (pp. 5-20). Singapore: Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0671-0_2

Singh, M. y Gupta, A. (2017). Water pollution-sources, effects and control. India: Manipur University, Canchipur-795003, Imphal.

Tamayo y Tamayo, M. (2004). *El proceso de la investigación científica* (Cuarta ed.). México: LIMUSA. <https://books.google.com.cu/books?id=BhymmEqkkJwC>

Terleira, E. (2010). *Evaluación de la contaminación fecal del agua superficial de la cuenca media del río shilcayo ubicado entre la bocatoma y el asentamiento humano Villa Autónoma*. [Tesis para obtener el Grado de Magíster Scientiae

en Gestión Ambiental, Universidad Nacional de San Martín- Tarapoto, Tarapoto, Perú]. <https://repositorio.unsm.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/64a49d60-5410-491f-af18-f596958733f2/content>

Vecco, D. (2005). Estudio de reconocimiento del área ecológica en los orígenes de la Quebrada Shilcayo, Cordillera Escalera. San Martín.

World Health Organization - WHO. (2011). *Informe de salud del mundo*. En Wim Van Lerberghe, Annick Manuel, Zoë Mathews, & Cathy Wolfheim. Ediciones OMS.

ANEXOS

Anexo 1. ANOVA de los parámetros ambientales y coliformes en cada zona de muestreo

ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Tirante de agua	Entre grupos	,761	3	,254	3,954	,018
	Dentro de grupos	1,796	28	,064		
	Total	2,557	31			
Temperatura	Entre grupos	,010	3	,003	,024	,995
	Dentro de grupos	3,830	28	,137		
	Total	3,840	31			
Oxígeno disuelto	Entre grupos	,626	3	,209	5,612	,004
	Dentro de grupos	1,041	28	,037		
	Total	1,667	31			
pH	Entre grupos	1,076	3	,359	3,690	,023
	Dentro de grupos	2,723	28	,097		
	Total	3,799	31			
Salinidad	Entre grupos	3,604	3	1,201	2242,33 3	,000
	Dentro de grupos	,015	28	,001		
	Total	3,619	31			
Coliformes termotolerantes	Entre grupos	2133,094	3	711,031	29,798	,000
	Dentro de grupos	668,125	28	23,862		
	Total	2801,219	31			

Anexo 2. Prueba de Duncan a tirante de agua, oxígeno disuelto y pH entre cada zona de muestreo.

Tirante de agua

Duncan

Zona de muestreo	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
San Juan de la Virgen	8	1,300	
Garbanzal	8	1,338	
Ciudad de Tumbes	8	1,513	1,513
Zona baja del río Tumbes	8		1,688
Sig.		,123	,178

Oxígeno disuelto

Duncan

Zona de muestreo	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Garbanzal	8	7,063	
Ciudad de Tumbes	8	7,063	
San Juan de la Virgen	8	7,069	
Zona baja del río Tumbes	8		7,388
Sig.		,952	1,000

pH

Duncan

Zona de muestreo	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
San Juan de la Virgen	8	6,988	
Zona baja del río Tumbes	8		7,325
Garbanzal	8		7,400
Ciudad de Tumbes	8		7,463
Sig.		1,000	,413

Salinidad

Duncan

Zona de muestreo	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
San Juan de la Virgen	8	,100	
Garbanzal	8	,100	
Ciudad de Tumbes	8	,100	
Zona baja del río Tumbes	8		,875
Sig.		1,000	1,000

Coliformes termotolerantes

Duncan

Zona de muestreo	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
San Juan de la Virgen	8	4,88	
Garbanzal	8	6,38	
Ciudad de Tumbes	8		19,75
Zona baja del río Tumbes	8		23,63
Sig.		,544	,124

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 8,000.

Anexo 3. ANOVA de los parámetros ambientales y coliformes fecales con respecto a los meses de muestreo.

ANOVA						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Tirante de agua	Entre grupos	1,685	7	,241	6,620	,000
	Dentro de grupos	,873	24	,036		
	Total	2,557	31			
Temperatura	Entre grupos	3,785	7	,541	235,948	,000
	Dentro de grupos	,055	24	,002		
	Total	3,840	31			
Oxígeno disuelto	Entre grupos	,177	7	,025	,408	,888
	Dentro de grupos	1,489	24	,062		
	Total	1,667	31			
pH	Entre grupos	2,269	7	,324	5,084	,001
	Dentro de grupos	1,530	24	,064		
	Total	3,799	31			
Salinidad	Entre grupos	,004	7	,001	,004	1,000
	Dentro de grupos	3,615	24	,151		
	Total	3,619	31			
Coliformes termotolerantes	Entre grupos	569,469	7	81,353	,875	,540
	Dentro de grupos	2231,750	24	92,990		
	Total	2801,219	31			

Anexo 4. Prueba de Tukey a tirante de agua, temperatura y pH entre cada mes de muestreo.

Tirante de agua				
HSD Tukey				
Mes	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
Noviembre	4	1,200		
Octubre	4	1,225		
Setiembre	4	1,250		
Agosto	4	1,400	1,400	
Diciembre	4	1,425	1,425	
Julio	4	1,600	1,600	1,600
Junio	4		1,700	1,700
Mayo	4			1,875
Sig.		,102	,372	,478

Temperatura					
Subconjunto para alfa = 0.05					
Mes	N	1	2	3	4
Setiembre	4	24,625			
Octubre	4		25,000		
Noviembre	4		25,000		
Diciembre	4		25,000		
Junio	4			25,450	
Julio	4			25,500	
Agosto	4			25,550	
Mayo	4				25,675
Sig.		1,000	1,000	,105	1,000

pH				
Subconjunto para alfa = 0.05				
Mes	N	1	2	3
Mayo	4	6,950		
Junio	4	7,025		
Julio	4	7,075	7,075	
Agosto	4	7,175	7,175	7,175
Diciembre	4	7,300	7,300	7,300
Setiembre	4	7,500	7,500	7,500
Noviembre	4		7,650	7,650
Octubre	4			7,675
Sig.		,081	,061	,142

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4.000.

Anexo 5. Análisis de regresión lineal múltiple entre número más probable de coliformes fecales o termotolerantes y los parámetros ambientales.

Variables entradas/eliminadas

Modelo	Variables entradas	Variables eliminadas	Método
1	Salinidad	.	Por pasos (Criterios: Probabilidad-de-F-para-entrar <= ,050, Probabilidad-de-F-para-eliminar >= ,100).
2	pH	.	Por pasos (Criterios: Probabilidad-de-F-para-entrar <= ,050, Probabilidad-de-F-para-eliminar >= ,100).

a. Variable dependiente: Coliformes

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,616 ^a	,380	,359	7,611
2	,830 ^b	,690	,668	5,475

a. Predictores: (Constante), Salinidad

b. Predictores: (Constante), Salinidad, pH

ANOVA

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1063,316	1	1063,316	18,355	,000 ^b
	Residuo	1737,902	30	57,930		
	Total	2801,219	31			
2	Regresión	1931,976	2	965,988	32,228	,000 ^c
	Residuo	869,243	29	29,974		
	Total	2801,219	31			

a. Variable dependiente: Coliformes

b. Predictores: (Constante), Salinidad

c. Predictores: (Constante), Salinidad, pH

Coefficientes^a

		Coeficientes				
		Coeficientes no estandarizados		estandarizados		
Modelo		B	Desv. Error	Beta	t	Sig.
1	(Constante)	8,621	1,787		4,826	,000
	Salinidad	17,142	4,001	,616	4,284	,000
2	(Constante)	-101,593	20,513		-4,953	,000
	Salinidad	16,268	2,883	,585	5,644	,000
	pH	15,146	2,813	,558	5,383	,000

a. Variable dependiente: Coliformes

Variables excluidas

Modelo		En beta	t	Sig.	Correlación parcial	Estadísticas de colinealidad
						Tolerancia
1	Tirante de agua	-,174 ^b	-1,075	,291	-,196	,788
	Temperatura	-,364 ^b	-2,798	,009	-,461	,998
	Oxígeno disuelto	-,273 ^b	-1,516	,140	-,271	,612
	pH	,558 ^b	5,383	,000	,707	,997
2	Tirante de agua	,237 ^c	1,766	,088	,317	,556
	Temperatura	-,007 ^c	-,053	,958	-,010	,583
	Oxígeno disuelto	,029 ^c	,194	,847	,037	,506

a. Variable dependiente: Coliformes

b. Predictores en el modelo: (Constante), Salinidad

c. Predictores en el modelo: (Constante), Salinidad, pH

Anexo 6. Patrones de Conservación de Recursos Acuáticos

Parámetros Microbiológicos	Unidad	Ecosistemas Marinos Costeros		
		Ríos	Estuarios	Marinos
Coliformes fecales	NMP/100mL	2000	1000	≤ 30
Coliformes totales	NMP/100mL	3000	2000	≤ 30

Fuente: (MINAM, DS N°002-2008), anexo 1 p 10 de 10

Anexo 7. Clasificación de Calidad de Aguas de Cuerpos Superficiales.

Clasificación	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
Coliformes					
Fecales					
NMP/100 mL	≤ 50	50-1000	1000-2000	2000-5000	≥ 5000

Fuente: (Mora y Calvo, 2010)

Anexo 8. Patrones Calidad Ambiental Categoría 3: Regadío Vegetal.

Parámetro Biológico	Unidades	Tallos Bajos	Tallos Altos
ColiformesTermotolerante	NMP/100 ml	1,000	2,000 (3)
Coliformes Totales	NMP/100 ml	5,000	5,000 (3)
Enterococos	NMP/100 ml	20	100
Escherichia coli	NMP/100 ml	100	100
Huevosde Helmintos	huevos/litro	<1	<1(1)
Salmonella sp.	Ausente		Ausente
Vibrioncholerae	Ausente		Ausente

Fuente: (MINAM, DS N°002-2008), anexo 1 p 7 de 10

Anexo 9. Patrones Ambientales Categoría 3: Regadío Vegetal y Bebida Animal

Parámetros – Biológicos	valores en NMP/100ml
- Coli. termotolerantes.	1 000
- Coliformes totales.	5 000
- Enterococos.	20
- Escherichia coli.	100
- Huevos de helmintos.	Huevos / litro. <1
- Salmonella sp.	Ausente
- Vibrio cholerae.	Ausente

Fuente: (MINAM, DS N° 002-2008), anexo 1 p 8 de 10

Anexo 10. Para medir coliformes en la habilidad de tubos múltiples en NMP y con un límite de confianza del 95%, para diversas combinaciones de resultados positivos, si se usan cinco tubos para cada dilución (10 ml, 1,0 ml y 0,1 ml) (FUNASA, 2013).

COMBINACIÓN DE POSITIVOS	NMP/100 mL	LÍMITES	
		INFERIOR	SUPERIOR
0-0-0	< 2	-	-
0-0-1	2	1.0	10
0-1-0	2	1.0	10
0-2-0	4	1.0	13
1-0-0	2	1.0	11
1-0-1	4	1.0	15
1-1-0	4	1.0	15
1-1-1	6	2.0	18
1-2-0	6	2.0	18
2-0-0	4	1.0	17
2-0-1	7	2.0	20
2-1-0	7	2.0	21
2-1-1	9	3.0	24
2-2-0	9	3.0	25
2-3-0	12	5.0	29
3-0-0	8	3.0	24
3-0-1	11	4.0	29
3-1-0	11	4.0	29
3-1-1	14	6.0	35
3-2-0	14	6.0	35
3-2-1	17	7.0	40
4-0-0	13	5.0	38
4-0-1	17	7.0	45
4-1-0	17	7.0	46
4-1-1	21	9.0	55
4-1-2	22	12	63
4-2-0	26	9.0	56
4-2-1	26	12	65
4-3-0	27	12	67
4-3-1	33	15	77
4-4-0	34	16	80
5-0-0	23	9	86
5-0-1	30	10	110
5-0-2	40	20	140
5-1-0	30	10	120
5-1-1	50	20	150
5-1-2	60	30	180
5-2-0	50	20	170
5-2-1	70	30	210
5-2-2	90	40	250
5-3-0	80	30	250
5-3-1	110	40	300
5-3-2	140	60	360
5-3-3	170	80	410
5-4-0	130	50	390
5-4-1	170	70	480
5-4-2	220	100	560
5-4-3	280	120	690
5-4-4	350	160	820
5-5-0	240	100	940
5-5-1	300	100	1300
5-5-2	500	200	2000
5-5-3	900	300	2900
5-5-4	1600	600	5300
5-5-5	1600	-	-

Nota. NMP: Número Más Probable por 100 mililitros de muestra.

Fuente: APHA, 1985.

Anexo 11. Panel fotográfico de ejecución de tesis

Figura 8

Panel fotográfico de ejecución de tesis: a) Preparación de medio de cultivo, b) tubos de ensayo con medio de cultivo, c) Observación de coliformes fecales o termotolerantes y d) Siembra de coliformes fecales o termotolerantes

