

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
RECURSOS NATURALES



Tesis

Resistencia a antibióticos en *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* aisladas de muestras de agua del río Vilcanota destinadas para el riego, como agentes de riesgo ambiental, 2024

Asesora:

Mag. Sota Cano, Angela Fiorella

Autor:

Chauca Quispe, Jenifer Fiorella

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Ambiental

Cusco – Cusco - Perú
2025



Universidad Tecnológica de los Andes

Transformando vidas

Año de la Recuperación y Consolidación de la Economía Peruana"

ACTA DE SUSTENTACIÓN ORAL DE LA TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

Modalidad de titulación: **Presentación, Sustentación y Aprobación de Tesis Profesional.**

En la ciudad del Cusco siendo las 09:00 horas del día 06 de enero del año dos mil veinticinco, en concordancia con el Reglamento General de Grado Académico y Título de la Universidad Tecnológica de los Andes, y en mérito a la Resolución Sub Directoral N° RSD- 167-2024-UTEA-FI-EPIARN-SD del 30 de diciembre del 2024, se realiza el acto académico de sustentación de la tesis, intitulada "RESISTENCIA A ANTIBIÓTICOS EN ESCHERICHIA COLI Y SALMONELLA SP. AISLADAS DE MUESTRAS DE AGUA DEL RÍO VILCANOTA DESTINADAS PARA EL RIEGO, COMO AGENTES DE RIESGO AMBIENTAL, 2024", presentado por la bachiller señorita **CHAUCA QUISPE JENIFER FIORELLA**; como asesora del trabajo de investigación Mag. ANGELA FIORELLA SOTA CANO. Habiéndose nombrado al jurado con resolución Sub directoral RSD- 167 - 2024-UTEA-FI-EPIARN-SD, que está conformada por los señores docentes:

- Presidente: Econ. Wilfredo Baltazar Vega Villafuerte.
- Replicante: Mg. Cynthia Cecilia Arrieta Concha
- Dictaminante: Blga. Ing. Gladys Allende Ramos.

El acto académico se realizó de la siguiente manera:

Primero: El docente secretaria designado dio lectura de la resolución sub Directoral N° RSD- 167 - 2024-UTEA-FI-EPIARN-SD, en el que se señala la fecha y hora y el jurado correspondiente para la sustentación de la tesis antes mencionada, así como los artículos 18 y 19 del Reglamento General de Grados Académicos y títulos de la Universidad Tecnológica de los Andes.

Segundo: Se procedió con la sustentación de la tesis señorita bachiller aspirantes al título de Ingeniero Ambiental y Recursos Naturales.

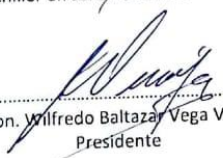
Tercero: Se procedió con las preguntas y repreguntas por parte del jurado calificador quienes en una ficha de observaciones hacen conocer por escrito sus apreciaciones y observaciones al trabajo de investigación (tesis).


Cuarto: El presidente del jurado invitó a las señorita bachiller y al público en general para que se sirvan desocupar el salón de grados para que el jurado dilucide las calificaciones y determine la nota calificadora de cada uno de los aspirantes al título profesional.

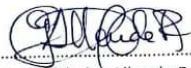
Quinto: Culminada con la calificación de parte de los señores integrantes del jurado se dio a conocer públicamente la nota obtenida por la señorita bachiller, la misma que fue de 17 Diecisiete puntos.

El presidente del jurado calificador hará llegar al bachiller las fichas de observaciones para que puedan levantar las observaciones en los plazos previstos.

Siendo las 10:15am horas se dio por concluido el acto de sustentación, firmando los señores integrantes del jurado, la señorita bachiller en señal de conformidad.


Econ. Wilfredo Baltazar Vega Villafuerte
Presidente


Mg. Cynthia Cecilia Arrieta Concha
Replicante


Blga. Ing. Gladys Allende Ramos
Dictaminante


Bach. Jenifer Fiorella Chauca Quispe

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
Ciudad Universitaria, Av. Perú N° 700, Abancay, Central Telefónica 051 (083) 321559
Filial Cusco, Av. Grau 516, Teléfono (084) 251565
Filial Andahuaylas, San Jerónimo Jr. Ccatalay N° 100 Teléfono (083) 421752
www.utea.edu.pe

Resistencia a antibióticos en Escherichia coli y Salmonella sp. aisladas de muestras de agua del .doc

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
2	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	Submitted to Universidad Tecnológica de los Andes Trabajo del estudiante	1%
4	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	www.scribd.com Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	<1%

Metadatos

Datos del Autor	
Apellidos y Nombres	: Chauca Quispe Jenifer Fiorella
Tipo de Documentos de Identidad	: DNI
Número de documento de Identidad	: 77242943
URL ORCID	: https://orcid.org/0009-0002-6814-2008
Datos del Asesor	
Apellidos y Nombres	: Sota Cano Angela Fiorella
Tipo de Documentos de Identidad	: DNI
Número de documento de Identidad	: 44538035
URL ORCID	: https://orcid.org/0000-0003-2757-7259
Datos de la Investigación	
Facultad	: Ingeniería
Escuela Profesional	: Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales
Línea de Investigación	: Calidad Ambiental
Rango de Años en que se realizó su investigación	: 2024
Fuente de financiamiento	: Recursos propios
Porcentaje de similitud	: 16%
URL de OCDE	: https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01

Dedicatoria

Para Jacinto y Romualda, mis amados padres, dedico este trabajo como muestra de mi profundo agradecimiento. Su comprensión, amor y paciencia incondicional me han permitido alcanzar esta importante meta. Su apoyo constante ha sido mi mayor motivación para no rendirme en este camino y seguir adelante, buscando mi superación personal y profesional.

A José Fernando Huañec Huacac quien, con su paciencia y amor ha sido mi mayor soporte, por caminar a mi lado, por alentarme en momentos difíciles, por celebrar cada uno de mis logros y, sobre todo por creer en mí.

A mi hermana Alexandra quien ha estado a mi lado en este proceso, brindándome su amistad sincera y compartir conmigo experiencias, alegrías y desafíos. Juntas hemos aprendido y crecido, convirtiéndonos en un equipo sólido.

A todas aquellas personas que de una u otra manera han contribuido a que este trabajo de investigación se haya hecho realidad. Su confianza y palabras de aliento han sido fundamentales para superar los obstáculos y alcanzar esta meta tan anhelada.

Agradecimiento

Agradezco a Dios por guiarme con su sabiduría, infundirme su fuerza y otorgarme la perseverancia que me impulsaron a culminar con éxito esta investigación e iniciar mi trayecto hacia la obtención de mi título profesional.

A mis padres, por su amor incondicional, su paciencia y apoyo inquebrantable durante todo este proceso. Por cada una de sus palabras de aliento y su confianza en mi han sido fundamentales para no rendirme ante las dificultades.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales Filial Cusco, por acogerme en sus instalaciones y permitirme el uso del Laboratorio de Biología y Microbiología.

A mi asesora Mg. Angela Fiorella Sota Cano, por su invaluable guía, sus valiosos consejos y su dedicación para encaminar esta investigación por el sendero correcto. Su experiencia y conocimientos han sido una fuente de inspiración y aprendizaje constante.

A la Mg. Cynthia Cecilia Arrieta Concha, Mg. Ana Irina Cáceres Vizarreta y la Bach. Tania Alejandrina Velarde Paniura por sus consejos, observaciones, enseñanzas y recomendaciones en cada laboratorio realizado, permitiéndome alcanzar un nivel de calidad en cada uno de mis ensayos.

Resumen

Este estudio aborda la resistencia a antibióticos en *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* aisladas de muestras de agua del Río Vilcanota destinadas al riego, como agentes de riesgo ambiental. El objetivo fue identificar la resistencia bacteriana a diferentes antibióticos, evaluando su impacto en la salud, el ambiente y al entorno socioeconómico. La metodología para el análisis microbiológico se estructuró en tres etapas: gabinete, campo y laboratorio, mientras que la evaluación de riesgo implicó un análisis, evaluación y caracterización del riesgo. Se recolectaron 8 muestras de agua en cuatro puntos de muestreo durante mayo y junio del 2024 en los distritos de Lamay y Calca, analizando la resistencia a 15 antibióticos, y sus propiedades fisicoquímicas del agua. Los resultados revelaron que *Escherichia coli* presentó un 25% de resistencia a cefalotina y cefazolina, y 50% a amicacina y gentamicina. *Salmonella sp.* presentó una resistencia del 35% a los mismos antibióticos, manteniendo un 65% de sensibilidad. No se detectó resistencia a betalactámicos de amplio espectro. La resistencia de *Salmonella sp.* superó en 13.33% a la de *Escherichia coli*, destacando su resistencia a dos clases de antibióticos, cefalosporinas y aminoglucósidos. El nivel de riesgo ambiental, fue del 73.33%. Se concluye que las aguas del río Vilcanota destinadas para el riego, albergan cepas de *E. coli* y *Salmonella sp.* resistentes diferentes antibióticos, lo que representa una amenaza para la salud, al entorno ecológico y la estabilidad socioeconómica, generando un riesgo ambiental significativo.

Palabras clave: resistencia, antibióticos, *Escherichia coli*, *Salmonella sp.*, riesgo ambiental.

Abstract

This study addresses antibiotic resistance in *Escherichia coli* and *Salmonella sp.* isolated from water samples of the Vilcanota River used for irrigation, as environmental risk agents. The objective was to identify bacterial resistance to different antibiotics, evaluating their impact on health, the environment and the socioeconomics context. The methodology for microbiological analysis was structured in three stages: office, field and laboratory, while risk assessment involved an analysis, evaluation, and characterization. Eight water samples were collected at four sampling points during May and June 2024 in the districts of Lamay and Calca, analyzing resistance to 15 antibiotics, and their physicochemical properties of the water. The results revealed that *Escherichia coli* presented 25% resistance to cephalothin and cefazolin, and 50% to amikacin and gentamicin. *Salmonella sp.* presented a resistance of 35% to the same antibiotics, maintaining a 65% sensitivity. No resistance to broad-spectrum beta- lactams was detected. *Salmonella sp.* resistance exceeded that of *Escherichia coli* by 13.33%, highlighting its resistance to two classes of antibiotics, cephalosporins and aminoglycosides. The level of environmental risk was 73.33%. It is concluded that the waters of the Vilcanota River used for irrigation harbor strains of *E. coli* and *Salmonella sp.* resistant to different antibiotics, which represents a threat to health, the ecological environment and the socioeconomic stability, generating a significant environmental risk.

Keywords: antibiotic, resistance, *Escherichia coli*, *Salmonella sp.*, environmental risk.

Índice

Portada.....	i
Metadatos.....	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento.....	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
Índice de tablas.....	xii
Índice de figuras	xv
Acrónimos.....	xvii
I. Introducción	19
II. Planteamiento del problema.....	22
2.1. Descripción y formulación del problema.....	22
2.1.1. Descripción de la realidad problemática	22
2.1.2. Formulación de problemas	24
2.2. Objetivos de la investigación	25
2.2.1. Objetivo General.....	25
2.2.2. Objetivos Específicos	25
2.3. Justificación de la investigación	25
2.4. Hipótesis	27
2.4.1. Hipótesis general.....	27
2.4.2. Hipótesis específicas.....	27
2.5. Variables	28
2.5.1. Operalización de variables	29
III. Marco teórico.....	30
3.1. Antecedentes de la investigación	30
3.1.1. A nivel Internacional	30
3.1.2. A nivel nacional	32
3.1.3. A nivel regional y local.....	35
3.2. Bases teóricas	36

3.2.1. Antibióticos	36
3.2.2. Clasificación de los agentes antibióticos.....	36
3.2.3. Resistencia a Antibióticos	37
3.2.4. Clasificación de resistencia antibióticos	38
3.2.5. Mecanismos de resistencia	39
3.2.6. Bases genéticas de la resistencia.....	40
3.2.7. Vías de dispersión de antibióticos	41
3.2.8. Calidad de agua	43
3.2.9. Contaminación antropogénica	44
3.2.10. Calidad de agua según la normativa peruana.....	44
3.3. Definición de términos.....	47
IV. Metodología	50
4.1. Tipo y nivel de investigación.....	50
4.1.1. Tipo de investigación.....	50
4.1.2. Nivel de investigación.....	50
4.2. Ámbito temporal y espacial	51
4.2.1. Espacial.....	51
4.2.2. Temporal	51
4.3. Población y muestra.....	51
4.3.1. Población	51
4.3.2. Muestra	51
4.3.3. Muestreo	52
4.4. Instrumentos	53
4.5. Procedimientos	54
4.5.1. Determinación de los puntos de muestreo.....	54
4.5.2. Recolección de muestras	56
4.5.3. Evaluación de los parámetros fisicoquímicos	58
4.5.4. Evaluación de los parámetros microbiológicos	58
4.5.5. Análisis del riesgo ambiental	61

4.6. Análisis de datos.....	65
4.7. Consideraciones éticas	65
V. Resultados y discusión	66
5.1. Resultados.....	66
5.1.1. Análisis de los parámetros fisicoquímicos.....	66
5.1.2. Análisis e Identificación de <i>Escherichia coli</i> y <i>Salmonella sp.</i>	67
5.1.3. Resistencia Antibiótica de <i>E. coli</i> y <i>Salmonella sp.</i>	68
5.1.4. Análisis de Multirresistencia a antibióticos.....	77
5.1.5. Análisis de riesgos ambientales.....	81
5.1.6. Prevención de Riesgos Ambientales	108
5.2. Discusión de resultados	110
VI. Conclusiones.....	125
VII. Recomendaciones.....	127
VIII. Referencias	128
IX. Anexos	143

Índice de tablas

Tabla 1. Operalización de variables de estudio	29
Tabla 2 Categorías del Estándar de Calidad Ambiental para Agua	45
Tabla 3. ECA para agua, parámetros microbiológicos y parasitológicos Categoría 3	45
Tabla 4. ECA para agua D.S. N°002-2008- MINAM	46
Tabla 5. Tabla de técnicas e instrumentos de recolección de datos	54
Tabla 6. Coordenadas de los puntos de muestreo	55
Tabla 7. Tabla de Valoración de riesgos probables	63
Tabla 8. Fórmula para la estimación de la gravedad de las consecuencias.....	63
Tabla 9. Evaluación de los posibles escenarios.....	63
Tabla 10. Valoración de consecuencias Entorno Humano.....	64
Tabla 11. Valoración de consecuencias Entorno Ecológico.....	64
Tabla 12. Valoración de consecuencias Entorno Socioeconómico	64
Tabla 13. Rangos de estimación de los riesgos ambientales.....	65
Tabla 14. Parámetros Físicoquímicos (T°, pH, Conductividad y OD)	66
Tabla 15. Bacterias identificadas por punto de muestreo	68
Tabla 16. Eventos de resistencia de Salmonella sp. en función a los antibióticos	69
Tabla 17. Eventos de resistencia de Escherichia coli en función a los antibióticos	70
Tabla 18. Resumen de prueba de hipótesis, caso 1	73
Tabla 19. Porcentajes aislados de E. coli sensibles, intermedios o resistentes a cada antibiótico evaluado	74
Tabla 20. Porcentajes de aislados de Salmonella sp. susceptibles, intermedios o resistentes a cada antibiótico evaluado	75
Tabla 21. Resumen de prueba de hipótesis, caso 2	76
Tabla 22. Antibióticos a los que se presentó resistencia, E. coli	77
Tabla 23. Antibióticos a los que se presentó resistencia, Salmonella sp.....	78
Tabla 24. Resumen de prueba de hipótesis, caso 3	79
Tabla 25. Identificación de peligros	81

Tabla 26. Formulación de escenarios de riesgo	86
Tabla 27. Parámetros fisicoquímicos analizados en el punto 01	87
Tabla 28. Parámetros fisicoquímicos analizados en el punto 02.....	88
Tabla 29. Parámetros fisicoquímicos analizados en el punto 03.....	89
Tabla 30. Parámetros fisicoquímicos analizados en el punto 04.....	89
Tabla 31. Porcentajes de excedencia a la normativa del punto RVilc01 (parámetros fisicoquímicos).....	92
Tabla 32. Porcentajes de excedencia a la normativa del punto RVilc02 (parámetros fisicoquímicos).....	92
Tabla 33. Porcentajes de excedencia a la normativa del punto RVilc03 (parámetros fisicoquímicos).....	93
Tabla 34. Porcentajes de excedencia a la normativa del punto RVilc04 (parámetros fisicoquímicos).....	93
Tabla 35. Resistencia, por antibióticos, de Escherichia coli aisladas de los cuatro puntos muestreados.....	94
Tabla 36. Resistencia, por antibióticos, de Salmonella sp. aisladas de los cuatro puntos muestreados.....	94
Tabla 37. Valoración de la consecuencia de Salmonella sp. en el Entorno Humano	95
Tabla 38. Valoración de la consecuencia de Escherichia coli en el Entorno Humano.....	97
Tabla 39. Consolidado de la evaluación del Entorno Humano.....	98
Tabla 40. Valoración de la consecuencia de Salmonella sp. en el Entorno Humano	99
Tabla 41. Valoración de la consecuencia de E. coli en el Entorno Ecológico.....	100
Tabla 42. Consolidado de la evaluación del Entorno Ecológico.....	102
Tabla 43. Valoración de la consecuencia ocasionada por la Salmonella sp. para el Entorno Socioeconómico	103
Tabla 44. Valoración de la consecuencia de E. coli en el Entorno Socioeconómico	104
Tabla 45. Consolidación de la evaluación del Entorno Socioeconómico.....	106
Tabla 46. Equivalencia porcentual para el Entorno Humano	107

Tabla 47. Equivalencia porcentual para el Entorno Ecológico	107
Tabla 48. Equivalencia porcentual para el Entorno Socioeconómico.....	107

Índice de figuras

Figura 1. Mecanismos de acción de los distintos antibióticos.....	37
Figura 2. Clasificación de resistencia según su grado de asimilación de antimicrobianos ...	38
Figura 3. Formas de resistencia ante la presencia de antibióticos.....	40
Figura 4. Mecanismos de transferencia de genes	41
Figura 5. Diseminación de fármacos antimicrobiano y material genético en ecosistemas hídricos.....	42
Figura 6. Reactores genéticos	43
Figura 9. Área de estudio.....	57
Figura 10. Colonias sospechosas de pertenecer al género Salmonella.....	61
Figura 11. Métodos para estimar el nivel de riesgo ambiental.....	61
Figura 12 Formulación de escenarios	62
Figura 13. Ecuación para determinar el Riesgo.....	65
Figura 14. Variaciones de temperatura y pH según punto de muestreo	67
Figura 15. Conductividad y Oxígeno disuelto por puntos	67
Figura 16. Distribución de la resistencia antibiótica en cepas de Salmonella sp.....	70
Figura 17. Distribución de la resistencia antibiótica en las cepas de Escherichia coli.....	72
Figura 18. Porcentajes de resistencia general.....	79
Figura 19. Comparación de pH, en los puntos muestreados con el ECA, Cat. 3.....	90
Figura 20. Comparación de OD, en los puntos muestreados con el ECA, Cat. 3.....	90
Figura 21. Comparación de C.E. de los puntos muestreados.....	91
Figura 22. Comparación de Temperatura de los puntos muestreados	91
Figura 23 Punto 01 de muestreo.....	150
Figura 24 Rotulado del recojo de muestra del punto 01 de muestreo.....	150
Figura 25 Evaluación de parámetros del punto 01 del punto de muestreo	151
Figura 26. Punto 02 de muestreo.....	151
Figura 27. Rotulado del frasco del punto 02 de muestreo	152
Figura 28. Introducción de hisopo Moore para Salmonella sp.	152

Figura 29 Evaluación de los parámetros de campo del punto 02	153
Figura 30. Análisis de los parámetros de campo del punto 03	153
Figura 31. Muestras recogidas de los 4 puntos de muestreo	154
Figura 32. Hisopos Moore para las muestras de agua	154
Figura 33. Frascos que contienen las muestras del punto de muestreo 01	155
Figura 34. Frascos que contienen las muestras del punto de muestreo 02	155
Figura 35. Frascos que contienen las muestras del punto de muestreo 03	156
Figura 36. Frascos que contienen las muestras del punto de muestreo 04	156
Figura 37. Materiales utilizados para el aislamiento de E. coli y Salmonella sp. de muestras del Rio Vilcanota.....	157
Figura 38. Equipos utilizados para el aislamiento de E. coli y Salmonella sp. de muestras del Rio Vilcanota.....	158
Figura 39. Método NMP para el aislamiento de E. coli de muestras.....	159
Figura 40. Método NMP para obtener Salmonella sp.....	160
Figura 41. Placas petri con Agar SS, para aislar Salmonella sp.....	161
Figura 42. Placas petri con Agar Mc Conkey para aislar Escherichia coli.....	161
Figura 43. Registro del punto de muestreo N°1.....	162
Figura 44. Ficha de registro del punto de muestreo N°2	163
Figura 45. Registro del punto de muestreo N°3.....	164
Figura 46. Registro del punto de muestreo N°04.....	165

Acrónimos

ANA: Autoridad Nacional del Agua

APHA: American Public Health Association

ATP: agua peptonada tamponada

CMI: Concentración mínima inhibitoria.

CT: Coliformes Totales

CTT: Coliformes termotolerantes

DBO5: Demanda Bioquímica de Oxígeno

DQO: Demanda Química de Oxígeno

ECA: Estándar de Calidad Ambiental

EDAR: Estación Depuradora de Aguas Residuales

EMB: agar Eosina Azul de metileno

ENDES: Encuesta Demográfica y de Salud Familiar

FEM: Metodología Fresh Water Ecology and Management

INEI: Instituto Nacional de Estadística e Informática

LIA: Agar L-lysina descarboxilasa

MDR: Multirresistencia

MINAM: Ministerio del Ambiente

MINSA: Ministerio de Salud

NMP: Número más Probable

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible

OMS: Organización Mundial de la Salud

OPS: Organización Panamericana de la Salud

PDR: Panresistencia

PNUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

PTAR: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

RA: Resistencia a Antibióticos

RAM: resistencia a antimicrobianos

RVilc01: Punto de muestreo número 1

RVilc02: Punto de muestreo número 2

RVilc03: Punto de muestreo número 3

RVilc04: Punto de muestreo número 4

TSI: Triple azúcar Hierro

XDR: Ultraresistencia o resistencia extendida

I. Introducción

La situación general de la resistencia a los antibióticos es una problemática creciente que afecta tanto la salud pública como el equilibrio ambiental. Bacterias como *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* han desarrollado mecanismos de resistencia que las hacen más difíciles de tratar, lo que genera preocupación cuando estas bacterias se encuentran en fuentes de agua utilizadas para actividades agrícolas. Este fenómeno agravado por el uso indiscriminado de antibióticos, representa un riesgo significativo para los ecosistemas y las comunidades locales que dependen del agua para sus cultivos. Hasta el momento, se ha investigado la resistencia a antibióticos en ambientes acuáticos en varias partes del mundo, pero hay una falta de estudios específicos en la región del río Vilcanota.

La finalidad de este trabajo es identificar cepas de *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* resistentes a antibióticos en muestras de agua del río Vilcanota, empleadas para el riego agrícola, y evaluar en muestras de agua del río Vilcanota, empleadas para el riego agrícola, y evaluar los riesgos ambientales asociados. El interés en realizar esta investigación surge de la necesidad de comprender los riesgos microbiológicos que estas bacterias resistentes representan en fuentes hídricas utilizadas en la agricultura, ya que su presencia puede comprometer tanto la salud humana como la calidad de los cultivos.

Este trabajo busca ofrecer datos útiles para las autoridades encargadas de la gestión de recursos hídricos y la salud pública, proporcionando información sobre los niveles de resistencia a los antibióticos en este entorno específico, y propondrá acciones que ayuden a mitigar los riesgos detectados

En cuanto a la estructura del trabajo, el estudio se divide en varios ítems. En el primer ítem, se presenta el planteamiento del problema, junto a los objetivos de la investigación, tanto generales como específicos. Asimismo, se incluye la justificación del estudio, destacando su relevancia teórica, social y ambiental, así como las hipótesis y las variables investigadas.

En el segundo ítem, marco teórico, se ofrece una revisión exhaustiva de los antecedentes y fundamentos teóricos que sustentan la investigación. Se analiza estudios previos a nivel internacional, nacional y regional sobre la resistencia a los antibióticos en ambientes acuáticos, estableciendo un marco comparativo para los resultados obtenidos en este trabajo.

El tercer ítem se detalla la metodología aplicada, estructurada en tres etapas principales: gabinete, campo y laboratorio. En la etapa de gabinete, se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva para identificar estudios previos y establecer los criterios de muestreo y análisis microbiológicos. En la etapa de campo, se recolectaron las muestras de agua del río Vilcanota en frascos de vidrio esterilizados. Siguiendo los lineamientos del protocolo nacional de monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales. También se realizaron mediciones in situ de los parámetros fisicoquímicos del agua. En la etapa de laboratorio, se realizó el análisis microbiológico y de resistencia a antibióticos en *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* Es importante destacar que los puntos de muestreo fueron seleccionados estratégicamente en bocatomas específicas del sector Lamay- Calca del río Vilcanota. Estas bocatomas se utilizan para desviar y captar el agua destinada al riego agrícola, lo que las convierte en puntos críticos para analizar

la calidad del agua que llega a los cultivos. Además, la evaluación del riesgo se estructuró una estimación del nivel de peligro que representan las bacterias resistentes.

Finalmente, en el último ítem, se presentan los hallazgos de la investigación. Los resultados obtenidos son discutidos en relación con los objetivos propuestos y se comparan con investigaciones similares. A partir de estos resultados, se formulan conclusiones y recomendaciones que permiten proponer acciones para mitigar el riesgo ambiental detectado, así como recomendaciones para futuras investigaciones que continúen abordando el problema de la resistencia antimicrobiana en ambientes acuáticos.

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y formulación del problema

2.1.1. Descripción de la realidad problemática

El descubrimiento de la penicilina que hizo Alexander Fleming en el año 1928 marcó el inicio de la “era antibiótica”, representando uno de los avances más significativos en la medicina (Giraldo, 2021). Aunque su comercialización comenzó en la década de 1940, la producción a gran escala inició en 1946, dando paso a la disponibilidad generalizada en el mercado. Desde entonces, se han desarrollado numerosos antibióticos a nivel mundial, desde naturales hasta sintéticos, que han contribuido en disminuir los índices de fallecimientos debido a infecciones (Carvalho & Santos, 2016).

Conforme señala Bartlett et al. (2013) y Abraham (1914), es importante destacar que antes de la era antibiótica, el concepto de “Resistencia antibiótica” era un término desconocido. Sin embargo, el científico Fleming había prevenido sobre la resistencia al fármaco que descubrió en la *Escherichia coli*, aunque no se consideró en serio en ese momento. En el año 1960, se descubrió que más del 80% de las variedades de *Staphylococcus aureus*, obtenidas de personas de los centros hospitalarios eran resistentes a la penicilina (Chambers, 2001), lo que evidenció claramente este fenómeno.

Se debe de tener en cuenta que los microorganismos han sido capaces de adaptarse a condiciones inhóspitas. Existen microorganismos que pueden o no ser causantes de enfermedades infecciosas que afectan a la salud de seres humanos, animales o plantas (García et al., 2010). Con el paso de los años se ha intensificado la producción de antibióticos que se han convertido en parte vital de nuestras vidas, cuya función es combatir las infecciones bacterianas, inhibiendo el crecimiento o simplemente eliminándolos (Maguiña et al., 2019).

Por otro lado, pese a que los antibióticos tienen beneficios importantes en el medio, se han realizado investigaciones que los señalan como contaminantes de medios acuáticos (Li et al., 2022). El uso excesivo de antibióticos en áreas de salud humana y animal, así como también en los sectores relacionados con el cultivo de alimentos y la crianza de especies acuáticas, junto a unos escasos de estaciones de tratamiento de aguas residuales (ETAR's), ha provocado el vertimiento de antibióticos al ambiente (Baquero et al., 2008). Esta situación ha generado un aumento en la tolerancia bacteriana generando un desafío para la salud ambiental (Bisso, 2018).

Como menciona Taipe & Cabrera (2006), el río Vilcanota es un recurso hídrico utilizado para actividades de agricultura, consumo humano y actividades recreativas, pero el crecimiento urbano lo ha convertido en un receptor de aguas residuales. Estas aguas provienen de hospitales y actividades urbano domésticas, que contienen concentraciones elevadas de antibióticos y bacterias.

En la actualidad, adquiere un carácter de máxima significación entender el riesgo al ambiente que implica la descarga de contaminantes, microorganismos y genes de resistencia antibiótica, por su capacidad de persistir en el entorno y afectar potencialmente a diversas formas de vida (ECODES, 2022).

Hay infinidad de estudios que evalúan la resistencia de los patógenos frente a antibióticos, las cuales pueden encontrarse en los cuerpos de agua, tanto en aguas residuales o destinadas para el consumo. Como señala Ortega et al. (2020) los países como Norte América, Europa y Asia son aquellos que más impulsan estas investigaciones. Perú es un país que también ha desarrollado investigaciones, casi todas ellas enfocadas al ámbito clínico; no obstante, una de las que se puede mencionar orientadas a los efectos que podrían causar al ambiente es la publicación realizada por Sulca López & Alvarado Iparraguirre en el 2018.

En la ciudad del Cusco existen algunos trabajos de investigación previos que han evaluado la resistencia bacteriana, aunque la mayoría se han orientado en el ámbito de la salud y no en un contexto ambiental. Sin embargo, hasta ahora solo una investigación reciente, ha abordado la resistencia de bacterias en el agua de otro río en la región, aunque con un enfoque limitado. Por esta razón, se evaluó la resistencia que presentan la *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* aisladas de muestras de agua del río Vilcanota frente a los antibióticos Ampicilina/Sulbactam (AMP); Cefalotina (AMC); Cefazolina (CEP), Ceftazidima (CFZ); Ceftriaxona (CRO); Cefepima (FEP); Ertapenem (ETP); Meropenem (MEM); Amicacina (AMK); Gentamicina (GEN); Ciprofloxacino (CIP); Norfloxacino (NOR); Fosfomicina (FOS); Nitrofurantoína (NIT); Trimetoprima/Sulfametoxazol (SXT) y el riesgo ambiental que implica, ya que dichas aguas son utilizadas para riego.

2.1.2. Formulación de problemas

2.1.2.1. Problema general

¿Cuál será la resistencia a antibióticos en *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* aisladas de muestras de agua del río Vilcanota destinadas para el riego, como agentes de riesgo ambiental, 2024?

2.1.2.2. Problemas específicos

P1: ¿Cuál de las dos enterobacterias, *Escherichia coli* o *Salmonella sp.* aisladas de muestras de agua del río Vilcanota destinadas para el riego, presenta mayor resistencia a antibióticos, 2024?

P2: ¿Existirá la multiresistencia a antibióticos en *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* aisladas de muestras de agua del río Vilcanota destinadas para el riego, 2024?

P3: ¿Cuál será el riesgo ambiental asociado a la presencia de *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* resistentes a antibióticos, aisladas de muestras de agua del río Vilcanota destinadas para el riego, 2024?

2.2. Objetivos de la investigación

2.2.1. Objetivo General

Identificar la resistencia a antibióticos en *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* aisladas de muestras de agua del río Vilcanota destinadas para el riego, como agentes de riesgo ambiental, 2024.

2.2.2. Objetivos Específicos

O1: Identificar la enterobacteria, *Escherichia coli* o *Salmonella sp.*, con mayor resistencia a antibióticos, aisladas de muestras de agua del río Vilcanota destinadas para el riego, 2024.

O2: Identificar y determinar la multiresistencia a antibióticos en *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* aisladas de muestras de aguas del río Vilcanota destinadas para el riego, 2024.

O3: Determinar el riesgo ambiental asociado a la presencia de *Escherichia coli* y *Salmonella sp.*, resistentes a antibióticos, aisladas de muestras de agua del río Vilcanota destinadas para el riego. 2024.

2.3. Justificación de la investigación

La investigación sobre resistencia ambiental en bacterias del río Vilcanota se fundamenta en una comprensión integral de sus múltiples dimensiones y relevancia

científica. Desde una perspectiva teórica, el estudio contribuye al conocimiento científico mediante la generación de datos locales sobre la resistencia antibiótica de *Escherichia coli* y *Salmonella sp.*, en un ecosistema hídrico crítico, aportando información específica sobre los mecanismos de resistencia bacteriana en el río Vilcanota, y ampliando la comprensión de este fenómeno en el contexto regional. Se eligió este tema debido al creciente problema de la resistencia antibiótica y su impacto en la salud pública y ambiental, especialmente en zonas agrícolas que utilizan el agua del río para el riego.

Desde el punto de vista práctico, los resultados obtenidos proporcionan herramientas concretas para la gestión de recursos hídricos, ofreciendo información crucial para diseñadores de políticas públicas, profesionales de la salud y autoridades ambientales. La investigación permite identificar patrones de resistencia antibiótica que pueden orientar protocolos de tratamiento de agua, monitoreo microbiológico y estrategias de prevención de riesgos sanitarios. El conocimiento generado en este estudio contribuirá a un mejor manejo del riesgo bacteriano en ambientes acuáticos.

La investigación se realiza porque existe una preocupación creciente por los efectos de la resistencia bacteriana en varios entornos, particularmente en comunidades rurales que dependen del agua para la agricultura. En términos sociales, este estudio aborda un problema de salud pública directamente relacionado con el bienestar de las comunidades. Considerando que en el Perú el 11.0% de los menores de cinco años sufren de diarrea (ENDES, 2017) y que la OMS identifica a *Salmonella sp.* como uno de los principales agentes patógenos causantes de enfermedades diarreicas, la investigación contribuye significativamente a la comprensión de los riesgos para la población (OPS & OMS, 2022).

La investigación surge de la confluencia de varios factores críticos: el crecimiento urbano y su impacto en los recursos hídricos, el incremento de la resistencia antibiótica como problema global, la necesidad de comprender los riesgos microbiológicos en

fuentes de agua destinada al riego y los limitados estudios locales detallados sobre la resistencia bacteriana en el río Vilcanota.

Entre sus principales aportes se encuentran la generación de conocimiento científico local sobre resistencia antibiótica, la identificación de patrones de resistencia en *Escherichia coli* y *Salmonella sp.*, la evaluación del riesgo ambiental asociado a bacterias resistentes, la contribución a la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y el desarrollo de herramientas para la gestión de los recursos hídricos.

Desde una perspectiva ambiental, el estudio responde a la necesidad urgente de comprender y mitigar los riesgos microbiológicos en fuentes hídricas, ofreciendo una perspectiva integral que va más allá del análisis bacteriológico tradicional. Se constituye en un instrumento de conocimiento y acción fundamental para la protección de la salud pública y ambiental, proporcionando aspectos críticos sobre un problema de creciente importancia en el contexto regional y global.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* aisladas de muestras de agua del río Vilcanota destinadas para el riego presentan resistencia a varios tipos de antibióticos y son agentes de riesgo ambiental significativo.

2.4.2. Hipótesis específicas

H1: La *Salmonella sp.* aislada de muestras de agua del río Vilcanota destinadas para el riego, presenta mayor resistencia a antibióticos en comparación con la *Escherichia coli*, 2024.

H2: La *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* aisladas de muestras de agua del río Vilcanota destinadas para el riego, presentan una multiresistencia a distintos antibióticos, 2024.

H3: La presencia de *Escherichia coli* y *Salmonella sp.*, resistentes a antibióticos, aisladas de muestras de agua del río Vilcanota destinadas para el riego, representan un riesgo significativo al ambiente, 2024.

2.5. Variables

- **Variable independiente:** Resistencia a antibióticos.
- **Variable dependiente:** Riesgos ambientales

2.5.1. Operalización de variables

Tabla 1.

Operalización de variables de estudio

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Variable Independiente: Resistencia a antibióticos	Es la capacidad que ha desarrollado un microorganismo para tolerar la dosis de antibióticos, que deberían ser letales o limitar su crecimiento (Alós, 2015)	Sensibilidad antimicrobiana	Tiempo	Horas
			CMI	µm/mL
			Bionúmero	Ordinal
		Multirresistencia	Perfil de resistencia	Sensible
				Intermedio
				Resistente
Variable dependiente: Riesgo ambiental	Probabilidad de que un peligro se materialice lo que podría resultar en impactos adversos para el entorno y su diversidad biológica, y se encuentra comprendido por establecidos periodos, causados por actividades humanas o naturales. (Ministerio del Ambiente, 2010)	Nivel de riesgo	Número de resistencias simultáneas	%
			Número de tipos de antibióticos resistentes	%
			Riesgo significativo.	Ordinal
Riesgo moderado.				
Riesgo leve				

III. Marco teórico

3.1. Antecedentes de la investigación

3.1.1. A nivel Internacional

Como afirma Rodríguez & Jiménez (2023), en la publicación de “Resistencia bacteriana a antibióticos en ambientes acuáticos: origen e implicaciones para la salud pública”, hicieron una revisión bibliográfica cuya información destacada se basa en su excelencia y contribución científica. El objetivo fue proporcionar detalles sobre la función que cumplen los hábitats acuíferos en la propagación de RAM, explicar por qué son medios propicios para este fenómeno y describir sus implicaciones para la salud pública. Se concluye que el entorno acuático cumple un papel fundamental, ya que es fuente y receptor principal de antibióticos, bacterias resistentes y genes asociados, producto de actividades antrópicas, los cuales cumplen un papel significativo en la expansión y amplificación de la capacidad de hacer frente a los antibióticos. Esto conlleva a problemas en la salud, puesto que estas aguas se vuelven a utilizarse en actividades humanas.

Fernández (2023), en “Influencia del cambio climático en la resistencia a los antibióticos”, cuyo propósito fue investigar la posible relación entre la variabilidad climática y el incremento de la RA. La metodología utilizada se basó en un análisis exhaustivo de la información disponible acerca de la posible correlación, realizada en base a la metodología PRISMA. Se seleccionaron 29 artículos publicados a partir del

2019. Se concluye que, si efectivamente el calentamiento y la resistencia bacteriana están relacionados, el componente más estudiado es el incremento de temperatura en diferentes entornos, ya que, a mayor temperatura mayor será el crecimiento microbiano. La existencia de genes de resistencia en diferentes hábitats es consecuencia de actividades antrópicas, en relación con factores del calentamiento climático, lo que favorece el desarrollo, diseminación y persistencia de resistencia antibiótica.

Por otro lado, Jiménez et al. (2022) en el artículo: “El impacto de la resistencia a los antibióticos en el desarrollo sostenible”, tuvo como objetivo explorar la RA y los elementos que la caracterizan, así como la perspectiva de “Una sola Salud”, un enfoque promovido por la OMS que busca equilibrar la salud de las personas, los animales y los ecosistemas. Además, evaluaron en qué medida la situación afecta a los ODS. Los resultados indicaron que la existencia de sustancias contaminantes, como antibióticos y antisépticos, ejerce una influencia sobre los entornos naturales, lo cual acelera la evolución y dispersión de RAM. Esto se relaciona con el desarrollo humano sostenible, afectando a la salud, en aspectos sociales, económicos y ambientales. Ante ello, se resalta la relación de la RA con la pobreza y las desigualdades sociales. La RA se percibe como un gran desafío complejo lo cual podría obstaculizar el cumplimiento de seis ODS de la ONU.

Martínez et al. (2020), en su publicación titulada “Patotipos y resistencia a antibióticos de *Escherichia coli* en agua residual”, buscó analizar la existencia de CT y *Escherichia coli*, la frecuencia de patotipos diarreicos y sus características de resistencia a antibióticos a lo largo de las diversas fases del tratamiento en una PTAR. En cuanto a su metodología, se llevaron a cabo tres recopilaciones de muestras para analizar la presencia de *E. coli*. Se identificó el patotipo *E. coli* seleccionando únicamente 57 cepas de las etapas del PTAR mediante las técnicas: enteropatógena, enterotoxigénica, enteroinvasiva, enteroagregativa, enterohemorrágica y de adherencia difusa. Además,

el método utilizado para medir la resistencia fue el Kirby Bauer. Los resultados indicaron que la frecuencia de patotipos fue de 39% para enteroinvasiva, 30% enterotoxigénica, y 15.5% para adherencia difusa y enteropatógena. Todas las variedades exhibieron una baja resistencia a los antibióticos. En conclusión, se observó una reducción significativa en la DBO₅ en la PTAR.

Martins et al. (2019), en su artículo publicado sobre el estudio de la “Resistencia a antimicrobianos de enterobacterias aisladas de aguas destinadas al abastecimiento público en la región centro-oeste del estado de São Paulo, Brasil”, este estudio tuvo como objetivo reconocer bacterias resistentes a antimicrobianos de la familia *Enterobacteriaceae*. Para su metodología, se seleccionaron 3726 muestras provenientes del río, aguas destinadas al consumo. Las muestras que resultaron positivas para CT y/o *E. coli* se cultivaron con el propósito de aislar e identificar dichas bacterias. De las enterobacterias aisladas se evaluó su RAM y la capacidad productiva de β -lactamasas. De todas las muestras recogidas, 21 presentaron resistencia a un antibiótico; siete de las muestras a dos, tres a tres clases, y una muestra con resistencia a cuatro. En conclusión, el agua de uso directo se representa como la posible fuente de difusión de microorganismos resistentes no solo a uno, sino que pueden ser multirresistentes.

3.1.2. A nivel nacional

En la tesis realizada por Rojas en el 2022, evaluó la RAM en *Escherichia coli* aislada del río Ventanilla, cerca de Molinopampa, Amazonas, Perú. Se analizaron coliformes totales, fecales y *E. coli*, con valores entre 46 y 1600 NMP/100 ml, siendo más altos cerca del distrito. Las cepas de *E. coli* aisladas fueron sometidas a pruebas de resistencia antibiótica. Los resultados indican mayor resistencia a tetraciclina (36%), ampicilina (20%) y sulfametoxazol/trimetoprima (16%), con resistencia intermedia a gentamicina (60%). No se detectó resistencia a BLEE. Se observó una disminución en

los diámetros de inhibición cerca de los efluentes del distrito, sugiriendo que estos promueven la adquisición de resistencia antibiótica.

Tal como menciona Colquehuanca (2021) en su investigación, “Determinación de coliformes totales y termotolerantes resistentes a antibióticos y metales pesados del tracto gastrointestinal de *Orcorhynchus mykiss* del Río Ramis”, una investigación que utilizó las bacterias de las excretas del intestino de las truchas arcoíris, con el objetivo de determinar la resistencia que presentan dichas bacterias a los antibióticos y metales (cadmio, cobre, plomo y mercurio). Para aislar dichas bacterias se utilizó la metodología de los ceros de Poisson y así obtener las respuestas antimicrobianas mediante la metodología Kirby Bauer; y la tolerancia a los metales pesados con el Test de Shapiro - Wilk. Los resultados indicaron que las dos cepas aisladas presentaron sensibilidad a los antibióticos. Por otro lado, la *E. coli*, mostró su tolerancia a los metales pesados en estudio; a mayor concentración del metal, menor crecimiento. En conclusión, estas cepas aisladas del tracto gastrointestinal son resistentes a antibióticos y capaces de resistir altas concentraciones de metales pesados, lo que las hace útiles para la evaluación de la calidad de los cuerpos de agua o en la biorremediación.

León et al. (2021), en el artículo “Caracterización molecular de enterobacterias multirresistentes en dos departamentos de la selva peruana”, se realizó una descripción detallada, cuya muestra fue de 61 muestras aisladas de urocultivos obtenidos en el 2017 y 2018. Para identificar la tolerancia y los niveles de resistencia se utilizó el sistema automatizado MicroScan. De los resultados se obtuvo que las enterobacterias positivas para BLEE que se llegaron a aislar fueron *E. coli* tanto en Madre de Dios (25%) como en Ucayali (76.2%). Los perfiles de sensibilidad revelaron que hubo un 72.6% de tolerancia a la ampicilina, un 82.3% contra la cefalotina y 88.7% frente a la nitrofurantoína. En conclusión, las cepas de enterobacterias manifestaron una

resistencia múltiple, siendo productoras de β -lactamasas en los departamentos de estudio presentándose un 57.4%.

Por otro lado, Olazábal en 2020, investigó la resistencia a los antimicrobianos en *Escherichia coli* en los ríos Chillón, Rímac y Lurín. Se analizaron 45 muestras de agua superficial, examinando su susceptibilidad de las cepas a varios antibióticos y midiendo parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Los resultados revelaron que el río Chillón presentó mayor cantidad de coliformes totales (16000NMP/100ml), mientras que el río Rímac tuvo la concentración más alta de coliformes termotolerantes (12302 NMP/100ml). De las 369 cepas aisladas, 225 (61%) fueron positivas para *Escherichia coli*, mostrando mayor sensibilidad a cefixidima y norfloxacino, y menor sensibilidad a cefuroxima y amoxicilina – ácido clavulánico. Este estudio proporciona información crucial sobre la presencia y resistencia antimicrobiana de *E. coli* en estos ríos peruanos.

Palacios, en un estudio publicado en el 2019, investigó la presencia de *Escherichia coli* resistente a antibióticos y producción de betalactamasas de espectro extendido en el río Piura. Las muestras se recolectaron en tres puntos, se aislaron bacterias en agar MacConkey y se identificaron por métodos bioquímicos. La resistencia antibiótica se evaluó mediante antibiogramas, y la producción de BLEE se determinó por tamizaje y confirmación con el método de Jarlier. Los resultados presentan que el 5,47% de los aislamientos correspondían a *E. coli*. De estas cepas, el 80,6% eran resistentes a ampicilina, 41,9% a sulfametoprima, y 35,5% tanto a cefotaxima como a ceftriaxona. Además, el 16,1% de las cepas eran productoras de BLEE. El estudio concluyó que las cepas identificadas exponen una resistencia significativa, lo cual representa un riesgo importante para la salud pública, destacando la importancia de monitorear y controlar la contaminación bacteriana en aguas superficiales.

3.1.3. A nivel regional y local

En el contexto local, existe investigaciones sobre resistencia bacteriana, estas se han centrado principalmente en el ámbito clínico. A pesar que la resistencia a antibióticos es un fenómeno ampliamente estudiado en dicho ámbito, también tiene repercusiones ambientales significativas, como la toxicidad en múltiples ejemplares del reino vegetal y animal. En cuanto a precedentes regionales, destaca la investigación de Castillo (2022). Aunque esta investigación proporciona información relevante y reciente, la disponibilidad de estudios sobre este fenómeno en la región sigue siendo limitada.

Castillo (2022) llevó a cabo una investigación centrada en la presencia de antibióticos y la resistencia bacteriana en las aguas residuales de Cusco. El estudio analizó 40 muestras para detectar residuos de antibióticos y 12 para evaluar la resistencia bacteriana, recolectadas durante un periodo de siete meses. Empleando técnicas de cromatografía líquida y métodos microbiológicos estandarizados, el investigador identificó seis tipos de antibióticos en el agua entrante y tres en la saliente, con amoxicilina y lincomicina las que presentaron las concentraciones más elevadas. En cuanto a la resistencia bacteriana, se observó que *Escherichia coli* desarrolló resistencia a cefalexina y azitromicina en el efluente, mientras que *Salmonella sp.* mostró resistencia a una gama más amplia de antibióticos. Castillo concluyó que existe una presencia significativa de residuos de antibióticos en las aguas residuales de Cusco y que a duración del tratamiento en la planta influye en el desarrollo de resistencia bacteriana en las aguas tratadas.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Antibióticos

La comprensión del concepto de antibiótico requiere, en primera instancia, abordar la definición de antimicrobianos, como indica ECODES (2022), un antimicrobiano son un grupo diverso de compuestos que se encargan de suprimir la proliferación de agentes microscópicos infecciosos como virus, microbios, mohos y protista. Dentro de ellos se encuentran las subcategorías tales como antibióticos, antifúngicos, antirretrovirales, desinfectantes y esterilizantes.

Es por ello que, los antibióticos al formar parte de un subgrupo de antimicrobianos confunden ambos términos, o involucra un campo más amplio e incluye agentes contra otros microorganismos además de las bacterias

Para destacar, estos antibióticos son muy utilizados en las áreas enfocadas al tratamiento de seres humanos y animales, con el objetivo de erradicar síntomas producidos por acción de microorganismos. Algunos expertos postulan que los antibióticos podrían estar involucrados en las interacciones y transferencia de información que se dan entre conjuntos de microorganismos.

El uso de estas sustancias tiene una extensa trayectoria, cuyos orígenes recaen en tiempos antiguos de China. Según lo mencionado por Muñoz et al. (2004), en la década de 1980 se asumió erróneamente que los antibióticos serían suficientes para controlar los patógenos microbianos; sin embargo, el uso generalizado e indiscriminado de antibióticos propició el desarrollo de resistencia en las poblaciones bacterianas.

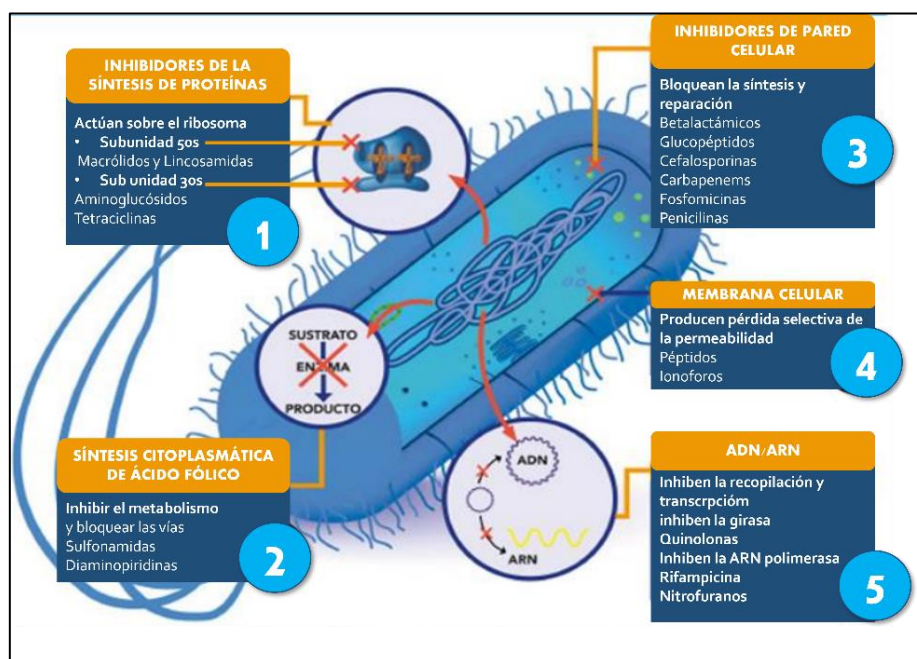
3.2.2. Clasificación de los agentes antibióticos

Brugueras & García (1998) consideran que los antibióticos se clasifican según sus mecanismos de acción en cinco categorías principales:

- a) Inhibidores de la síntesis de la pared celular
- b) Inhibidores de la síntesis proteica
- c) Interferentes con los ácidos nucleicos
- d) Antimetabolitos
- e) Disruptores de la membrana celular

Figura 1.

Mecanismos de acción de los distintos antibióticos



Nota. Se muestra los mecanismos de acción de los principales antibióticos sobre la célula bacteriana. Los antibióticos inhiben funciones esenciales de las bacterias a través de diferentes vías. (Natalia & Molina, 2022)

3.2.3. Resistencia a Antibióticos

Estos organismos unicelulares han desarrollado métodos biológicos para adaptarse al ambiente. Si bien esta resistencia es resultado de una adaptación genética, el aumento en el empleo de antibióticos y la consiguiente influencia selectiva son factores más importantes. Esta resistencia a fármacos antibacterianos, productos desinfectantes y agentes antisépticos constituye una problemática sanitaria que se consideraba resuelta. Los microorganismos han evolucionado desde su descubrimiento demostrando la capacidad de eludir sus efectos (Cabrera et al., 2007).

Martínez J. (2010) menciona que los cuadros clínicos derivados de patógenos siguen constituyendo uno de los factores decisivos que provocan mayor cantidad de decesos y afecciones, lo cual se debe a la prevaencia de la resistencia a los antibióticos. Asimismo, menciona a Neu (1992) quien señala y considera que a mediados 1990 se proyectaba un futuro donde las bacterias serían totalmente resistentes a los antibióticos, volviéndolos completamente inútiles, en la actualidad no se ha alcanzado a ese extremo.

Aunque los antibióticos tienen una función principal en parte de su biología, se reconoce que los genes de resistencia incorporados por bacterias patógenas provienen de microorganismos presentes en el entorno.

3.2.4. Clasificación de resistencia antibióticos

Debido al creciente número de casos reportados de RA en diversos microorganismos, se hizo indispensable establecer términos estandarizados para clasificar la resistencia antibiótica. Según Magiorakos et al. (2012), existen tres tipos de clasificación de resistencia antibiótica.

Figura 2.

Clasificación de resistencia según su grado de asimilación de antimicrobianos



Fuente. Magiorakos et al. (2012) y la Escuela de Gobierno en Salud "Floreal Ferrara" (2022).

3.2.5. Mecanismos de resistencia

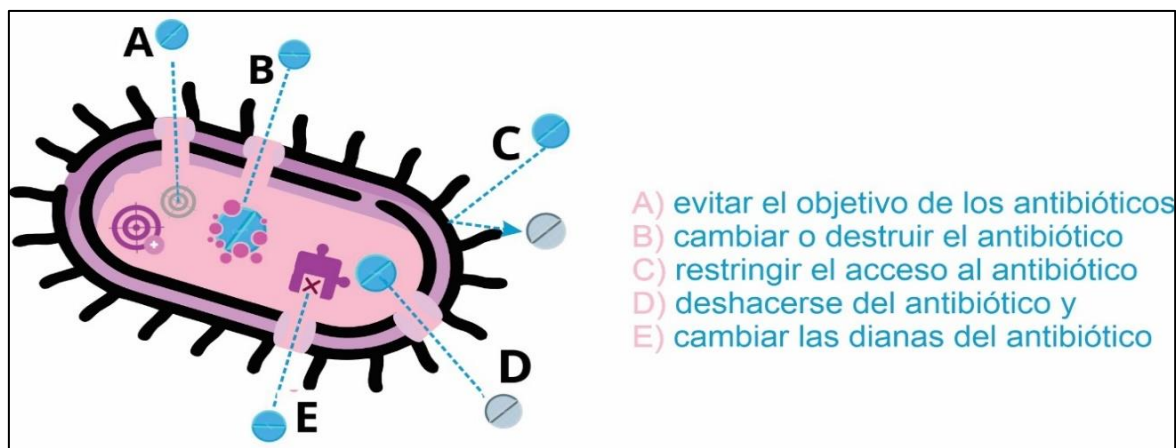
Como se ha presentado en la investigación, las entidades microbianas con el fin de sobrevivir, experimentan cambios y se ajustan a su entorno. En el caso de los agentes infecciosos, estos estructuran sistemas defensivos frente a sustancias creadas para combatir patógenos, sistemas de defensa que desarrollan. Los cuales son controlados por los genes que poseen para hacerle frente a los antibióticos.

Existen cinco estrategias de supervivencia (Figura 3) que han adquirido las bacterias para contrarrestar los efectos bacteriostáticos o bactericidas de estos compuestos (ECODES, 2022 y Munita & Arias, 2016)

- a) El microorganismo **evita el objetivo del antibiótico**: los antibióticos están diseñados para actuar sobre objetivos o componentes celulares específicos.
- b) **Modifica o destruye el antibiótico**: las enzimas o proteínas que están en las bacterias son capaces de inactivar, modificar o degradar la estructura del fármaco, haciéndolos ineficaces
- c) **Restringe el acceso del antibiótico**: Las bacterias pueden reducir o cambiar las vías de entrada del antibiótico a la célula.
- d) **Expulsar el antibiótico**: Mediante bombas de expulsión o proteínas de membrana, las bacterias pueden transportar y eliminar los antibióticos que hayan ingresado a la célula.
- e) **Modificar el sitio de acción del antibiótico**: Los organismos bacterianos tienen la capacidad de modificar el punto o diana molecular donde actúa el antibiótico, impidiendo que este se pueda unir y ejercer su efecto.

Figura 3.

Formas de resistencia ante la presencia de antibióticos.



Nota. Esta figura muestra las principales estrategias de RA que realizan las bacterias para neutralizar la acción de los antibióticos, evitando que encaje y haga su trabajo (ECODES, 2022).

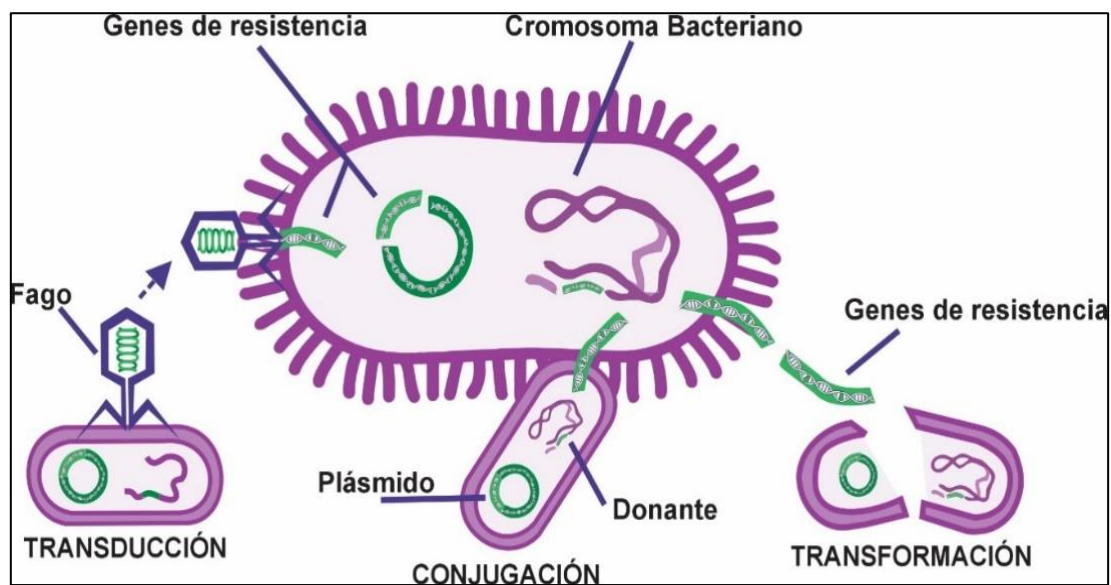
3.2.6. Bases genéticas de la resistencia

La capacidad de resistencia a los antibióticos en los microorganismos se fundamenta en la producción de enzimas y proteínas codificadas por genes específicos. ECODES (2022) y Munita & Arias (2016) manifiestan que hay dos vías principales obtener esta capacidad de resistencia:

- a) **Resistencia Adquirida:** se origina a partir de cambios en su material genético, ya sea por mutaciones de sus propios genes o por la incorporación de genes. Mutaciones en sus propios genes que dan lugar a proteínas involucradas en mecanismos que confieren resistencia.
- b) A través de la incorporación de material genético externo que contiene genes de resistencia, mediante procesos de transferencia horizontal de genes. Esta transferencia puede ocurrir por tres mecanismos básicos:
 - ❖ **Transformación:** captura del ADN libre.
 - ❖ **Transducción:** Transferencia de ADN mediada por fagos (virus que infectan bacterias)
 - ❖ **Conjugación:** intercambio genético directo entre microorganismos individuales.

Figura 4.

Mecanismos de transferencia de genes



Nota. Esta figura se observa cómo estos tres mecanismos facilitan el movimiento de genes de resistencia entre bacterias, permitiendo la diseminación y adquisición de esta capacidad de forma horizontal. Fuente: ECODES (2022).

3.2.7. Vías de dispersión de antibióticos

La RA se ha considerado un problema crítico en el ambiente clínico; sin embargo, también ha cobrado importancia como un problema ambiental en los últimos años, pues el ambiente se convierte en un reservorio de genes que contribuyen a la capacidad de inhibir los efectos de los antibióticos.

En ese sentido, estos microorganismos presentes en ríos y suelos buscan sobrevivir generando mecanismos de resistencia para hacer frente a los efectos negativos.

Figura 5.

Diseminación de fármacos antimicrobiano y material genético en ecosistemas hídricos



Nota. Esta imagen fue obtenida de Ecodes (2022) modificada de Zheng et al. (2021), en la cual se muestra las fuentes de transporte de antibióticos; EDAR's, aguas residuales, escorrentía y la acuicultura, los impactos que generan; en uso recreativo, en los ciclos biogeoquímicos y en las criaturas marinas, y así mismo los factores que contribuyen a la inserción de los antibióticos y genes de resistencia.

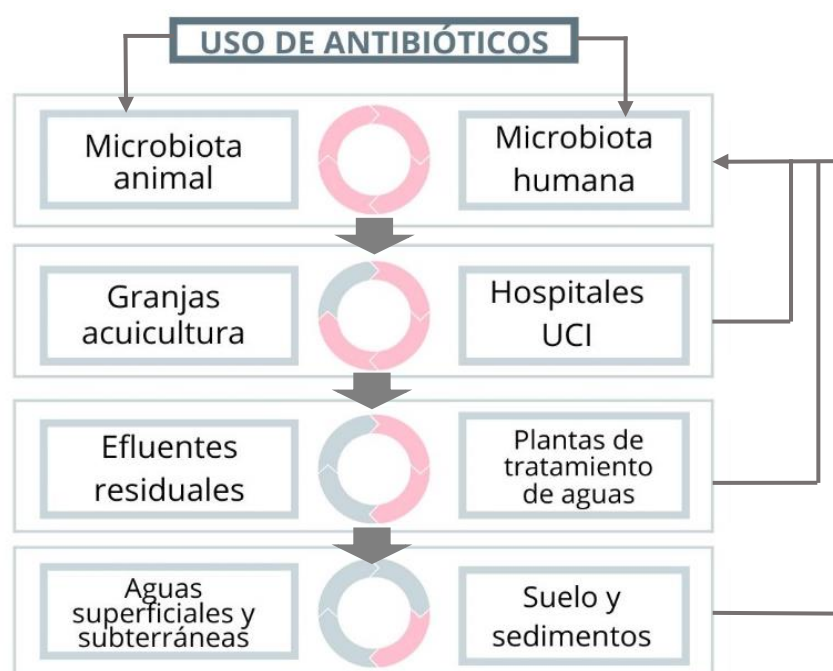
Como menciona Watkins & Bonomo (2016), los sistemas de depuración de aguas, los vertidos procedentes de centros hospitalarios y de residuos derivados de actividades agrícolas y ganaderas se caracterizan por albergar altas concentraciones de bacterias y antibióticos, lo que facilita la diseminación de genes de resistencia, como mecanismo evolutivo natural. En ese contexto, Baquero et al., (2008) propusieron la existencia de cuatro “reactores genéticos”, los cuales se muestran en la figura 6:

1. Los antibióticos afectan directamente al microbiota humana y animal
2. Están los hospitales y granjas, donde numerosos individuos susceptibles coexisten y están expuestos al intercambio microbiano
3. Comprende los desechos provenientes del segundo reactor, donde se produce una confluencia e interacción entre microorganismos de diversos orígenes.
4. Abarca el entorno edáfico y acuático, donde los microorganismos anteriores interactúan con la biota del entorno.

Una propiedad distintiva de los microorganismos y los genes que portan dicha resistencia es su capacidad para adecuarse y propagarse en el ambiente. Estos logran multiplicarse dentro de sus hospedadores e interactúan con otras especies bacterianas y acumular nuevas mutaciones. Si bien inicialmente la resistencia antimicrobiana se consideró principalmente como una problemática hospitalaria, en la actualidad se está reconociendo cada vez más su impacto ambiental (Iwu et al., 2020).

Figura 6.

Reactores genéticos



Nota. Esta figura muestra los 4 reactores genéticos mencionados por Baquero et al. (2008), que incluye la microbiota animal o humana y microbiota ambiental.

3.2.8. Calidad de agua

La calidad del agua está determinada por sus características físicas, químicas y microbiológicas. Estas propiedades definen si el agua es apta para un uso específico (González & Gutiérrez, 2005, p. 132).

González & Gutiérrez, (2005) sugieren que la calidad del agua puede ser evaluada a simple observación de cualquiera de los indicadores, ya sean naturales, fisicoquímicos o microbiológicos, si está fuera de los límites establecidos

3.2.9. Contaminación antropogénica

Un desafío significativo para los ecosistemas acuáticos es la contaminación fecal derivada de vertidos domésticos sin tratar, dado que muchas enfermedades se propagan a través de la ruta fecal oral, utilizando el agua como medio.

Además, la liberación de estos efluentes en entornos naturales, como cuerpos de agua receptores, puede contribuir al aumento y la dispersión de la resistencia antibiótica.

Los efluentes urbanos domésticos contienen diversos contaminantes, incluyendo residuos hospitalarios con altas concentraciones de antibióticos y otros fármacos, entre otros (PNUMA, 2017, pp. 12–20).

Indicadores microbiológicos de calidad del agua:

- A) Coliformes totales (CT)
- B) Coliformes termotolerantes (CTT)
- C) *Escherichia coli*
- D) *Salmonella*
- E) *Vibrio cholerae*

3.2.10. Calidad de agua según la normativa peruana

Los contaminantes acuáticos no solo suponen un riesgo para la salud pública, sino que también pueden impulsar el desarrollo de RAM (Iwu et al., 2020).

En el Perú, la evaluación de la calidad del agua se rige por el ECA, que determina los niveles aceptables de elementos, sustancias o parámetros físicos y químicos en cuerpos receptores de agua, sin representar un riesgo significativo para la salud humana o al ambiente (D. S. No 004-2017-MINAM, 2017).

Como se mencionaba anteriormente estos estándares varían de acuerdo al uso que se le asigna, esta es la clasificación:

Tabla 2

Categorías del Estándar de Calidad Ambiental para Agua

COMPONENTE	ECA
AGUA	DS N°004-2017-MINAM
	Cat 1. Poblacional y recreacional
	Cat 2. Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales
	Cat 3: Riego de vegetales y bebida de animales
	Cat 4: Conservación del ambiente acuático

Nota. Esta tabla muestra las 4 categorías que contiene el DS N 004-2017-MINAM, que establece las concentraciones que deben tener los parámetros físicos, químicos y biológicos para esas actividades

3.2.10.1. Parámetros microbiológicos en el ECA

La normativa peruana que establece los estándares de calidad ambiental para agua se fundamenta en los métodos estandarizados de análisis aguas y aguas residuales (APHA, 2017). Esta normativa define varios parámetros microbiológicos incluyendo coliformes termotolerantes, totales, *Escherichia coli* y *Salmonella sp.*

El ECA para aguas establecido en el Decreto Supremo N°04-2017-MINAM considera a los siguientes parámetros microbiológicos Coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*.

Tabla 3.

ECA para agua, parámetros microbiológicos y parasitológicos Categoría 3

Parámetros	Unidad de medida	MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS		
		D1: Riego de vegetales		D2. Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	1000	2000	1000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100ml	1000	--	--
Huevos de Helminths	Huevo/L	1	1	--

Nota: esta figura muestra los parámetros que tienen que tenerse en consideración si se evalúa las aguas destinadas al riego de vegetales y bebidas de animales. Esta figura se obtuvo del (Decreto Supremo N 004-2017-MINAM, 2017).

No obstante, en el Decreto Supremo N°002-2008-MINAM consideraba a más parámetros microbiológicos tales como Coliformes totales, *Enterococos*, *Escherichia*

coli, *Salmonella sp.* y *Vibrio Cholerae*, establecía que estos dos últimos microorganismos no debían estar presentes en aguas destinadas para riego.

Tabla 4.

ECA para agua D.S. N°002-2008- MINAM

PARÁMETROS BIOLÓGICOS DE RIEGO DE VEGETALES			
PARÁMETROS	Unidad	Vegetales de tallo bajo	Vegetales de tallo alto
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	1 000	2 000 (3)
Coliformes Totales	NMP/100ml	5 000	5 000 (3)
<i>Enterococos</i>	NMP/100ml	20	100
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100ml	100	100
<i>Huevos de Helminfos</i>	Huevo/L	<1	<1 (1)
<i>Salmonella sp.</i>		Ausente	Ausente
<i>Vibrio cholerae</i>		Ausente	Ausente

Nota: esta figura muestra el nivel de concentración de los parámetros biológicos presentes en el agua destinadas para el riego de vegetales y bebida de animales. esta figura se obtuvo del D.S. N 002-2008-MINAM (2008).

3.3. Definición de términos

a) Bacterias:

Estos son microorganismos unicelulares, cuya expansión involucra a todo el planeta tierra. Asimismo, estos desempeñan un rol fundamental, es decir, son vitales para cada uno de los ecosistemas (National Human Genome Research Institute, s. f.).

b) Resistencia bacteriana:

Es la capacidad que posee un microorganismo para contrarrestar los impactos que ocasionan en ellos los antibióticos. Esta capacidad es intrínseca al microorganismo o también puede manifestarse durante el curso de una infección (Giono et al., 2020).

c) Antibióticos:

Estos son compuestos químicos utilizados para frenar el crecimiento bacteriano o eliminarlas por completo para hacerles frente a enfermedades (Muñoz et al., 2004).

d) Enterobacterias:

Es una familia de bacterias Gram negativas, que se encuentran en el entorno natural, y constituyen el microbiota del cuerpo humano, ubicadas en la piel, intestinos y tracto respiratorio. Estas bacterias se vinculan con enfermedades particulares asociadas a géneros y especies que están bien identificadas (Pineda et al., 2017).

e) *Salmonella*:

Esta bacteria pertenece a la familia de las Enterobacterias, es Gram negativa. Las principales especies son *S. entérica* y *S. bongori*. La transmisión se efectúa principalmente por vía fecal – oral, ya sea mediante el consumo de alimentos o cuerpos de aguas contaminadas con heces de personas o animales, así como por contacto directo. Esta bacteria puede dar lugar a diferentes enfermedades gastrointestinales (Barreto et al., 2016).

f) *Escherichia coli*:

Este género comprende bacterias Gram negativas que se sitúan en la familia *Enterobacteriaceae*. La *Escherichia coli* es la especie más destacada de este género y es común en el tracto gastrointestinal de personas y de la fauna (Lopardo et al., 2016). Estas bacterias se diseminan mediante la ruta fecal oral.

g) Mecanismo de resistencia:

Comprende los métodos, procesos o estructuras biológicas mediante los cuales permiten a las bacterias enfrentar las respuestas de los antibióticos, ya sean para eliminarlas o para inhibir su crecimiento. Dichos mecanismos emergen por adaptación genética y por intercambio de material genético (Garza et al., 2009).

h) Aislar bacterias:

Esto se refiere al proceso de obtener un cultivo bacteriano a partir de un muestreo en la zona a estudiarse, transfiriéndolo a un ambiente controlado de laboratorio. Implica inducir el crecimiento de las bacterias en medios artificiales, con el propósito de separar una cepa bacteriana específica para su posterior identificación y estudio (SENASICA, 2020).

i) Contaminación del agua:

Implica la incorporación de sustancia extrañas que deterioran su composición química, física o biológica. Dicha alteración se debe a la introducción de agentes que resulta perjudicial para cualquier organismo vivo que la consuma (Guadarrama et al., 2016).

j) Agua residual:

Comprende masas de agua que han sido utilizadas y contaminadas debido a actividades humanas, como las domésticas, municipales industriales, comerciales, agrícolas o ganaderas entre otras (Romero et al., 2009).

k) Riesgo Ambiental:

Es la posibilidad de que una amenaza, ya sea de origen natural o antrópico, genere un daño al entorno y los organismos que habitan en él, debido a algún factor de riesgo presente en ese lugar y momento (Ministerio del Ambiente, 2010).

l) Concentración mínima inhibitoria:

Representa una medición realizada fuera del organismo vivo que indica el potencial del fármaco antimicrobiano para frenar la proliferación de las bacterias (Campos & Porras, 2021).

m) Sensible:

Significa que el fármaco es capaz de inhibir el crecimiento del microorganismo (Sociedad Española de Medicina de Laboratorio, 2019).

n) Intermedia:

Según Sociedad Española de Medicina de Laboratorio (2019) la resistencia intermedia significa que el fármaco podría lograrse aumentando la cantidad administrada o la frecuencia de la dosis.

o) Resistente:

Significa que el fármaco no consigue inhibir el desarrollo del microorganismo (Sociedad Española de Medicina de Laboratorio, 2019).

IV. Metodología

4.1. Tipo y nivel de investigación

4.1.1. Tipo de investigación

El enfoque del estudio realizado es aplicado, pues enfatiza el empleo de conocimientos y prácticas con el objetivo de beneficiar a los grupos involucrados como a la comunidad en general. Además, implica la producción de nuevos conocimientos que contribuyen al enriquecimiento de la disciplina (Vargas, 2009)

Este tipo de investigación de nivel aplicada no se orienta a desarrollar teoría, sino a usar la teoría para su aplicación inmediata. Esta investigación, utilizó la teoría de diferentes libros, autores y artículos científicos, avalando que las bacterias generan RA.

4.1.2. Nivel de investigación

Según Hernández et al. (2010), el nivel de investigación de tipo explicativo es más que una simple descripción de conceptos o fenómenos, así como solo establecer relaciones entre conceptos. De acuerdo a lo anterior, el concepto en cuestión atañe a la tarea de esclarecer los motivos causantes de dicho suceso y exponer bajo qué condiciones se evidencia o presenta una relación entre dos o más variables.

Ante ello la investigación explicativa está orientada a identificar los motivos principales de esos eventos, ocurrencias o manifestaciones que están siendo estudiados.

Este trabajo de investigación tiene ese alcance, dado que el propósito es descubrir la conexión que hay entre la resistencia a antibióticos por parte de enterobacterias y el riesgo ambiental que trae consigo.

4.2. Ámbito temporal y espacial

4.2.1. Espacial

Este estudio se centró en las aguas del río Vilcanota, específicamente en las destinadas al riego de vegetales. Se tomó cuatro muestras de agua, se realizaron los análisis de los parámetros de campo in situ y luego se analizaron en dos lugares.

En el Laboratorio de Biología y Microbiología de la EPIARN de nuestra universidad, Universidad Tecnológica de los Andes de la filial Cusco y en el laboratorio SERVISALUD, que nos ayudó con el análisis para determinar la concentración mínima inhibitoria.

4.2.2. Temporal

Se realizó este estudio durante los meses de mayo y junio del 2024. Es importante mencionar que se realizó un único muestreo durante este periodo, lo que permitió obtener una imagen puntual de la situación de estas aguas destinadas al riego en ese momento específico

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

Este conjunto focalizado para la investigación comprendió las aguas provenientes del cuerpo de agua superficial Vilcanota, las cuales se emplean en el riego de cultivos vegetales.

4.3.2. Muestra

Se recolectaron muestras de cuatro puntos de monitoreo provenientes del río Vilcanota. Cada muestra consistió en 250 ml, recolectada en frascos de vidrio estériles

para los análisis microbiológicos de *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* Las muestras se conservaron $\leq 6^{\circ}\text{C}$ y se mantuvieron en un ambiente oscuro por un máximo de 24h.

4.3.3. Muestreo

En este estudio se utilizó un muestreo no probabilístico, significa que la muestra fue seleccionada de acuerdo al criterio y juicio del investigador, y no mediante una selección aleatoria (Hernández et al., 2010).

Para la obtención de muestras de agua del Río Vilcanota se aseguró los lineamientos para el registro de datos in situ, como parámetros de campo, códigos de identificación, entre otros, al regirse por el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos Superficiales vigente (ANA, 2016). Esto garantizó el rigor metodológico del muestreo.

Se seleccionó cuatro puntos de muestreo, los cuales se fundamenta en una metodología estratificada establecida en el protocolo nacional vigente de la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2016), el cual optimiza la accesibilidad y relevancia hidrológica. Estos sitios, caracterizados por su fácil acceso, representan nodos críticos en el sistema de distribución hídrica local al ser fuentes de agua para irrigación de cultivos vegetales. Su ubicación en desviaciones visibles del mismo río asegura una continuidad hidrológica, permitiendo un análisis coherente del sistema fluvial y una representación directa del agua que ingresa a los sistemas de riego.

Unidad de análisis

Fueron las bacterias *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* aisladas de la muestra de agua del río Vilcanota destinadas para el riego, en las cuales se identificó su nivel de resistencia frente a los antibióticos y el riesgo ambiental que implica.

4.4. Instrumentos

- Ficha de recolección de datos de parámetros evaluados y medidos en campo
- Formato de recopilación de información de evaluación de riesgos ambientales
- Ficha de recojo de información de datos de laboratorio
- Etiquetas de rotulado de frascos

Materiales

Se hizo uso de una variedad de materiales y equipos especializados para llevar a cabo los cultivos microbiológicos y análisis respectivos. Entre ellos se contó con recipientes estériles como placas Petri, instrumentos de medición y transferencia de volúmenes como pipetas, probetas, buretas y baguetas, así como asas de siembra microbiana conocidas como asas de Cole. Además, se utilizaron vasos precipitados o beakers.

Para el procesamiento de las muestras, se hizo uso de un equipo de esterilización por calor húmedo denominado autoclave, y una cámara de incubación con control de temperatura. La cuantificación de colonias se realizó a través de un contador exclusivo de colonias mientras que la medición de pH se llevó a cabo con un pH-metro.

Para garantizar las condiciones de esterilidad, se empleó un mechero de gas (mechero Bunsen), y para la homogenización de soluciones, se contó con un agitador magnético. Asimismo, se utilizó una cocinilla eléctrica y material filtrante como papel filtro para la separación.

Es importante resaltar que cada uno métodos aplicados fue realizado en el “Laboratorio de Biología y Microbiología” perteneciente a la EPIARN de Cusco, siguiendo estrictos protocolos que garantizan la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Tabla 5.*Tabla de técnicas e instrumentos de recolección de datos*

VARIABLE	DIMENSIONES	TÉCNICA	INSTRUMENTO
Variable Independiente: Resistencia a antibióticos	Sensibilidad antimicrobiana	<ul style="list-style-type: none"> • Cultivo microbiológico • Pruebas bioquímicas por medios diferenciales 	Ficha de registro de datos
	Multirresistencia	<ul style="list-style-type: none"> • Técnicas bioquímicas 	
Variable dependiente: Riesgo ambiental	Nivel de riesgo	<ul style="list-style-type: none"> • Observación 	Ficha de campo

4.5. Procedimientos

4.5.1. Determinación de los puntos de muestreo

Para establecer los puntos de muestreo y evaluar la calidad del agua del río, se empleó la metodología F.E.M. (Prat et al., 2012). Además, se aplicaron los lineamientos del Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos del ANA (2016).

- a) **Selección de puntos de muestreo:** Los sitios de muestreo se establecieron a intervalos de 1 y 10 km. Los trayectos más cortos son ideales en el desarrollo de investigaciones locales que se centren en efectos puntuales.
- b) **Identificación de los sitios de muestreo:** Cada punto fue identificado mediante un código único, y se registraron detalles como la fecha y el tiempo del muestreo (Prat et al., 2012).

Según el Protocolo para monitoreos del ANA (2016), se establece que la ubicación de los puntos debe tener en consideración los siguientes criterios:

- a) **Identificación:** Se determinó la ubicación de los puntos mediante coordenadas UTM.

- b) **Accesibilidad:** Se buscó que fuera fácil y seguro de acceder a los puntos de muestreo.

Tabla 6.

Coordenadas de los puntos de muestreo

Punto	Coordenadas		Altura m.s.n.m.
	Norte	Este	
RVilc01	175881.7	8525441.2	2265
RVilc02	179392.1	8525935.1	2921
RVilc03	182748.4	8520852.5	2933
RVilc04	183255.0	8520489.7	2936

En el presente estudio se seleccionaron cuatro puntos de monitoreo a lo largo del sector Lamay – Calca del río Vilcanota, con el objetivo de evaluar la calidad del agua utilizada para el riego agrícola. Estos puntos fueron escogidos estratégicamente debido a su importancia en la captación de agua y su distribución hacia los campos agrícolas de la región.

- **RVilc01:** este punto de muestreo se encuentra en las coordenadas 175881.7N y 85225441.2E, a una altitud de 2265 metros sobre el nivel del mar. Se trata de una bocatoma ubicada en un sector más bajo del río, donde el agua es desviada principalmente para regar las tierras agrícolas situadas en zonas bajas, cultivos de maíz.
- **RVilc02:** Ubicado en las coordenadas 179392.1 N y 8525935.1E, a una altitud de 2921 m.s.n.m., este punto de muestreo es relevante por su cercanía a zonas agrícolas más altas. La bocatoma asociada a este punto se utiliza para el riego de cultivos en terrazas y laderas de mayor elevación.
- **RVilc03:** este punto de monitoreo se encuentra en las coordenadas 182748.4N y 8520852.5E, a una altitud de 2933m.s.n.m. este es un punto clave en la evaluación, ya que el agua recolectada en este sector abastece gran parte de

las tierras agrícolas de altura media, donde se cultivan principalmente hortalizas y tubérculos.

- **RVilc04:** localizado en las coordenadas 183255.0N y 8520489.7E, a una altitud de 2936 m.s.n.m., este punto de muestreo abastece a cultivos como son las hortalizas.

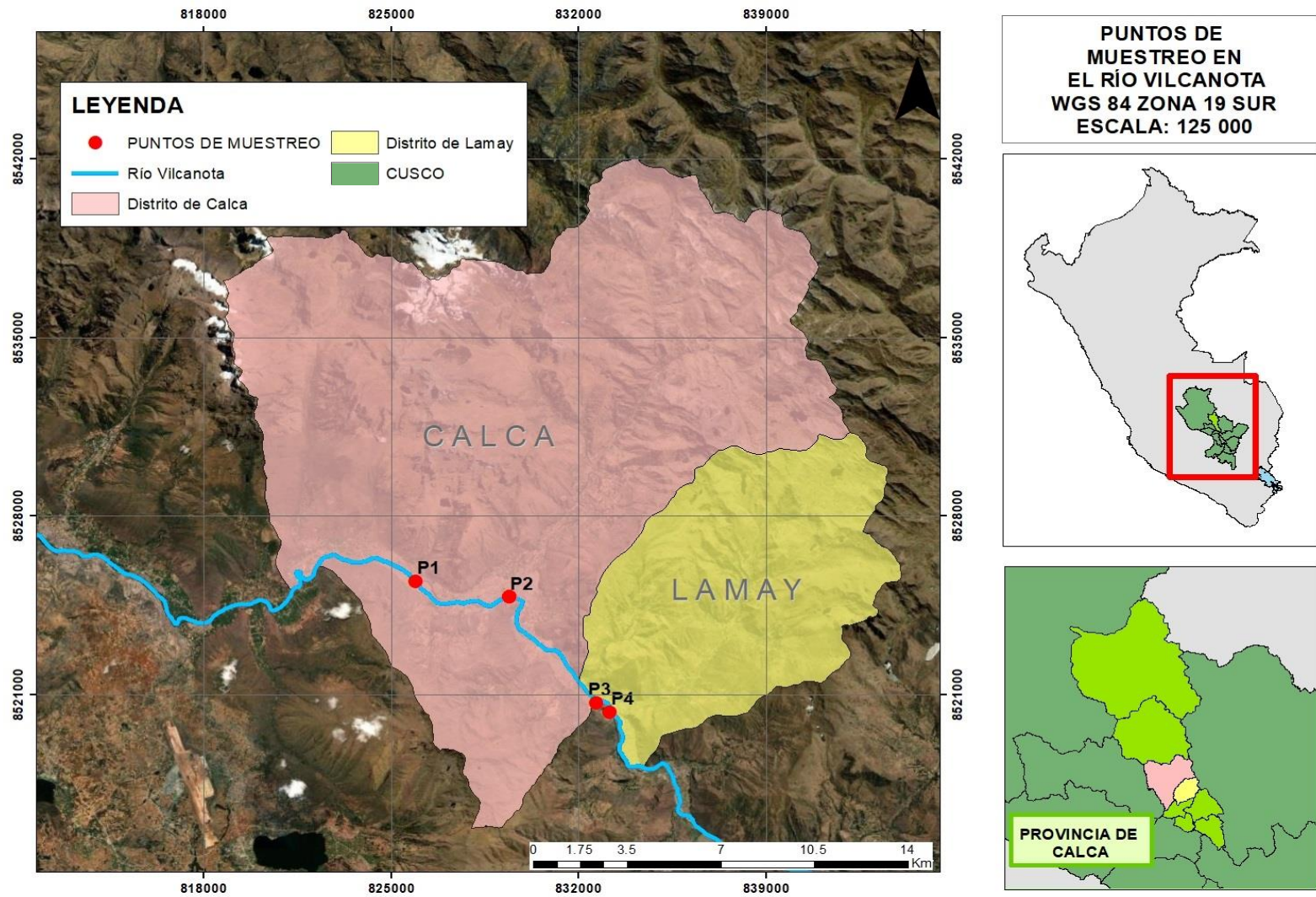
4.5.2. Recolección de muestras

Para el análisis microbiológico, las muestras se recogieron en frascos de vidrio esterilizados de 250 ml, rotulados con códigos de punto, fecha y hora. El análisis fisicoquímico fue realizado in situ. Todo el procedimiento se llevó a cabo conforme a lo establecido en el protocolo nacional de monitoreo de la calidad de los recursos Hídricos Superficiales, garantizando el cumplimiento de los estándares requeridos para obtener datos confiables y comparables.

Las muestras se tomaron en las entradas de aguas para riego y a 30 cm de profundidad, recolectando dos muestras por punto. Los frascos con las muestras se conservaron en un recipiente refrigerado y se transportaron al laboratorio, cumpliendo con los requisitos de preservación y los tiempos máximos de acopio especificados en el Anexo VII del ANA(2016); asimismo, la metodología utilizada siguió los lineamientos establecidos por el APHA (2017).

El Laboratorio de Biología y Microbiología de la Universidad Tecnológica de los Andes y el laboratorio Clínico SERVISALUD, fueron los lugares donde se realizaron los análisis microbiológicos.

Figura 7.
Área de estudio.



4.5.3. Evaluación de los parámetros fisicoquímicos

4.5.3.1. Determinación de Oxígeno Disuelto (OD)

Método. Este se llevó a cabo mediante el método electrométrico in situ, utilizando un Oxímetro HANNA HI 9146, siguiendo los lineamientos establecidos en la parte 4500-OG de los Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2017).

4.5.3.2. Determinación del pH

Método. Se realizó mediante el método electrométrico in situ, utilizando un potenciómetro HANNA HI 9146, siguiendo los lineamientos de APHA (2017).

4.5.3.3. Conductividad

Método. Se utilizó un multiparámetro HANNA HI 9146, de acuerdo con los lineamientos establecidos en el APHA (2017), 2510 Conductivity.

4.5.4. Evaluación de los parámetros microbiológicos

4.5.4.1. Determinación de *Escherichia coli*

Método: Número Más Probable (NMP) por fermentación en tubos múltiples. El procedimiento para cuantificar *Escherichia coli* (ANEXO B):

1. **FASE PRESUNTIVA:** Se prepararon 36 tubos con 10 ml, y se inocularon 3 tubos por dilución. Se tomaron porciones de la muestra de agua y se sembraron en tubos con caldo Lauril, incubándose a $35 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 a 48 horas.

2. FASE CONFIRMATIVA

a) Fase confirmativa de *E. coli*

Utilizando un asa de siembra, se tomó una porción de cada tubo que mostró resultado positivo en el caldo EC y se resembró mediante la técnica de estriado cruzado en placas de agar Mac Conkey, medio selectivo para

diferenciar *E coli*. Estas placas se incubaron en posición invertida a una temperatura de 35°C durante un lapso de 24 horas.

La identificación preliminar de esta bacteria se llevó a cabo mediante la observación de las placas, se seleccionaron aquellas colonias de mayor tamaño que presentaban un centro color fucsia característico. Estas colonias sospechosas fueron reservadas para su posterior confirmación mediante pruebas bioquímicas de identificación que se realizaron en el laboratorio Clínico SERVISALUD.

4.5.4.2. Determinación de *Salmonella* sp.

Método: El procedimiento general para la detección cualitativa de *Salmonella* (determinación de presencia y/o ausencia) en muestras de agua y aguas residuales se lleva a cabo siguiendo la metodología descrita en la sección 9260 B del APHA (2005). Esta técnica involucra varias etapas que incluyen un enriquecimiento inicial no selectivo de la muestra, seguido de enriquecimientos selectivos en medios diferenciales que favorecen el desarrollo de *Salmonella*. Posteriormente, se realiza el aislamiento en medios sólidos selectivos y diferenciales, y finalmente se llevan a cabo pruebas bioquímicas y serológicas para la identificación confirmativa del género y las especies de *Salmonella* presentes.

Para la identificación de *Salmonella* se realizó lo siguiente (ANEXO C):

1. PRE ENRIQUECIMIENTO:

El hisopo de Moore, utilizado para la toma de muestra, se inoculó en un frasco con 225 ml de A.T.P. Este frasco inoculado se mantuvo incubado, durante 24 horas a 37°C, permitiendo la rehabilitación y multiplicación inicial de los microorganismos presentes en la muestra antes de proceder a los pasos siguientes para el aislamiento selectivo de *Salmonella*.

2. ENRIQUECIMIENTO SELECTIVO:

Se tomó una alícuota de 0,1ml del caldo de enriquecimiento A.T.P. (Agua Peptonada Tamponada) y se inoculó en un tubo que contenía 10 ml de caldo Rappaport – Vissiliadis (RV), el cual es un medio selectivo empleado para aislar la bacteria *Salmonella*. Luego, este tubo inoculado se incubó a 41.5°C durante 24 horas, brindando las condiciones óptimas de temperatura para permitir el crecimiento y la multiplicación de las células de *Salmonella* presentes inicialmente en la muestra.

3. PLAQUEADO:

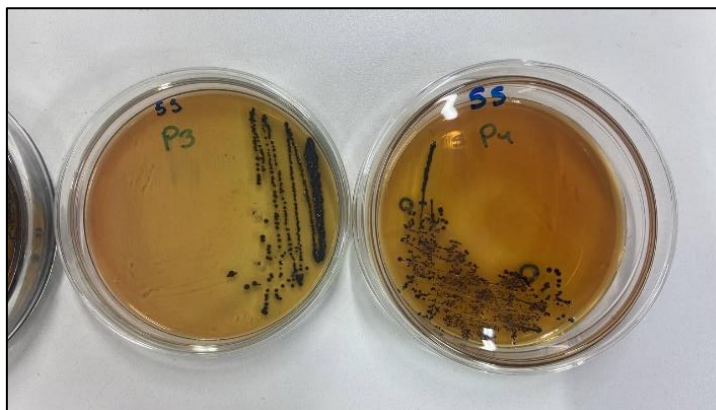
Utilizando un asa de siembra, se sembró mediante la técnica de estriado en placas Petri que contenían agar *Salmonella – Shigella* (Agar SS), un medio selectivo y diferencial. Después del estriado, las placas en posición invertida se incubaron a 37°C durante un lapso de 24 horas. Esta siembra permitió el aislamiento de colonias sospechosas de *Salmonella* para su posterior identificación.

4. IDENTIFICACIÓN:

Se observaron las características de las colonias desarrolladas en el agar *Salmonella – Shigella*. Las colonias sospechosas de pertenecer al género *Salmonella* presentan un centro oscuro o negro y una zona ligeramente transparente alrededor de este. Se seleccionó una de estas colonias con morfología característica y se resembró mediante la técnica de estriado en agar TSA, que es un medio no selectivo que permite el crecimiento de las bacterias. Esta placa se incubó a 37°C durante 24hrs con el fin de obtener un cultivo puro y fresco para realizar las pruebas bioquímicas confirmatorias.

Figura 8.

Colonias sospechosas de pertenecer al género Salmonella.



Nota. Esta figura muestra la coloración que tomaron las colonias en el agar SS.

5. Pruebas bioquímicas:

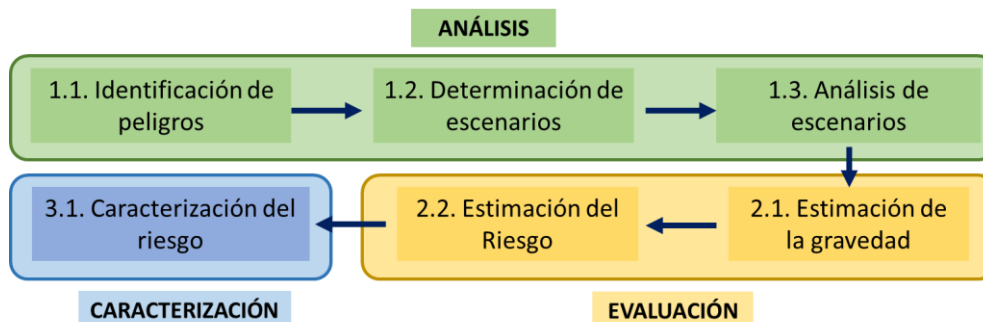
La identificación de *Salmonella sp.* se realizó en el Laboratorio clínico SERVISALUD, lo cual permitió confirmar la identidad del microorganismo aislado.

4.5.5. Análisis del riesgo ambiental

Para evaluar el grado de riesgo se realizó una evaluación en campo para recopilar información relevante que sirva de base para el análisis. El proceso de evaluación de riesgos se compone de los pasos fundamentales que se muestran en la Figura 9. y estos merecen atención especial para su análisis.

Figura 9.

Métodos para estimar el nivel de riesgo ambiental



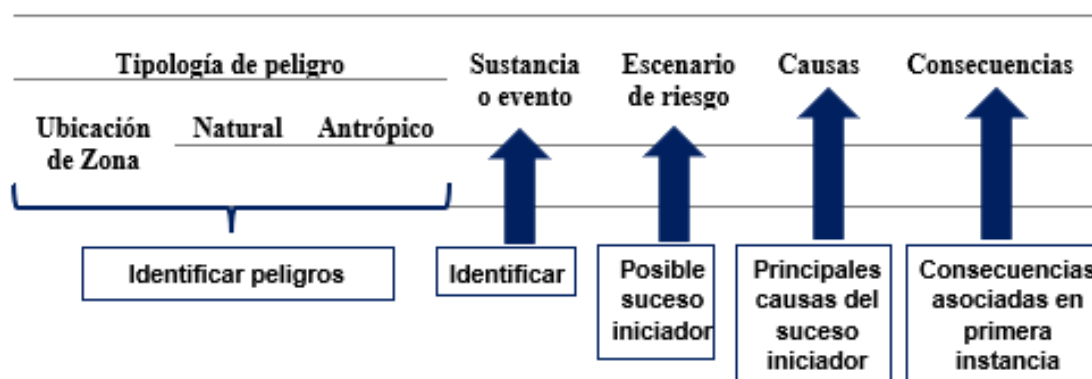
Nota. Esta figura muestra los pasos que se realizaron para el análisis de riesgos. (MINAM, 2010).

➤ Análisis de escenarios

Cuando se logró identificar los escenarios potenciales en las salidas a campo, posteriormente se definió la tipificación del peligro, las causas y consecuencias de los escenarios identificados. Los datos obtenidos facilitaron la determinación de la probabilidad de sucesos y evaluación de la magnitud de las consecuencias en los diferentes panoramas. (Ministerio del Ambiente, 2010).

Figura 10

Formulación de escenarios



Nota. Esta figura muestra la formulación de escenarios de riesgos para cada entorno, en estos escenarios se realizaron estimaciones sobre la probabilidad de que el riesgo ocurra efectivamente y se evaluó la gravedad de las consecuencias que podrían acarrear en caso de materializarse el escenario de riesgo planteado (Ministerio del Ambiente, 2010).

➤ Estimación de la probabilidad de Ocurrencia

Se utilizó el intervalo de estimación de las probabilidades sugerido por el Ministerio del Ambiente (2010), para asignar un valor numérico que represente la probabilidad de ocurrencia de cada uno de los escenarios de riesgo identificados previamente.

En otras palabras, a cada escenario del riesgo planteado, se le asignó un valor cuantitativo que mostrará la probabilidad estimada de que ese evento efectivamente suceda, basándose en los rangos y criterios establecidos por la mencionada guía del Ministerio del Ambiente (2010).

Tabla 7.*Tabla de Valoración de riesgos probables*

VALOR	PROBABILIDAD	
5	Más probable	< una vez a la semana
4	Altamente probable	>una vez a la semana <una vez al mes
3	Probable	>una vez al mes <una vez al año
2	Posible	>una vez al año y <una vez cada 05 años
1	Poco probable	>una vez cada 05 años

Nota. Esta tabla contiene la ponderación que se le asignó a un escenario, dependiendo la probabilidad de ocurrencia (Ministerio del Ambiente, 2010).

➤ **Estimación de la consecuencia**

La evaluación de la severidad se realizó en función del entorno específico. Según la Guía de Evaluación de Riesgos del MINAM (2010) se consideraron la cantidad de la sustancia emitida, las características de peligrosidad de la sustancia, el alcance espacial y ambiental del impacto, la afectación y valoración de activos económicos y sociales impactados.

Tabla 8.*Fórmula para la estimación de la gravedad de las consecuencias*

GRAVEDAD	LIMITES DEL ENTORNO	VULNERABILIDAD
Entorno Natural		+ Calidad del medio
Entorno Humano	= cantidad + 2 * peligrosidad	+ población afectada
Entorno Socioeconómico	+ extensión	+ patrimonio y capital productivo

Nota. Esta fórmula ayuda a la evaluación del impacto de las consecuencias en cada contexto (Ministerio del Ambiente, 2010).

Tabla 9.*Evaluación de los posibles escenarios.*

Valor	Valoración	Valor asignado
Crítico	20 – 18	5
Grave	17 -15	4
Moderado	14- 11	3
Leve	10 – 8	2
No relevante	7 – 5	1

Nota. Después de calcular los resultados mediante la fórmula para estimar la importancia de las repercusiones en los diferentes ámbitos (Ministerio del Ambiente, 2010).

Tabla 10.*Valoración de consecuencias Entorno Humano*

VALOR	CANTIDAD	PELIGROSIDAD	EXTENSIÓN	POBLACIÓN AFECTADA
4	Muy alta	Muy peligrosa	Muy extenso	Muy alto
3	Alta	Peligrosa	Extenso	Alto
2	Poca	Poco peligrosa	Poco extenso	Bajo
1	Muy poca	No peligrosa	Puntual	Muy bajo

Nota. Esta tabla presenta una escala de valorización para diferentes aspectos del entorno humano, donde 4 representa el nivel más alto y 1 el nivel más bajo en cada categoría (Ministerio del Ambiente, 2010).

Tabla 11.*Valoración de consecuencias Entorno Ecológico*

VALOR	CANTIDAD	PELIGROSIDAD	EXTENSIÓN	POBLACIÓN AFECTADA
4	Muy alta	Muy peligrosa	Muy extenso	Muy alto
3	Alta	Peligrosa	Extenso	Elevada
2	Poca	Poco peligrosa	Poco extenso	Media
1	Muy poca	No peligrosa	Puntual	Bajo

Nota. Esta tabla presenta una escala de valorización para consecuencias en el entorno ecológico (Ministerio del Ambiente, 2010).

Tabla 12.*Valoración de consecuencias Entorno Socioeconómico*

VALOR	CANTIDAD	PELIGROSIDAD	EXTENSIÓN	POBLACIÓN AFECTADA
4	Muy alta	Muy peligrosa	Muy extenso	Muy alto
3	Alta	Peligrosa	Extenso	Alto
2	Poca	Poco peligrosa	Poco extenso	Bajo
1	Muy poca	No peligrosa	Puntual	Muy bajo

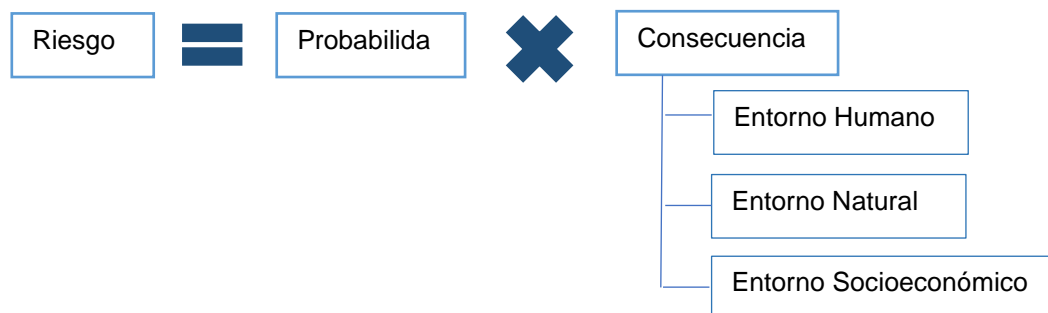
Nota. Esta tabla representa una escala de valoración para evaluar el impacto socioeconómico de eventos o situaciones (Ministerio del Ambiente, 2010).

➤ **Estimación del riesgo**

Una vez calculados los índices de probabilidad e impacto adverso, se procedió con la estimación de su efecto en el ambiente, multiplicando ambos valores previamente determinados.

Figura 11.




Ecuación para determinar el Riesgo



Nota. Esta figura ilustra la ecuación fundamental para el cálculo del riesgo. (Ministerio del Ambiente, 2010).

Tabla 13.

Rangos de estimación de los riesgos ambientales

Riesgo	Valor matricial	Equivalencia porcentual (%)	Promedio (%)
 Riesgo significativo	16 – 25	64 – 100	82
 Riesgo moderado	6 – 15	24 – 60	42
 Riesgo leve	1 – 5	1 – 20	10.5

Nota. Cuando se obtenga el valor del riesgo ambiental, esta tabla sirvió para comparar los rangos de exposición y así apreciar el grado de amenaza al ambiente (Ministerio del Ambiente, 2010).

4.6. Análisis de datos

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software IBM SPSS. Se realizaron pruebas de normalidad de datos Kolmogorov-Smirnov, pruebas no paramétricas aplicando la prueba U de Mann-Whitney y Kruskal-Wallis.

4.7. Consideraciones éticas

El desarrollo de esta investigación se realizó sin la necesidad de recabar el consentimiento informado de los sujetos de estudio.

V. Resultados y discusión

5.1. Resultados

5.1.1. Análisis de los parámetros fisicoquímicos

La tabla 14 presenta los datos de las condiciones fisicoquímicas como el pH, la temperatura, la conductividad eléctrica y el oxígeno disuelto, correspondientes a diferentes puntos de muestreo. La temperatura del agua fluctuó entre 15.2 °C y 20.6 °C. Los puntos RVilc01 y RVilc02 registraron las temperaturas más bajas, 17.2 °C y 15.2°C respectivamente, mientras que los puntos de muestreo RVilc03 y RVilc04 presentaron las temperaturas más altas, con 19.6 °C y 20.6 °C. En cuanto al pH, los valores se encontraron en un rango de 7.9 a 8.5 (Figura 12).

Se observó una relación directamente proporcional entre el oxígeno disuelto y la conductividad. En el punto RVilc02, el valor de conductividad fue de 770 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Mientras que el valor máximo fue de 1140 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en RVilc01. Asimismo, en RVilc01 se obtuvo el valor más alto de oxígeno disuelto, con 550 mg/L, y el valor bajo de 380 mg/L en RVilc02.

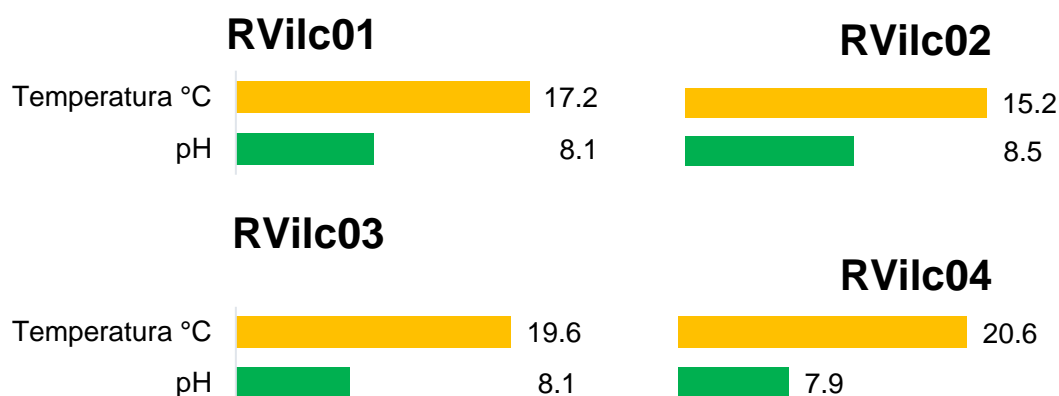
Tabla 14.

Parámetros Fisicoquímicos (T° , pH, Conductividad y OD)

Punto de muestreo	pH	Temperatura °C	Oxígeno Disuelto mg/L	Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$
RVilc01	8.1	17.2	550	1140
RVilc02	8.5	15.2	380	770
RVilc03	8.1	19.6	510	1020
RVilc04	7.9	20.6	490	1100

Figura 12.

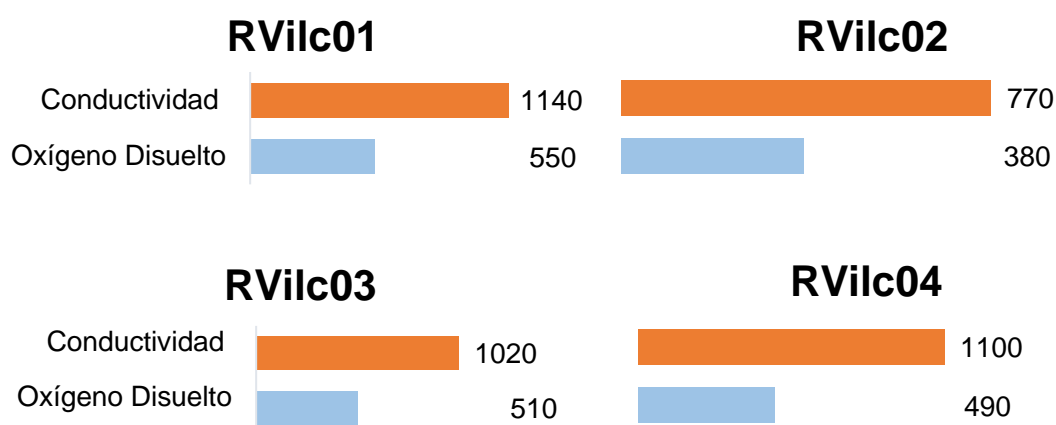
Variaciones de temperatura y pH según punto de muestreo



Nota. Esta figura presenta los datos de temperatura y pH para los 4 puntos de muestreo, estos datos son cruciales para evaluar las condiciones ambientales.

Figura 13.

Conductividad y Oxígeno disuelto por puntos



Nota. En esta figura se muestra los parámetros de conductividad y OD, de los puntos muestreados.

5.1.2. Análisis e Identificación de *Escherichia coli* y *Salmonella sp.*

En la segunda fase del estudio, se examinaron las muestras que presentaron una posible presencia de bacterias, la cual fue evidenciada por la formación de burbujas en el tubo Durham del caldo Lauryl. Estas fueron sembradas en placas de Agar MacConkey. De estas placas, se seleccionaron las colonias más representativas, caracterizadas por presentar un centro color fucsia intenso. Estas colonias sospechosas de pertenecer a la especie *E. coli* fueron marcadas y preservadas para su confirmación definitiva.

Mientras que las muestras de *Salmonella sp.* se sembraron en agar SS, para la etapa confirmativa. La obtención del antibiograma, se realizó en las instalaciones del Laboratorio Clínico SERVISALUD, donde se realizaron pruebas adicionales para su identificación precisa.

Tabla 15.

Bacterias identificadas por punto de muestreo

PUNTOS DE MUESTREO	BACTERIAS		
	<i>Escherichia coli</i>	<i>Salmonella sp.</i>	Otros
RVilc01	X	X	<i>Klebsiella pneumoniae ssp</i>
RVilc02	X	X	<i>Routella planticola</i>
RVilc03	X	X	<i>Enterebacter cloacae complex</i>
RVilc04	X	X	<i>Pantoea dispersa</i>

5.1.3. Resistencia Antibiótica de *E. coli* y *Salmonella sp.*

5.1.3.1. Análisis de los eventos de resistencia antibiótica

El análisis de la resistencia se fundamenta en los resultados del antibiograma, el cual proporciona una interpretación de la CMI clasificada en tres categorías: Sensible, Intermedio y Resistente. Se llevaron a cabo dos ensayos distintos para obtener estos datos (Anexo B y C).

La cuantificación de los eventos de resistencia se realizó independientemente de la localización del punto de muestreo. Se contabilizaron las ocurrencias en las cuales las bacterias presentaron resistencia a diferentes antibióticos. Este método permitió obtener una visión global de la resistencia antibiótica, sin limitarse a una ubicación específica de muestreo.

Tabla 16.*Eventos de resistencia de Salmonella sp. en función a los antibióticos*

	ANTIBIÓTICOS															
	BLEE	AMP	AMC	CEP	CFZ	CRO	FEP	ETP	MEM	AMK	GEN	CIP	NOR	FOS	NIT	SXT
S	NEG	7	1	1	8	8	8	8	8	1	1	7	8	8	7	8
I	-	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
R	-	0	7	7	0	0	0	0	0	7	7	0	0	0	0	0
Tipo de Antimicrobiano	penicilina	cefalosporina	cefalosporina	cefalosporina	cefalosporina	cefalosporina	cefalosporina	carbapenem	carbapenem	aminoglucosidos	aminoglucosidos	fluoroquinolas	fluoroquinolas	fosfonicos	nitrofuranos	sulfamidas

La tabla 16 presenta un análisis detallado de la resistencia bacteriana a diversos antimicrobianos, la cual está titulada “número de eventos de resistencia en función a los antibióticos”, esta tabla ofrece una visión comprensiva de la eficacia de los 15 antibióticos diferentes, cada uno representado con su abreviatura. La información se organizó en las tres categorías mencionadas. Para cada antibiótico, se cuantifica el número de eventos observados en cada una de estas tres categorías:

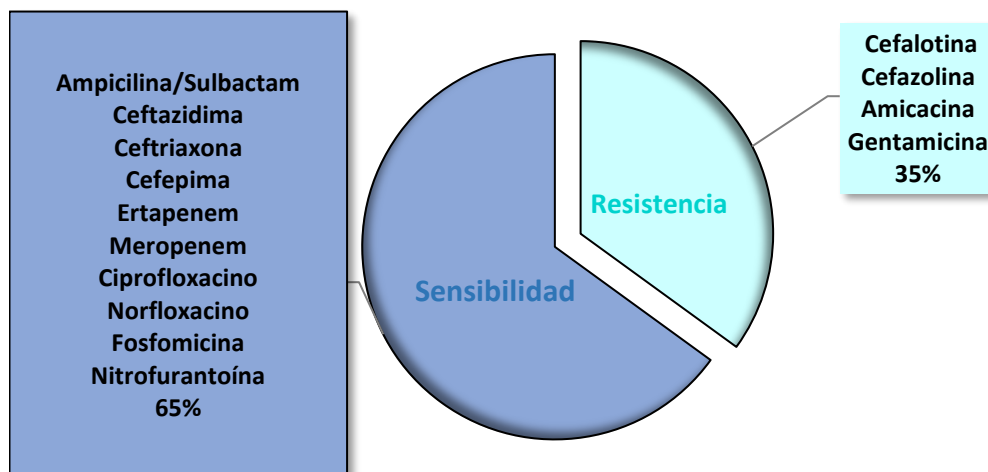
- En la categoría de sensible, se observa una variación considerable, con algunos antibióticos mostrando hasta 8 eventos.
- La categoría intermedia presenta generalmente valores bajos, con la mayoría siendo cero y solo unos pocos antibióticos como AMP y CIP registrando un evento.
- En cuanto a la categoría Resistente, se destacan AMC, CEP, AMK y GEN con 7 eventos cada uno, mientras que el resto no muestra resistencia.

Adicionalmente, la tabla proporciona información sobre el tipo de antimicrobiano al que pertenece cada antibiótico. esto incluye categorías como penicilinas, cefalosporinas, carbapenémicos, aminoglucósidos, quinolas y sulfamidas.

Finalmente, esta tabla da a conocer que las cepas de *Salmonella sp.* son resistentes a AMC, CEP, AMK y GEN los cuales corresponden a dos tipos de antimicrobianos, tales como: cefalosporinas (AMC Y CEP) y aminoglucósidos (AMK y GEN).

Figura 14.

Distribución de la resistencia antibiótica en cepas de Salmonella sp.



Este gráfico muestra una visión clara de la proporción de antibióticos a los que *Salmonella sp.* muestra resistencia significativa en comparación con aquellos a los que es completamente sensible. La sección que representa el 35% del círculo (4/15 antibióticos) para los antibióticos con 87.5% de resistencia, mientras que la otra sección representa (11/15 antibióticos) para aquellos con 0% de resistencia.

Tabla 17.

Eventos de resistencia de Escherichia coli en función a los antibióticos

	ANTIBIÓTICOS															
	BLEE	AMP	AMC	CEP	CFZ	CRO	FEP	ETP	MEM	AMK	GEN	CIP	NOR	FOS	NIT	SXT
S	NEG	6	4	6	8	8	8	8	8	4	4	6	8	8	8	8
I	-	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
R	-	0	2	2	0	0	0	0	0	4	4	0	0	0	0	0
Tipo de Antimicrobiano		penicilina	cefalosporina	cefalosporina	cefalosporina	Cefalosporina	cefalosporina	carbapenem	carbapenem	aminoglucosidos	aminoglucosidos	fluoroquinolonas	fluoroquinolonas	fosfonicos	nitrofuranos	sulfamidas

La tabla 17 ofrece una perspectiva detallada sobre la respuesta de *Escherichia coli* a una variedad de antibióticos. Este análisis es fundamental para comprender la eficacia de los tratamientos actuales contra esta bacteria común pero potencialmente peligrosa. En el panorama general, se observa una tendencia positiva en cuanto a la sensibilidad de *E. coli* a la mayoría de los antimicrobianos evaluados. Antibióticos como CFZ, CRO, FEP, ETP, MEN, NOR, FOS, NIT y SXT muestran una alta efectividad, con 8 eventos de sensibilidad cada uno. Esto sugiere que estos medicamentos siguen siendo opciones viables para el tratamiento de infecciones causadas por *E. coli*.

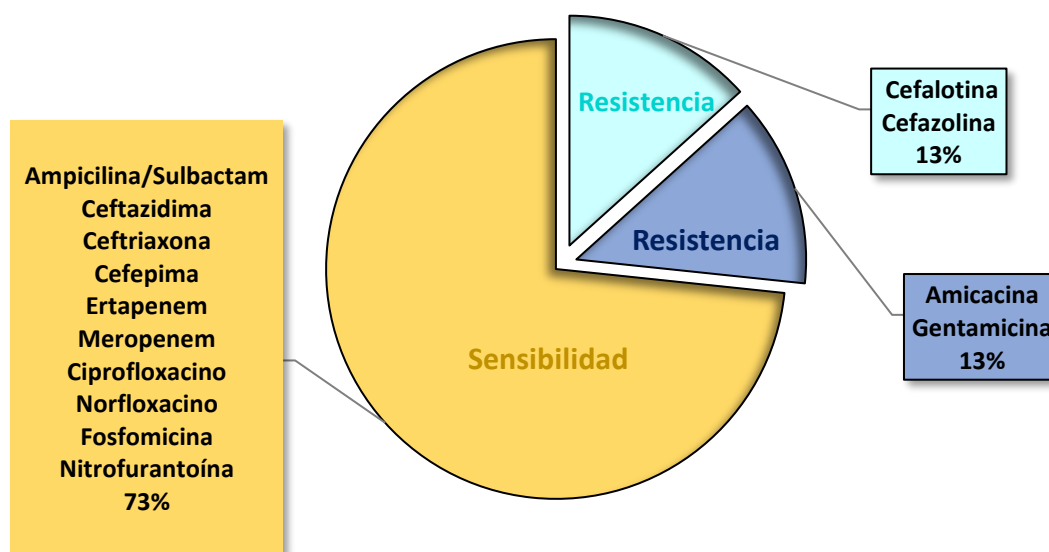
Sin embargo, la tabla también revela áreas de preocupación. Algunos antibióticos, como AMP, AMC, CEP y CIP, muestran una eficacia ligeramente reducida, con 6 o menos eventos de sensibilidad. Más alarmante aún es la situación con AMK y GEN, que presentan solo 4 eventos de sensibilidad cada uno y, al mismo tiempo, 4 eventos de resistencia. Esta resistencia emergente a los aminoglucósidos podría representar un desafío significativo para un tratamiento.

La categoría intermedia, aunque menos prominente, no debe ser ignorada. AMP, AMC y CIP muestran 2 eventos intermedios cada uno, lo que podría indicar una evolución gradual hacia la resistencia. Este dato es particularmente relevante para la planificación de estrategias de tratamiento a largo plazo y para la vigilancia de la resistencia microbiana.

Es importante destacar la diversidad de antimicrobianos representados en esta tabla, que incluye desde penicilina y cefalosporinas hasta carbapenémicos y quinolas. Esta variedad permite una evaluación amplia de las opciones de tratamiento disponibles contra *E. coli*.

Figura 15.

Distribución de la resistencia antibiótica en las cepas de Escherichia coli



Este gráfico circular presenta de una forma clara la resistencia que presenta las cepas de *E. coli*, destacando los antibióticos con mayor preocupación y aquellos que aún son efectivos. La sección del 13.33% (2/15 antibióticos) para amicacina y gentamicina con 50% de resistencia, otra sección del 13.33% (2/15 antibióticos) para cefalotina y cefazolina con 25% de resistencia y el sector con 73.33% (11/15 antibióticos) para aquellos con 0% de resistencia.

➤ Resultados estadísticos

La prueba de Kruskal-Wallis, es un método estadístico no paramétrico que determina si varios grupos de datos provienen de la misma población (Kruskal & Wallis, 1952). No asume normalidad y extiende la prueba U de Mann-Whitney para comparar tres o más grupos. Su principal función es evaluar si las muestras tienen un origen común, sin requerir una distribución específica de los datos. Se establecen las siguientes hipótesis:

- H_0 : No existen diferencias significativas en la resistencia a antibióticos entre *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* Es decir, la resistencia a los antibióticos es similar en ambos grupos de enterobacterias.

- H_1 : Existen diferencias significativas en la resistencia a antibióticos entre *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* Esto implica que la resistencia a los antibióticos difiere entre los dos tipos de enterobacterias.

En este análisis se verificó si existen diferencias significativas en la resistencia a antibióticos en *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* entre los distintos sectores del río Vilcanota que fueron considerados en el estudio. Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 18.

Resumen de prueba de hipótesis, caso 1

	Hipótesis Nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de Resistencia es la misma entre las categorías de Enterobacterias	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,025	Rechazar la Hipótesis Nula

Dado que el p-valor (0.025) es menor que el nivel de significancia (0.05), tenemos evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula. Esto implica que existe una diferencia estadísticamente significativa en la distribución de la resistencia a antibióticos entre *E. coli* y *Salmonella sp.*

Los resultados sugieren que la resistencia a antibióticos no es homogénea entre *E. coli* y *Salmonella sp.* en los sectores estudiados del río Vilcanota. Esta información se corrobora con los resultados obtenidos en el laboratorio (Figura 14 y 15), el cual muestra que entre las dos bacterias estudiadas la *Salmonella sp.* presenta mayor resistencia frente a los antibióticos evaluados.

5.1.3.2. Análisis de las resistencias antibióticas en todos los puntos muestreados

A. *Escherichia coli*

Los análisis de resistencia antimicrobiana evaluaron la susceptibilidad de colonias de *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* obtenidas de muestras del río Vilcanota destinada al riego. Las cuales fueron sometidas frente a 15 antibióticos.

Para *E. coli* se identificó resistencia a cuatro antibióticos: cefalotina, cefazolina, amicacina y gentamicina. Asimismo, se observó resistencia intermedia a ampicilina/sulbactam, cefalotina y ciprofloxacino (Tabla 15). La ampicilina/sulbactam, cefalotina y ciprofloxacino presentaron un 25% (resistencia intermedia). Entre las bacterias aisladas, la mayor resistencia se observó con amicacina y gentamicina, ambas con 50 %, seguido de Cefalotina y Cefazolina con 25% de resistencia.

Tabla 19.

Porcentajes aislados de E. coli sensibles, intermedios o resistentes a cada antibiótico evaluado

ANTIBIÓTICOS	CATEGORÍA		
	Sensible	Intermedia	Resistente
AMP	75.0%	25.0%	0.0%
AMC	50.0%	25.0%	25.0%
CEP	75.0%	0.0%	25.0%
CFZ	100.0%	0.0%	0.0%
CRO	100.0%	0.0%	0.0%
FEP	100.0%	0.0%	0.0%
ETP	100.0%	0.0%	0.0%
MEM	100.0%	0.0%	0.0%
AMK	50.0%	0.0%	50.0%
GEN	50.0%	0.0%	50.0%
CIP	75.0%	25.0%	0.0%
NOR	100.0%	0.0%	0.0%
FOS	100.0%	0.0%	0.0%
NIT	100.0%	0.0%	0.0%
SXT	100.0%	0.0%	0.0%

B. *Salmonella sp.*

En cuanto a la *Salmonella sp.*, también se evaluó su susceptibilidad. El estudio incluyó a 15 antibióticos. De acuerdo con los resultados del antibiograma, revelaron que algunas cepas de *Salmonella sp.* mostraban resistencia antibiótica a cuatro de ellos: cefalotina, cefazolina, amicacina y gentamicina. En todos estos casos, el porcentaje de resistencia alcanzó el 87.5 %.

Además, se detectó una resistencia intermedia a tres antibióticos: ampicilina /Sulbactam, ciprofloxacino y nitrofurantoína.

Tabla 20.

Porcentajes de aislados de Salmonella sp. susceptibles, intermedios o resistentes a cada antibiótico evaluado

ANTIBIÓTICO	CATEGORÍA		
	Sensible	Intermedia	Resistente
AMP	87.5%	12.5%	0.0%
AMC	12.5%	0.0%	87.5%
CEP	12.5%	0.0%	87.5%
CFZ	100.0%	0.0%	0.0%
CRO	100.0%	0.0%	0.0%
FEP	100.0%	0.0%	0.0%
ETP	100.0%	0.0%	0.0%
MEM	100.0%	0.0%	0.0%
AMK	12.5%	0.0%	87.5%
GEN	12.5%	0.0%	87.5%
CIP	87.5%	12.5%	0.0%
NOR	100.0%	0.0%	0.0%
FOS	100.0%	0.0%	0.0%
NIT	87.5%	12.5%	0.0%
SXT	100.0%	0.0%	0.0%

➤ Resultados estadísticos

También se utilizó la prueba de Kruskal- Wallis. No asume normalidad y se extiende la prueba U de Mann-Whitney para comparar tres o más grupos. Se establecen las siguientes hipótesis:

- H_0 : No existen diferencias significativas en la resistencia a antibióticos entre las diferentes ubicaciones del río Vilcanota.
- H_1 : Existen diferencias significativas en la resistencia a antibióticos entre las diferentes ubicaciones del río Vilcanota.

Se evaluó si existen diferencias significativas en la resistencia a antibióticos entre las distintas ubicaciones del río Vilcanota consideradas en el estudio. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 21.

Resumen de prueba de hipótesis, caso 2

	Hipótesis Nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de Resistencia es la misma entre las categorías de ubicación	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,129	Rechazar la Hipótesis Nula

Dado que el p-valor (0.129) es mayor que el nivel de significación (0.05), no tenemos evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula. Esto implica que no se puede concluir que existan diferencias estadísticamente significativas en la distribución de la resistencia a antibióticos entre las diferentes ubicaciones del río Vilcanota

Los resultados muestran que la resistencia a antibióticos es similar en las distintas ubicaciones evaluadas del río Vilcanota (Anexo F). Por lo tanto, podemos decir que los factores que influyen en la resistencia a antibióticos están distribuidos de manera relativamente uniforme a lo largo del río. Por lo cual, las bacterias resistentes a antibióticos pueden estar dispersándose eficientemente a lo largo del cuerpo de agua, homogenizando la distribución de la resistencia.

Es importante resaltar que la falta de diferencias significativas no implica que no haya variación en la resistencia entre ubicaciones, sino que estas diferencias no son lo suficientemente grandes como para ser estadísticamente significativas.

5.1.4. Análisis de Multirresistencia a antibióticos

Cuando se habla de multirresistencia, nos referimos a que las cepas aisladas presentan una tolerancia a al menos un antibiótico de tres o más categorías.

Tabla 22.

Antibióticos a los que se presentó resistencia, E. coli

ENTEROBACTERIAS	ANTIBIÓTICOS			
	Cefalosporina		Aminoglucósidos	
Especie	AMC	CEP	AMK	GEN
<i>Escherichia coli</i>	25%	25%	50%	50%

En la Tabla 22, se muestran a cuatro antibióticos de dos categorías cefalosporina y aminoglucósidos, a los cuales las cepas aisladas de *E. coli* presentaron resistencia. Para calcular el porcentaje general de resistencia para cada bacteria, debemos considerar todos los antibióticos probados y la resistencia observada para cada uno. En total fueron 15 antibióticos analizados.

El análisis de resistencia antibiótica en *Escherichia coli* aislada del río Vilcanota reveló un patrón variado de resistencia frente a los 15 antibióticos evaluados. La amikacina (50%) y gentamicina (50%), estos dos aminoglucósidos exponen un nivel más alto de resistencia. Por otro lado, la ampicilina/sulbactam y la cefalotina; estos antibióticos presentaron un nivel moderado de resistencia con un 25% cada una. Sin embargo, los 11 antibióticos restantes no presentaron resistencia.

En ese entender el cálculo del porcentaje general de resistencia se realizó sumando los porcentajes de resistencia de cada antibiótico y dividiendo por el número total de antibióticos evaluados:

$$(2 * 50\%) + (2 * 25\%) + (11 * 0\%)$$

$$= 150\%$$

$$\frac{150\%}{15} = 10\% \text{ de resistencia}$$

Este resultado indica que, en promedio, las cepas de *E. coli* analizadas presentan un 10% de resistencia general a los antibióticos evaluados. Este porcentaje relativamente bajo, sugiere que, las cepas de *E. coli* aún son sensibles a una amplia gama de antibióticos.

Tabla 23.

Antibióticos a los que se presentó resistencia, Salmonella sp.

ENTEROBACTERIAS	ANTIBIÓTICOS			
	Cefalosporina		aminoglucósidos	
	AMC	CEP	AMK	GEN
<i>Salmonella sp.</i>	87.5%	87.5%	87.5%	87.5%

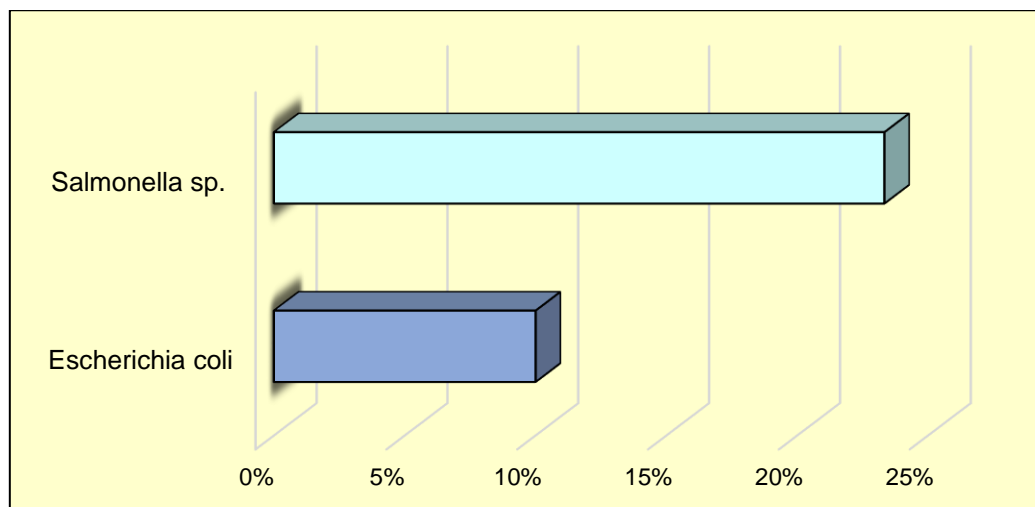
Por otro lado, la Tabla 23 nos muestra que, la *Salmonella sp.*, presentó un patrón más uniforme y preocupante entre los 15 antibióticos evaluados: ampicilina/sulbactam, cefalotina, Amikacina y gentamicina, estos cuatro antibióticos, de las familias de la cefalosporinas y aminoglucósidos, evidencia un nivel alarmante alto de resistencia. El 87.5% de las cepas de *Salmonella sp.* manifestaron resistencia cada estos antibióticos, por otro lado, no presentaron resistencia a los once antibióticos restantes.

$$(4 * 87.5\%) + (11 * 0\%)$$

$$= 350\%$$

$$\frac{350\%}{15} = 23.33\% \text{ de resistencia}$$

Este porcentaje general de resistencia del 23.33% es más alto que lo observado en *E. coli* (10%), lo que sugiere que las cepas de *Salmonella sp.* aisladas son más resistentes a los antibióticos.

Figura 16.*Porcentajes de resistencia general*

➤ Resultados estadísticos

Se usó la prueba de Kruskal- Wallis. Se establecen las siguientes hipótesis:

- H_0 : No existen diferencias significativas entre los 15 diferentes antibióticos evaluados.
- H_1 : Existen diferencias significativas entre los 15 diferentes antibióticos evaluados.

Se verificó si existen diferencias significativas entre los 15 diferentes antibióticos evaluados. Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 24.*Resumen de prueba de hipótesis, caso 3*

	Hipótesis Nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de Resistencia es la misma entre las categorías de antibióticos	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,000	Rechazar la Hipótesis Nula

Dado que el valor p-valor (0.000) es menor que el nivel de significación (0.05), tenemos evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula. Esto implica que existen diferencias estadísticamente significativas en la distribución de la resistencia entre los 15 antibióticos evaluados.

Los resultados muestran que la resistencia varía significativamente entre los diferentes antibióticos evaluados. Esto se evidencia en los resultados que se muestran

en la tabla 19 y 20, y también se comprueba con la multirresistencia que presentan las dos bacterias identificadas, *E. coli* y *Salmonella sp.*, esta variación significativa muestra que frente a los 15 antibióticos evaluados solo se presentan resistencia a 4 y cada una con diferentes porcentajes.

5.1.5. Análisis de riesgos ambientales

La evaluación de los riesgos ambientales se basó en múltiples fuentes. Este proceso tomó en cuenta varios aspectos relevantes, como:

5.1.5.1. Identificación de peligros

Tomando como guía los lineamientos establecidos por la Guía Metodológica del Ministerio del Ambiente, se llevó a cabo un análisis exhaustivo para identificar los diferentes peligros que amenazan al río Vilcanota.

Tabla 25.

Identificación de peligros

FACTOR	HUMANO	ECOLÓGICO	SOCIOECONÓMICO
Causas	Descarga de efluentes urbano domésticos y hospitalarios.	Contaminación de cuerpos de agua por efluentes con antibióticos.	Falta de tratamiento adecuado para las aguas servidas.
Antrópico			
Efecto	Propagación de microorganismos resistentes a antibióticos.	Alteración de ecosistemas acuáticos.	Impactos en la salud por consumo de alimentos regados con aguas contaminadas.

5.1.5.2. Determinación de escenarios de riesgo

Con el objetivo de determinar las posibles escenas, se llevó a cabo un exhaustivo proceso de recopilación de información referente a la zona de estudio del río Vilcanota. Esta labor implicó la recolección de los siguientes datos relevantes:

- Ubicación: El río Vilcanota que atraviesa varias provincias como Canchis, Quispicanchis, Cusco, Urubamba, Calca y La Convención, y parte de Ucayali.
- Uso: Este es uno de los cuerpos de agua con trascendencia en Cusco, específicamente en el área comprendida entre las provincias de Calca y Urubamba. Esta zona se caracteriza por una importante presencia

humana, donde coexisten dinámicas tanto rurales como urbanas, convirtiéndose además en un destacado destino turístico. Esta zona, con dinámica rural y urbana, enfrenta creciente contaminación al ser el único receptor de aguas residuales de poblados cercanos, incluyendo Cusco. El río es vital para la agricultura, consumo humano y recreación. Esta situación se agrava por la descarga directa de aguas residuales sin tratamiento y la acumulación de desechos sólidos en sus alrededores.

- Para la recopilación de datos relevantes, se recurrió a información proporcionada por la ANA (Autoridad Nacional del Agua, 2019).
- **Características físicas:**

Extensión: el río tiene un recorrido de 938,3 km

Precipitación media: 2,200 mm/año

Caudal promedio: 59 m³/s

- **Actividades antropogénicas:**

Vertimiento de materia orgánica: el río Vilcanota se ve impactado por diversos aportes contaminantes provenientes de fuentes urbano domésticas, así como de las actividades ganaderas. Estas descargas de efluentes se originan principalmente en las capitales provinciales de Calca y Urubamba, que descargan sus aguas cloacales de manera directa, sin previos procedimientos de limpieza, debido a la ausencia de plantas de tratamiento en dichas localidades.

Inadecuado manejo de Residuos Sólidos: las comunidades asentadas en las proximidades del Río Vilcanota presentan deficiencias en cuanto al manejo de los residuos sólidos. En los alrededores del importante cuerpo de agua, se han formado múltiples puntos de acumulación de desechos, lo cual genera una contaminación significativa y un impacto negativo en el atractivo paisajístico en la zona. Esta situación es preocupante, ya que el río en mención constituye un destacado atractivo turístico de

la región, cuya calidad ambiental se ve seriamente comprometida por las inadecuadas prácticas de gestión de residuos por parte de la población local.

- **Zona vulnerable / afectada:** Dada esta situación descrita previamente, la zona directamente afectada es el propio río Vilcanota. Los impactos negativos han repercutido severamente en la flora y fauna acuática nativas de este ecosistema, cuyas poblaciones han experimentado un declive considerable.
- **Relaciones públicas:** Las entidades gubernamentales concernidas son todas las municipalidades distritales que tienen jurisdicción sobre alguna porción del territorio por donde transcurre el río Vilcanota.
- **Calidad de gestión ambiental:** Se ha identificado la existencia del Plan de Gestión de Recursos Hídricos correspondientes a la cuenca Vilcanota.
- **Agricultura**

La base económica de los distritos de Lamay y Calca se sustentan fundamentalmente en las actividades del campo, donde un impresionante 85% de los habitantes en edad laboral se dedican a la agricultura. Este predominio no es casualidad, sino el resultado de las excepcionales condiciones naturales que hacen de esta región un territorio ideal para la agricultura diversificada. Entre los principales cultivos destaca el maíz como producto estrella, seguido por tubérculos diversos (papa y olluco), una amplia diversidad de hortalizas frescas (zanahorias, repollo col, cebolla, entre otros). Además, se producen granos ancestrales (quinua) y tradicionales (trigo, cebada), legumbres nutritivas (habas, arvejas) y cultivos andinos especiales como el tarwi.

Estos distritos destacan por su singular riqueza en variaciones climáticas locales, un factor que resulta extraordinariamente beneficioso para las labores agrícolas. Los suelos ubicados en las zonas bajas de la cuenca son de origen aluvional y altamente fértiles. Estos terrenos agrícolas disponen de suficiente agua para riego, lo que ha

permitido el desarrollo de una agricultura intensiva, no solo en las zonas bajas, sino también en las partes altas de la cuenca.

Cabe destacar que algunas áreas de la cuenca baja, los agricultores logran obtener hasta dos cosechas anuales, lo que incrementa la productividad. Sin embargo, en contraste con esta riqueza de los suelos en el valle, las laderas de la cuenca presentan terrenos más superficiales y pedregosos. En muchas de estas áreas, no se cuenta con un adecuado suministro de agua para riego. Por ello, los campesinos implementan sistemas de rotación de cultivos, permitiendo que el suelo descanse y se recupere de manera natural entre cosechas. Además, en los centros poblados es común la presencia de huertos familiares, donde se cultivan hortalizas y algunos frutales, contribuyendo a la economía familiar.

Se han identificado tres áreas productivas en estos distritos:

- 1) Área de maíz
- 2) Área de los solares: está constituida por parcelas cercanas las viviendas, donde se practica una agricultura con riego limitado (utilizada por agua del río). Aquí se siembran productos como papa, hortalizas, trigo y tarwi.
- 3) Área de rotación sectorial: conocida como “muyuy”, en esta área se implementa la rotación de cultivos y terrenos. El ciclo de cultivos comienza con la papa, seguid de la cebada, el olluco, el tarwi y otros productos en menor cantidad para la comercialización

En los distritos de Lamay y Calca, donde predominan cultivos de tallo alto como el maíz y la cebada, y de tallo bajo como las hortalizas (zanahoria, cebolla, repollo), papa y olluco, la resistencia a antibióticos en las aguas de riego representa un riesgo tanto para los agricultores como para los consumidores. Las plantas de tallo bajo, debido a su mayor contacto con el suelo y el agua de riego contaminada, tienen una mayor probabilidad de acumular bacterias multirresistentes, lo que incrementa el riesgo de transmisión de estas bacterias a los consumidores, especialmente en cultivos que se

consumen frescos o sin procesamiento adecuado. Para los agricultores, la exposición constante al agua de riego contaminada durante las labores de siembra, riego y cosecha aumenta la posibilidad de entrar en contacto directo con estas bacterias resistentes, lo que podría comprometer su salud, especialmente si padecen heridas abiertas o si se manipulan sin la protección adecuada. En cuanto a los cultivos de tallo alto, aunque su contacto con el suelo es menor, el riego por aspersión y el uso de herramientas agrícolas compartidas pueden facilitar la dispersión de bacterias resistentes, afectando también la seguridad de estos cultivos.

5.1.5.3. Formulación de escenario de riesgo

Tabla 26.

Formulación de escenarios de riesgo

Tipología de peligro		Sustancia o evento	Escenario de riesgo	Causas	Consecuencias
Ubicación de la zona	Natural Antropico				
Calca - Lamay	X	Presencia de <i>Escherichia coli</i> y <i>Salmonella sp.</i> bacterias resistentes a antibióticos en aguas destinadas al riego.	Contaminación de suelos con bacterias resistentes a antibióticos	Vertido de aguas residuales con restos de antibióticos sin tratamiento adecuado	<ul style="list-style-type: none"> • Transferencia de genes de resistencia entre bacterias en el ambiente acuático • Propagación de bacterias resistentes en el suelo y cultivos • Ingesta de alimentos contaminados con bacterias resistentes • Impacto en la salud pública y seguridad alimentaria

5.1.5.4. Evaluación

El monitoreo se realizó durante la época de estiaje periodo en el que las concentraciones de los parámetros analizados son más representativas. Se establecieron cuatro puntos de referencia para la recolección de datos. Durante la época seca, cuando el caudal del río disminuyó, las concentraciones de ciertos parámetros tienden a aumentar debido a la menor dilución.

I. Monitoreo de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el río Vilcanota

Las tablas presentadas muestran los resultados del análisis de agua destinada al riego de vegetales y bebida de animales correspondiente a la Categoría 3.

Los parámetros fisicoquímicos evaluados incluyen el pH, el oxígeno disuelto y la conductividad. Además, se analizó el parámetro microbiológico de *Escherichia coli* y *Salmonella sp.*, estos parámetros son fundamentales para determinar la calidad de agua utilizada en la irrigación de vegetales.

- Resultados de los parámetros fisicoquímicos monitoreados

Tabla 27.

Parámetros fisicoquímicos analizados en el punto 01

Descripción	Ph	RVilc01	
		Oxígeno Disuelto mg/L	Conductividad µS/cm
Muestreo	8.1	5.50	1140
ECA – C3	6.5 – 8.5	≥4	2500

Se comparó los resultados obtenidos en el punto RVilc01 con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para la Categoría 3, correspondiente al agua para riego y consumo animal:

- El pH medido fue de 8.1, dentro del rango 6.5-8.5 establecido por el ECA. Por lo tanto, el valor de pH determinado cumple con la normativa aplicable.

- La concentración del oxígeno disuelto se registró en 5.50 mg/L, mientras que el ECA establece un valor mínimo de ≥ 4 mg/L, lo que también satisface el estándar normativo.
- Conductividad: La concentración obtenida en el punto de monitoreo 01 fue de 1140 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que el ECA establece un valor de 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Se puede afirmar que la conductividad cumple con el estándar.

Tabla 28.

Parámetros fisicoquímicos analizados en el punto 02

Descripción	RVilc02		
	pH	Oxígeno Disuelto mg/L	Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$
Muestreo	8.5	3.80	770
ECA – C3	6.5 – 8.5	≥ 4	2500

Se comparan los resultados del punto RVilc02 con el Estándar de Calidad Ambiental para la Categoría 3:

- En cuanto al parámetro pH, el valor obtenido fue de 8.5 encontrándose dentro del rango 6.5-8.5. Por lo tanto, el resultado del pH cumple con la normativa.
- Para el parámetro de OD, se registró una concentración de 3.80 mg/L, mientras que el ECA establece un valor de 4 mg/L. Cumple con el estándar correspondiente.
- En relación a la conductividad, el valor obtenido en el punto de monitoreo RVilc02 fue de 770 $\mu\text{S}/\text{cm}$, siendo inferior al límite de 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ establecido por el ECA. Por consiguiente, el resultado de conductividad se encuentra dentro de los parámetros establecidos por la norma.

Tabla 29.*Parámetros fisicoquímicos analizados en el punto 03*

Descripción	pH	RVilc03	
		Oxígeno Disuelto mg/L	Conductividad μS/cm
Muestreo	8.1	5.10	1020
ECA – C3	6.5 – 8.5	≥4	2500

- El pH medido fue de 8.1 dentro del rango 6.5 – 8.5 establecido por la normativa en mención.
- El OD se registró en 5.10mg/L superando el mínimo de ≥4 requerido por el ECA, satisfaciendo al estándar.
- La conductividad se midió en 1020 μS/cm, por debajo del límite de 2500 μS/cm, cumpliendo igualmente con la norma.

Tabla 30.*Parámetros fisicoquímicos analizados en el punto 04*

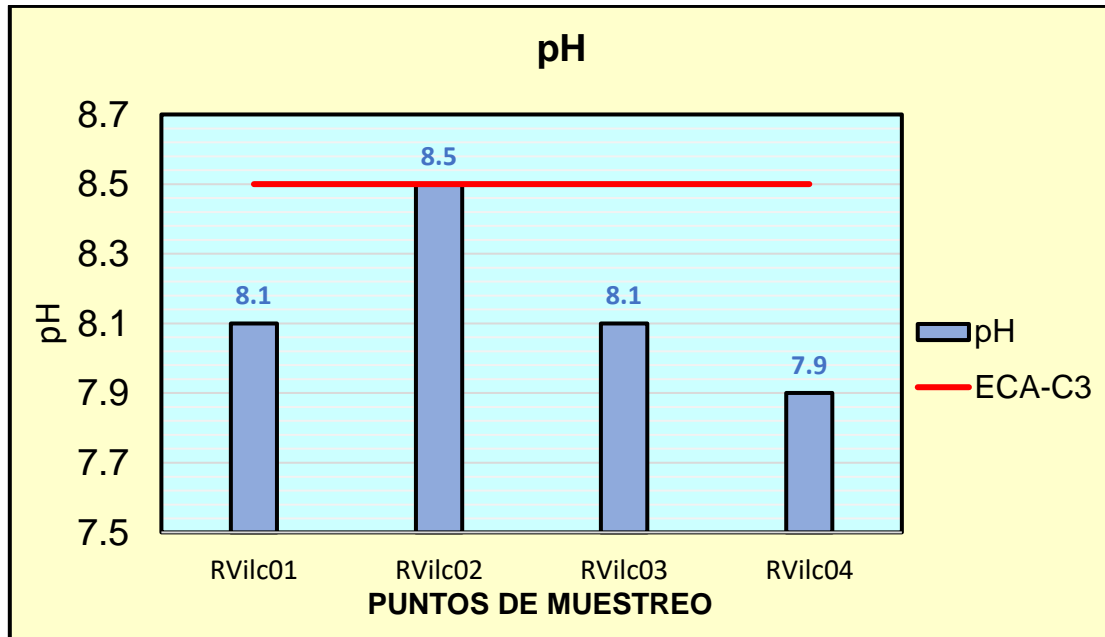
Descripción	pH	RVilc04	
		Oxígeno Disuelto mg/L	Conductividad μS/cm
Muestreo	7.9	4.90	1100
ECA – C3	6.5 – 8.5	≥4	2500

Comparación de los resultados del punto RVilc04 con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para la Categoría 3:

- El pH se midió en 7.9, dentro del rango 6.5-8.5. establecido por el ECA. Por lo tanto, el valor de pH determinado cumple con la normativa aplicable.
- El oxígeno disuelto tuvo una concentración obtenida de 4.90 mg/L, superando ampliamente el valor mínimo de ≥4 mg/L. En consecuencia, cumple con el estándar normativo correspondiente.
- Conductividad, la concentración obtenida en el punto de monitoreo 04 fue de 1100 μS/cm, mientras que el ECA establece un valor de 2500 μS/cm. Se puede afirmar que la conductividad cumple con el estándar.

Figura 17.

Comparación de pH, en los puntos muestreados con el ECA, Cat. 3

**Figura 18.**

Comparación de OD, en los puntos muestreados con el ECA, Cat. 3

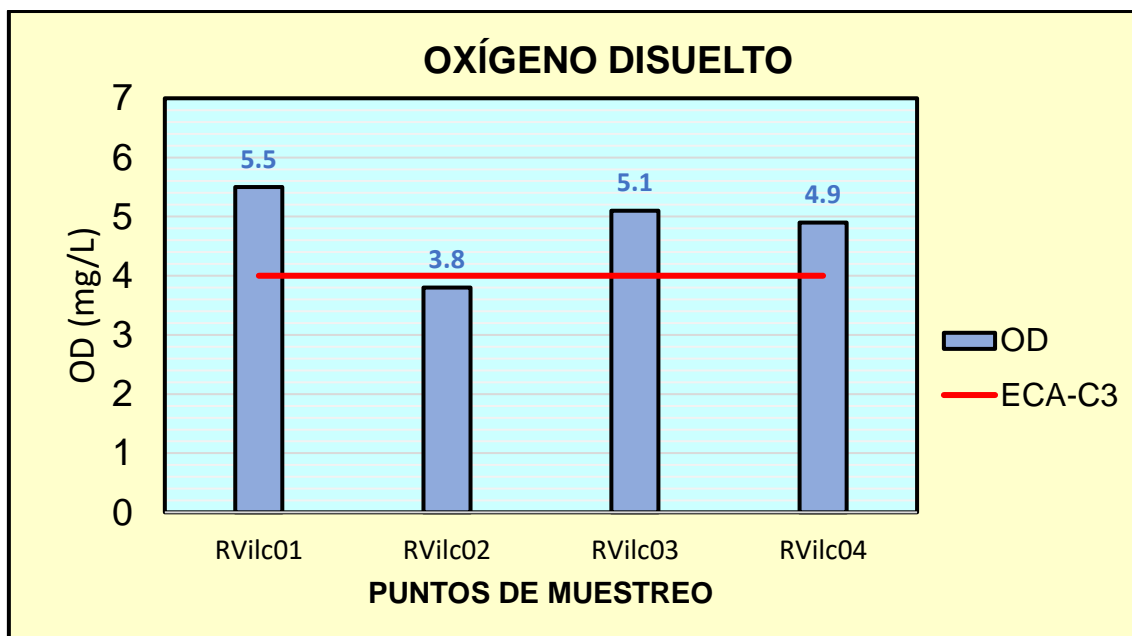
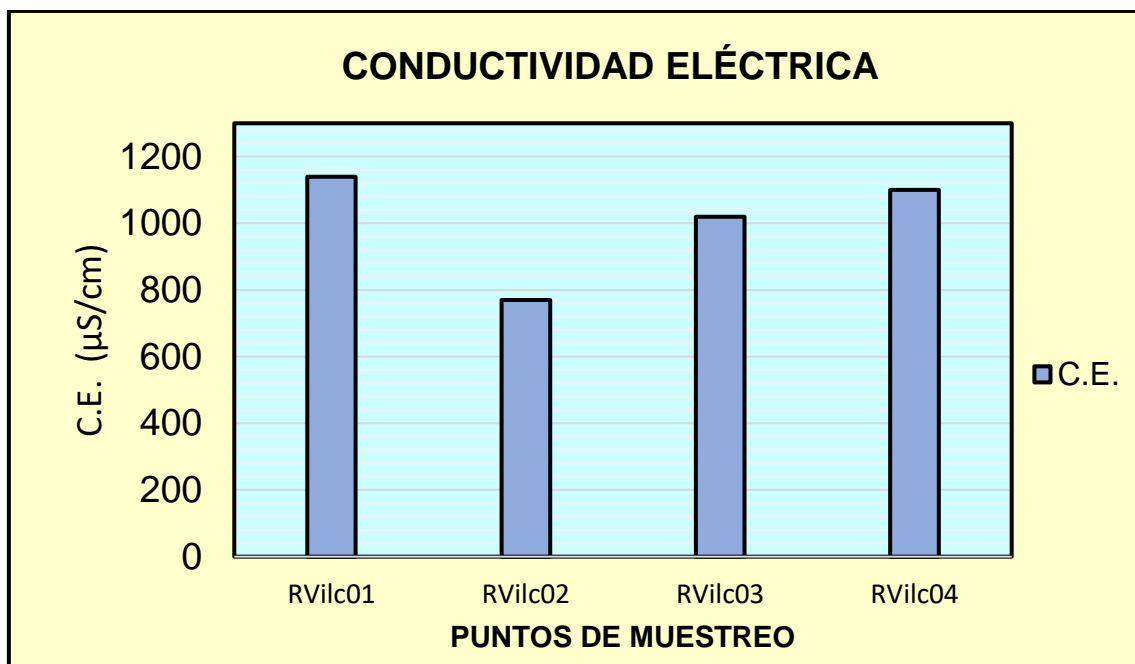
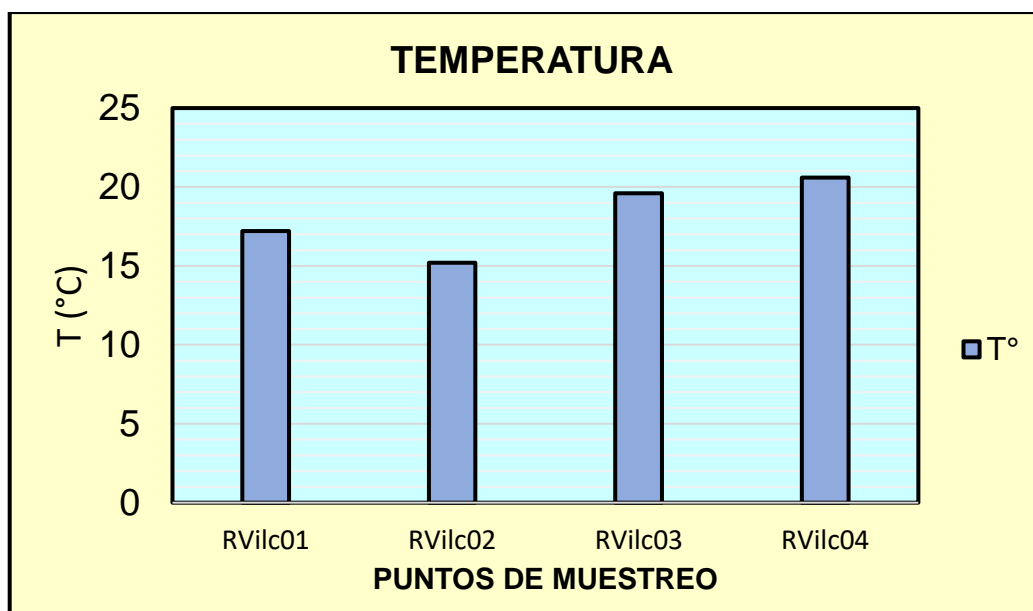


Figura 19.

Comparación de C.E. de los puntos muestreados

**Figura 20.**

Comparación de Temperatura de los puntos muestreados



- **Resultados de los parámetros microbiológicos monitoreados**

De acuerdo a las Tablas 35 y 36, se puede interpretar lo siguiente; los parámetros microbiológicos evaluados fueron la presencia de las bacterias *Escherichia*

coli y *Salmonella sp.* en las muestras analizadas. Se logró identificar la presencia de ambos tipos de bacterias en dichas muestras.

Además, algunas cepas de *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* presentaron una gran sensibilidad a ciertos antibióticos, lo que significa que estas bacterias son susceptibles a ser eliminadas por esos medicamentos.

Por otro lado, también se encontraron cepas de estas bacterias que exhiben multirresistencia, es decir, resistencia a varios antibióticos simultáneamente. Esta condición de multirresistencia representa un desafío importante, ya que limita las opciones de tratamiento efectivo contra estas bacterias resistentes.

5.1.5.5. Evaluación de riesgos ambiental por entorno

Para el análisis de cada punto de muestreo, se consideraron diversos parámetros fisicoquímicos, como se detallan en las siguientes tablas. Sin embargo, el enfoque principal se dio al parámetro microbiológico, ya que este revela información sobre la resistencia bacteriana. Los porcentajes específicos de esta resistencia se observan en la Tabla 35 y 36.

Tabla 31.

Porcentajes de excedencia a la normativa del punto RVilc01 (parámetros fisicoquímicos)

Descripción	pH	Oxígeno Disuelto mg/L	Conductividad μS/cm
Muestreo	8.1	5.5	1140
ECA – C3	6.5 – 8.5	≥4	2500
% de excedencia	95.29	137.5	45.6

Tabla 32.

Porcentajes de excedencia a la normativa del punto RVilc02 (parámetros fisicoquímicos)

Descripción	pH	Oxígeno Disuelto mg/L	Conductividad μS/cm
Muestreo	8.5	3.8	770
ECA – C3	6.5 – 8.5	≥4	2500
% de excedencia	100.00	95	30.8

Tabla 33.

Porcentajes de excedencia a la normativa del punto RVilc03 (parámetros fisicoquímicos)

Descripción	pH	Oxígeno Disuelto mg/L	Conductividad μS/cm
Muestreo	8.1	5.1	1020
ECA – C3	6.5 – 8.5	≥4	2500
% de excedencia	95.29	127.5	40.8

Tabla 34.

Porcentajes de excedencia a la normativa del punto RVilc04 (parámetros fisicoquímicos)

Descripción	Ph	Oxígeno Disuelto mg/L	Conductividad μS/cm
Muestreo	7.9	4.9	1100
ECA – C3	6.5 – 8.5	≥4	2500
% de excedencia	92.94	122.5	44

De acuerdo con las tablas presentadas, se observan los siguientes resultados; en cuanto al parámetro de oxígeno disuelto, se encontraron excedencias con respecto a la normativa vigente en varios puntos de monitoreo. En el punto RVilc01, los niveles de OD excedieron en la normativa en un 37.5%. De manera similar, en el punto RVilc03 se registró una excedencia del 27.5%, y en el punto RVilc04, los niveles superaron la norma en un 22.5%. Estas excedencias en los niveles de oxígeno disuelto pueden comprometer las características del agua y afectar el entorno acuático.

Por otro lado, los análisis microbiológicos en algunos sitios monitoreados revelaron la presencia de bacterias multirresistentes a antibióticos. La bacteria *Salmonella sp.* y *Escherichia coli* exhibió resistencia a 4 antibióticos (Tablas 35 y 36). Esta condición de multirresistencia implica que estas cepas son resistentes a varios medicamentos, lo que dificulta su tratamiento y control.

a) Entorno Humano

Parámetro microbiológico: Se presentan los resultados del parámetro microbiológico analizado en los puntos de monitoreo RVilc01, RVilc02, RVilc03 y RVilc04 correspondiente al entorno humano.

- ***Salmonella sp.***

Tabla 37.

Valoración de la consecuencia de Salmonella sp. en el Entorno Humano

Cantidad	2xPeligrosidad	Extensión	Personas potencialmente expuestas	Puntuación	Valor asignado a la puntuación
3	3*2	3	4	16	4

Cantidad: se asigna un valor de 3 (alta) dado que la bacteria *Salmonella sp.* presenta multirresistencia en 3 de los puntos de monitoreo, según se muestra en la tabla 10.

Peligrosidad: se le otorga un valor de 3 (peligrosa), ya que la *Salmonella sp.* puede representar un peligro especialmente a ciertos grupos vulnerables como bebés, niños pequeños, adultos mayores, mujeres embarazadas y personas con sistemas inmunitarios debilitados, en los cuales las complicaciones derivadas de una infección por esta bacteria pueden ser graves.

Extensión: se le asigna un valor de 3 (extenso), teniendo en cuenta que el agua contaminada con esta bacteria se utiliza para el riego de vegetales, y las viviendas no se encuentran muy alejadas de la ribera del río.

Población afectada: Se estima que el impacto es 4 (muy alta), ya que una cantidad considerable de personas podrían verse afectadas al consumir los cultivos

regados con esta agua contaminadas o al adquirir estos productos en los mercados. Entre los principales cultivos destacan productos de tallo alto como el maíz y cebada, y de tallo bajo como hortalizas (zanahorias, cebolla, repollo), papa y olluco. Los cultivos de tallo bajo, debido a su cercanía al suelo y al contacto directo con el agua de riego con estas bacterias resistentes, presentan un mayor riesgo de acumular dichas bacterias. Además, estos cultivos de tallo bajo son los que más se transportan y comercializan en distintos mercados, tanto como locales como distritales, dentro de la región del Cusco, lo que aumenta las posibilidades de contagio para una mayor población. Las personas afectadas incluyen, en primer lugar, a los habitantes de Lamay Calca, quienes consumen directamente los productos que ellos mismos cultivan. Asimismo, se encuentran en riesgo los consumidores y compradores en los mercados locales y distritales, donde estos productos especialmente los cultivos de tallo bajo, se venden de forma habitual. De esta manera, tanto los agricultores como los consumidores en distintos puntos de la región podrían estar expuestos a bacterias resistentes a los antibióticos a través de la cadena de suministros alimentario.

Para evaluar el riesgo asociado a la presencia de la bacteria *Salmonella sp.* con Multiresistencia en el agua de riego, se realizaron los cálculos correspondientes. En primer lugar, se estimó la consecuencia aplicando la fórmula de la tabla 8, lo que arrojó un valor resultante de 16. De acuerdo con la tabla 9, a este valor se le asigna un puntaje de 4, indicando una consecuencia grave.

Posteriormente, se analizó la probabilidad de ocurrencia de este evento. Teniendo en cuenta que se trata de un vertimiento de aguas residuales, se considera que la ocurrencia de la presencia de *Salmonella sp.* con multirresistencia es más de una vez a la semana. Por lo tanto, según la tabla 7, se le asignó un valor de 5, correspondiente a una probabilidad de ocurrencia más probable.

Finalmente, se procedió a estimar el riesgo combinado la consecuencia y la probabilidad de ocurrencia mediante la fórmula correspondiente.

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad} * \text{Consecuencia}$$

$$\text{Riesgo} = 5 * 4$$

$$\text{Riesgo} = 20$$

De acuerdo a la tabla 13, el valor de 20 se encuentra en un riesgo significativo.

• ***Escherichia coli***

Tabla 38.

Valoración de la consecuencia de Escherichia coli en el Entorno Humano

Cantidad	2xPeligrosidad	Extensión	Personas potencialmente expuestas	Puntuación	Valor asignado a la puntuación
3	3*2	4	4	17	4

Cantidad: La bacteria *E. coli* presenta una Multirresistencia a 4 antibióticos en el punto de monitoreo 02 (RVilc02), esta bacteria se incorpora a las aguas de riego a través del vertimiento de aguas residuales sin tratamiento. A esto se le asigna un valor de 3 (Alto).

Peligrosidad: se le otorga un valor de 3 (peligroso), ya que la *Escherichia coli* puede causar intoxicaciones alimentarias graves en las personas que lo consumen.

Extensión: se le asigna 4 (muy extensa), considerando que el agua contaminada con esta bacteria se utiliza para regar vegetales y que las viviendas no están muy alejadas de la ribera del río. Así mismo, se monitoreó en 4 puntos.

Población afectada: el impacto se considera muy alto (4) debido a su amplio alcance poblacional. En los distritos de Lamay y Calca, con una población estimada para 2024 de 5,664 y 22,010 habitantes respectivamente (INEI, 2018, pp. 156–166). El riesgo es particularmente significativo. Los cultivos de tallo bajo (hortalizas, papa, olluco) son especialmente vulnerables a la contaminación por bacterias resistentes debido a su contacto directo con el agua de riego contaminada. La situación se agrava porque estos productos son ampliamente comercializados en los mercados locales y regionales del

Cusco, creando una cadena de exposición que afecta tanto a los agricultores locales como a los consumidores de toda la región a través del sistema de distribución alimentaria.

Para evaluar el riesgo asociado a la presencia de la bacteria *Escherichia coli* presente en el agua de riego con Multirresistencia a 4 antibióticos, primero se estimó la consecuencia, obteniendo un valor de 17 que según la tabla 9 corresponde a una consecuencia grave (valor 4). Luego se analizó la probabilidad de ocurrencia, considerándose muy probable, valor 5, al tratarse de un vertimiento de aguas residuales donde es frecuente la presencia de *E. coli*.

Finalmente, al combinar la consecuencia y la probabilidad, se obtuvo un valor de riesgo de 20, considerado como significativo

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad} * \text{Consecuencia}$$

$$\text{Riesgo} = 5 * 4$$

$$\text{Riesgo} = 20$$

Tabla 39.

Consolidado de la evaluación del Entorno Humano

ENTORNO HUMANO								
Cantidad	2xPeligrosidad	Extensión	Personas expuestas	Puntuación	Valor asignado	Probabilidad	Valor de riesgo	Nivel
3	3*2	3	4	16	4	5	20	Significativo
3	3*2	4	4	17	4	5	20	Significativo

b) Entorno Ecológico

Parámetro microbiológico: Se presentan los resultados del parámetro microbiológico analizado.

- ***Salmonella sp.***

Tabla 40.

Valoración de la consecuencia de Salmonella sp. en el Entorno Humano

Cantidad	2xPeligrosidad	Extensión	Calidad del medio	Puntuación	Valor asignado a la puntuación
4	3*2	4	3	17	4

Cantidad: La cantidad de *Salmonella sp.* multirresistente está presente en el agua destinada al riego, esto quiere decir que los cultivos reciben dosis de aguas con estas bacterias y esto supone un riesgo elevado, puesto que puede estar incorporando estas bacterias a los suelos, alterando su normal microfauna, y las cuales serán difíciles de tratar debido a su resistencia a los antibióticos. Por ello, se le asignó un valor de 4 (muy alto).

Peligrosidad: el valor 3 (peligroso), se asignó por el alto riesgo de contaminación y deterioro de los recursos hídricos, suelos, cadena trófica, fauna y ecosistemas en general, debido a la presencia y potencial diseminación de la cepa multirresistente de *Salmonella sp.* a través de las aguas del riego contaminadas.

Extensión: se le asignó 4 (muy extensa), considerando que el uso de agua de riego contaminada con *Salmonella sp.* no solo afecta el área agrícola directa, sino que tiene potencial de propagarse y diseminarse ampliamente en el entorno ecológico a través de diversos medios y vectores, pudiendo alcanzar áreas muy extensas.

Calidad del medio: el valor de 3 (elevado) se asigna a los graves impactos que la presencia de *Salmonella sp.* en aguas de riego puede tener en la calidad del agua, suelo, biodiversidad y el desequilibrio general de los ecosistemas, degradando severamente la calidad ambiental.

Para valorar el riesgo relacionado a la presencia de bacteria *Salmonella sp.* con Multirresistencia en el agua utilizada para riego, en primera instancia se estimó la consecuencia, obteniéndose un valor de 17 que, de acuerdo con la tabla 9, corresponde a una consecuencia grave, con un valor de 4.

Posteriormente, se examinó la probabilidad de ocurrencia, la cual se consideró muy probable, asignándole un valor de 5, debido a que el vertimiento de aguas se residuales se realiza diariamente, y es a través de estas aguas que la bacteria *Salmonella* se incorpora al agua destinada al riego.

Finalmente, al combinar la consecuencia y la probabilidad de ocurrencia, se obtuvo un valor de riesgo de 20, el cual es categorizado como un riesgo significativo.

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad} * \text{Consecuencia}$$

$$\text{Riesgo} = 5 * 4$$

$$\text{Riesgo} = 20$$

- *Escherichia coli*

Tabla 41.

Valoración de la consecuencia de E. coli en el Entorno Ecológico

<i>Cantidad</i>	<i>2xPeligrosidad</i>	<i>Extensión</i>	<i>Personas potencialmente expuestas</i>	<i>Puntuación</i>	<i>Valor asignado a la puntuación</i>
4	3*2	4	3	17	4

Cantidad: El valor asignado de 4 (muy alto) se debe a que hay una alta concentración de esta bacteria intestinal en el ambiente, debido una contaminación fecal, lo cual es producto de una descarga excesiva de aguas residuales sin tratamiento adecuado. Cabe resaltar que el río Vilcanota recibe las aguas residuales del valle y de la ciudad del Cusco.

Peligrosidad: el valor 3 (peligroso), se asignó por las consecuencias a la salud ambiental y humana, debido a que el riego con estas aguas que albergan concentraciones de *E. coli* resistentes provocaría la contaminación de los cultivos y la

posible propagación de enfermedades transmitidas por los alimentos, así como los impactos ambientales potenciales en el suelo.

Extensión: se le asignó 4 (muy extensa), debido a que el río Vilcanota es una fuente de agua importante que se utiliza para riego, y la contaminación puede propagarse fácilmente a través de la escorrentía, el drenaje y la distribución de productos agrícolas, lo que resulta en un área de influencia muy amplia.

Calidad del medio: valor de 3 (elevado) debido a que la contaminación fecal tiene un impacto significativo y de difícil reversión en varios aspectos. En primer lugar, degrada severamente la calidad del agua de río, haciéndola inadecuada para riego sin tratamiento previo. En segundo lugar, al regar con esta agua contaminada, se introducen las bacterias *E. coli* y otros patógenos al suelo agrícola, afectando su calidad y capacidad para el crecimiento vegetal saludable. Además, los cultivos regados pueden verse afectados negativamente por la absorción directa de las bacterias o la acumulación de patógenos en sus tejidos. Una vez que la contaminación se extiende al suelo y los cultivos, revertir este daño puede ser muy difícil y demorado, requiriendo costosas medidas de descontaminación del suelo. Finalmente, los cultivos contaminados con *E. coli* representan un riesgo para la salud de los seres humanos y animales al introducir estas bacterias a la cadena alimentaria.

Para la evaluación del peligro asociado a la bacteria *Escherichia coli* multirresistente en el agua destinada al riego, se cuantificó la gravedad de los efectos, obteniéndose un valor de 17 según la tabla 9, esto se traduce en una consecuencia grave con una puntuación de 4. Posteriormente, se analizó la probabilidad de ocurrencia, considerándola muy probable y asignándole un valor de 5, debido a que diariamente se descargan aguas residuales provenientes de actividades urbano domésticas, a través de las cueles las bacterias *E. coli* se introduce en el agua de irrigación.

Finalmente, al combinar la gravedad de los efectos y la probabilidad de ocurrencia, se obtuvo un valor de riesgo de 20, que se clasifica como un riesgo significativo.

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad} * \text{Consecuencia}$$

$$\text{Riesgo} = 5 * 4$$

$$\text{Riesgo} = 20$$

Tabla 42.

Consolidado de la evaluación del Entorno Ecológico

ENTORNO ECOLÓGICO								
<i>Cantidad</i>	<i>2xPeligrosidad</i>	<i>Extensión</i>	<i>Calidad del medio</i>	<i>Puntuación</i>	<i>Valor asignado a la puntuación</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor de riesgo</i>	<i>Nivel</i>
4	3*2	4	3	17	4	5	20	Significativo
4	3*2	4	3	17	4	5	20	Significativo

c) Entorno Socioeconómico

Parámetro microbiológico: Se presentan los resultados en los puntos de monitoreo correspondientes al entorno socioeconómico.

- ***Salmonella sp.***

Tabla 43.

Valoración de la consecuencia ocasionada por la Salmonella sp. para el Entorno Socioeconómico

Cantidad	2xPeligrosidad	Extensión	Patrimonio y capital productivo	Puntuación	Valor asignado a la puntuación
4	2*2	3	2	13	3

Cantidad: La presencia de *Salmonella sp.* en agua de riego expone los campos agrícolas a altas concentraciones de estas bacterias. Esta situación podría causar una introducción de estas cepas resistentes a los suelos, alterando el microbiota natural y generando un desafío para el tratamiento y control debido a su resistencia a los antimicrobianos. Debido a las graves consecuencias que conlleva esta contaminación, se le asignó un valor de 4 (muy alto) al parámetro de cantidad de *Salmonella sp.* presente en el agua destinada al riego pues provoca la imposibilidad de alcanzar un nivel de satisfacción en el resultado de los cultivos.

Peligrosidad: el valor 2 (poco peligroso), porque la contaminación bacteriana presenta un peligro, su impacto sería limitado y reversible. Esto se debe a que se pueden buscar alternativas de riego que ayuden a prevenir pérdidas económicas locales.

Extensión: se asignó el valor 3 extenso, ya que la contaminación por esta bacteria puede afectar una considerable cantidad de personas, producto de la contaminación de cultivos, extendiéndose a los que lo consumen y provocando enfermedades en comunidades extensas. Además, el río riega una vasta área agrícola, lo cual compromete la seguridad alimentaria y calidad de productos.

Patrimonio capital productivo: el valor asignado fue 2 (bajo), se debe a que los efectos negativos producto de la contaminación, aunque presentes, no son lo

suficientemente severos o duraderos como para causar un deterioro significativo en el capital productivo de la región. La durabilidad del impacto es limitada, ya que los efectos sobre la calidad de los cultivos y la producción agrícola suelen ser temporales y manejables con medidas de control y saneamiento adecuadas.

Para evaluar el riesgo asociado a la presencia de la bacteria *Salmonella sp.* en el entorno socioeconómico, se realizaron los cálculos correspondientes. En primer lugar, se estimó la consecuencia aplicando la fórmula de la tabla 8, el resultado obtenido fue 13, al cual se le asigna un puntaje de 3 según la tabla 9, indicando una consecuencia moderada.

Posteriormente, se analizó la probabilidad de ocurrencia de este evento. Teniendo en cuenta que se trata de descargas de aguas residuales, se considera que la ocurrencia de la presencia de *Salmonella sp.* con Multirresistencia es más de una vez a la semana. Por lo tanto, según la tabla 7, se le asignó un valor de 5, indicando una probabilidad de ocurrencia muy probable.

Finalmente, se procedió a estimar el riesgo combinado la consecuencia y la probabilidad de ocurrencia mediante la fórmula correspondiente. El resultado obtenido fue un valor de riesgo de 15, el cual se considera significativo.

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad} * \text{Consecuencia}$$

$$\text{Riesgo} = 5 * 3$$

$$\text{Riesgo} = 15$$

- ***Escherichia coli***

Tabla 44.

Valoración de la consecuencia de E. coli en el Entorno Socioeconómico

Cantidad	2xPeligrosidad	Extensión	Patrimonio capital productivo	Puntuación	Valor asignado a la puntuación
4	2*2	3	2	13	3

Cantidad: la presencia de *Escherichia coli* en el agua de riego expone los campos agrícolas a altas concentraciones de estas bacterias, lo que puede introducir cepas resistentes a antibióticos en los suelos, alterando el microbiota natural y

generando desafíos para su tratamiento y control. Debido al grave impacto de esta contaminación, se le asignó un valor de 4 (muy alto).

Peligrosidad: se le asignó el valor de 2 (poco peligroso). La contaminación por bacterias supone una amenaza, sin embargo, su efecto sería acotado y subsanable. Esto se debe a la posibilidad de implementar métodos alternativos de irrigación que mitiguen las potenciales pérdidas económicas en el ámbito local.

Extensión: un valor de 3 extenso, ya que la contaminación por esta bacteria puede afectar una considerable cantidad de personas, producto de la contaminación de los cultivos, extendiéndose a los que lo consumen y provocando enfermedades en comunidades extensas, además, el río riega una vasta área agrícola, lo cual compromete la seguridad alimentaria y calidad de productos.

Patrimonio capital productivo: se le asignó un valor de 2 (bajo). Esta calificación se debe a que, si bien existen consecuencias negativas derivadas de la contaminación, estas no alcanzan un nivel de gravedad o persistencia suficiente como para ocasionar un menoscabo considerable en el capital productivo del área.

En el análisis vinculado a la detección de *Escherichia coli* en el contexto socioeconómico, se llevaron a cabo diversos cálculos. Inicialmente, se determinó la consecuencia utilizando la ecuación proporcionada en la tabla 8, obteniéndose un resultado de 13. Según los criterios establecidos en la tabla 9, este valor se traduce en una puntuación de 3, lo que indica un impacto moderado.

Para concluir, se calculó el riesgo mediante la integración de los factores de consecuencia y probabilidad, empleando la fórmula designada. El cálculo arrojó un índice de 15, que se interpreta como un nivel de riesgo considerable que requiere atención.

$$\mathbf{Riesgo = Probabilidad * Consecuencia}$$

$$Riesgo = 5 * 3$$

$$Riesgo = 15$$

Para concluir, se integra y sintetiza toda la información recopilada a lo largo del estudio en relación con el contexto Socioeconómico.

Tabla 45.

Consolidación de la evaluación del Entorno Socioeconómico

ENTORNO SOCIOECONÓMICO								
<i>Cantidad</i>	<i>2xPeligrosidad</i>	<i>Extensión</i>	<i>Patrimonio calidad productivo</i>	<i>Puntuación</i>	<i>Valor asignado a la puntuación</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor de riesgo</i>	<i>Nivel</i>
4	2*2	3	2	13	3	5	15	Moderado
4	2*2	3	2	13	3	5	15	Moderado

5.1.5.6. Estimación de riesgo ambiental

Se llevó a cabo una evaluación global que abarcó los tres ámbitos analizados: el humano, el socioeconómico y el ecológico.

Para estimar el riesgo ambiental, la determinación de la equivalencia porcentual de cada ámbito es fundamental.

a) Entorno Humano

Tabla 46.

Equivalencia porcentual para el Entorno Humano

ENTORNO HUMANO		
Parámetros evaluados	Valor matricial	Equivalencia porcentual
<i>Salmonella sp.</i>	20	80%
<i>Escherichia coli</i>	20	80%
PROMEDIO	20	80%

Nota. Esta tabla muestra los valores porcentuales para los parámetros evaluados, los cuales se obtuvieron por una regla de tres simple.

b) Entorno Ecológico

Tabla 47.

Equivalencia porcentual para el Entorno Ecológico

ENTORNO ECOLÓGICO		
Parámetros evaluados	Valor matricial	Equivalencia porcentual
<i>Salmonella sp.</i>	20	80%
<i>Escherichia coli</i>	20	80%
PROMEDIO	20	80%

c) Entorno Socioeconómico

Tabla 48.

Equivalencia porcentual para el Entorno Socioeconómico

ENTORNO SOCIOECONÓMICO		
Parámetros evaluados	Valor matricial	Equivalencia porcentual
<i>Salmonella sp.</i>	15	60%
<i>Escherichia coli</i>	15	60%
PROMEDIO	15	60%

5.1.5.7. Equivalencia porcentual final

El proceso de cuantificación del riesgo se realizó aplicando la ecuación para la caracterización del riesgo, utilizando los valores previamente obtenidos en las etapas anteriores del análisis.

$$CR = \frac{\text{Entorno Humano}(\%) + \text{Entorno Ecológico}(\%) + \text{Entorno Socioeconómico}(\%)}{3}$$

$$CR = \frac{80\% + 80\% + 60\%}{3}$$

$$CR = \frac{220\%}{3}$$

$$CR = 73.33\%$$

Como resultado final del análisis, se obtuvo una caracterización del riesgo del 73.33%. Al consultar la tabla 13 de referencia, se determina que este porcentaje se sitúa dentro de la categoría de **Riesgo significativo**.

5.1.6. Prevención de Riesgos Ambientales

Para mitigar los riesgos ambientales relacionados con la resistencia a los antibióticos en *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* aisladas de muestras de agua del río Vilcanota, es fundamental implementar medidas que aborden los entornos humano, ecológico y socioeconómico. A continuación, se proponen acciones clave para cada uno de estos ámbitos:

a) Acciones en el entorno Humano

- **Monitoreo regular de la calidad del agua:** Es esencial programas de vigilancia periódica para evaluar la presencia de bacterias resistentes en las aguas destinadas al riego. El monitoreo constante permitirá detectar de manera temprana posibles riesgos y tomar medidas correctivas oportunas.
- **Educación sanitaria y concientización:** Las comunidades locales deben ser capacitadas sobre los riesgos que conlleva la exposición al agua contaminada. Las campañas educativas pueden enfocarse en prácticas de higiene adecuadas en el uso responsable del agua de riego.

- **Mejora del acceso a tratamientos médicos:** Facilitar el acceso a servicios de salud especializados en infecciones por bacterias resistentes, asegurando que los pacientes reciban el tratamiento adecuado bajo supervisión médica.

b) Acciones en el entorno ecológico

- **Tratamiento adecuado de las aguas residuales:** Es necesario implementar sistemas avanzados de tratamiento de aguas antes de su descarga en el río, lo que ayudaría a disminuir la concentración de bacterias resistentes a antibióticos
- **Protección de las fuentes de agua:** Deben establecer áreas de protección alrededor de las fuentes y puntos críticos del río para evitar la contaminación por actividades agrícolas, escorrentía, vertimiento directo de aguas residuales.
- **Regulación del uso de antibióticos en la agricultura:** Es vital limitar el uso de antibióticos en la ganadería y la agricultura mediante normativas más estrictas, promoviendo al mismo tiempo prácticas agrícolas sostenibles que reduzcan la contaminación del agua

c) Acciones en el entorno socioeconómico

- **Fomentar la agricultura sostenible:** Se deben promover técnicas agrícolas más eficientes y sostenibles que reduzcan el impacto ambiental, como sistemas de riego optimizados que mejoren el uso del agua.
- **Reforzamiento de normativas ambientales:** Es importante colaborar con las autoridades para fortalecer las leyes y regulaciones sobre la calidad de agua y el manejo de residuos, asegurando sanciones adecuadas para los infractores.
- **Apoyo a la investigación y desarrollo:** Se debe incentivar la investigación en tecnología que permitan la detección temprana de resistencia a antibióticos en el agua, así como desarrollar nuevas soluciones para el tratamiento de aguas contaminadas.

5.2. Discusión de resultados

5.2.1. Discusión con respecto a los resultados del Objetivo específico 1: Identificar la enterobacteria, *Escherichia coli* o *Salmonella sp.*, con mayor resistencia a antibióticos, aisladas de muestras de agua del río Vilcanota destinadas para el riego, 2024.

El río Vilcanota es la principal zona económica de la región, conocida por su intensa actividad centrada en productos tradicionales. Además, por contar con presencia de agroindustrias y turismo (Mendoza et al., 2024). Es crucial que estas aguas cumplan con los estándares de calidad ambiental en aspectos físicos, químicos y microbiológicos para garantizar su idoneidad en diversos usos y evitar riesgos tanto para la salud humana como para el ambiente.

En ese sentido, los resultados resaltan la calidad de agua para riego en los cuatro puntos estudiados. En todos ellos se detectaron *Escherichia coli* y *Salmonella sp.*; estas bacterias pueden atribuirse a diferentes fuentes, las cuales comprometen la pureza biológica del agua, incluyendo actividades agrícolas y ganaderas, desechos domésticos y efluentes industriales, según lo señalado por Álvarez (2017).

La *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* se consideran indicadores confiables de contaminación fecal humana y animal, como señala Horan (2003). Dado que la *Escherichia coli* representa más del 95% de los coliformes termotolerantes excretados, las normativas actuales tienden a centrarse en la *Escherichia coli* y en los coliformes termotolerantes como indicadores ambientales claves para la calidad de agua (Brandt et al., 2017)

Un estudio microbiológico realizado al río Vilcanota en 2007 por la Dirección Regional de Salud Ambiental del Cusco, detectó la presencia de *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* en aguas clasificadas dentro de la Categoría III, destinadas al riego de cultivos y consumo animal. Este resultado demostró una alta concentración de bacterias

en el río, producto del vertido de aguas residuales, generadas de zonas urbano-domésticas.

La detección de estos microorganismos indica una contaminación reciente, ya sea por aguas residuales o contaminación de origen animal. Las enfermedades transmitidas por el agua representan una preocupación hacia la salud pública, dada su capacidad de propagarse rápidamente entre la población, estas afecciones suelen ser debilitantes y, sin tratamiento, pueden tener altas tasas de mortalidad. Son especialmente peligrosas para grupos vulnerables como niños, ancianos y personas con sistemas inmunes comprometidos (Schroeder & Wuertz, 2003).

El río Vilcanota permite el desarrollo de actividades como la agricultura, destinada a la irrigación de pastos y cultivos (De la Torre, 2015). Sin embargo, la presencia de *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* en todos los puntos analizados supone un serio peligro ambiental. El uso de estas aguas contaminadas para consumo humano, riego agrícola y bebida de animales no solo aumenta el riesgo de enfermedades transmitidas por el agua de diversa gravedad, sino que también puede provocar la propagación de patógenos a través de la cadena alimentaria, el contacto entre personas debido a una higiene deficiente, y la transmisión de enfermedades de animales a humanos, entre otros riesgos.

La resistencia a los antimicrobianos (RAM) está en aumento, se debe a diversos factores, entre los cuales el excesivo e inadecuado uso de antibióticos en la medicina, tanto humana como veterinaria, y en la agricultura. Otros factores contribuyentes incluyen el abandono del tratamiento, la falta de medidas de vigilancia y de higiene, y las mutaciones genéticas intrínsecas (Sánchez et al., 2020). Investigaciones recientes han revelado una correlación directa entre la presencia de bacterias resistentes y el nivel de actividad humana en distintos ecosistemas (López et al., 2022). Karkman et al. (2018) establecieron una fuerte conexión entre la resistencia a los antibióticos y la

contaminación fecal, particularmente con las bacterias presentes en las heces humanas. Sus hallazgos sugieren que la contaminación fecal podría ser un factor principal en el incremento de bacterias resistentes en entornos afectados por la actividad humana como en la presente investigación. Estos estudios subrayan la importancia de considerar la contaminación fecal como un indicador clave en el aumento de la resistencia a los antibióticos en ambientes impactados por el ser humano.

Frecuentemente la *Escherichia coli* muestra una tolerancia a diversos antibióticos, especialmente a los betalactámicos (Sosa & Chapañan J., 2020). En esta presente investigación se reveló que las cepas de *Escherichia coli* sostienen una resistencia notable tanto a antibióticos de espectro reducido como de amplio espectro. Específicamente, se observó una resistencia a las cefalosporinas de espectro reducido (Cefalotina y Cefazolina, ambas con 25% de resistencia) y, más alarmante aún, una resistencia a los aminoglucósidos de amplio espectro (Amicacina y Gentamicina, ambas con 50% de resistencia). Esta situación es particularmente alarmante, ya que los antibióticos de amplio espectro como los aminoglucósidos, son comúnmente utilizados por la población general debido a su eficacia contra una amplia gama de bacterias (Ventola, 2015). El uso indiscriminado de estos antibióticos de amplio espectro puede generar un grave riesgo sanitario, llevando a la necesidad de recurrir a antibióticos aún más potentes y de última línea, como la vancomicina, para tratar infecciones resistentes (Laxminarayan et al., 2013). Este escenario no solo compromete la eficacia de los tratamientos actuales (O'Neill, 2016), sino que también amenaza la consecución de los Objetivos de desarrollo sostenible de la ONU (WHO, 2020).

Los hallazgos de esta investigación, son consistentes con investigaciones previas. Por ejemplo, Pucci et al. (2022) reportaron una alta resistencia a cefazolina (87%) en *Escherichia coli* aislada de muestras de agua. Por otro lado, Lösch & Merino (2012) observaron una resistencia del 14% a cefalotina en sus aislamientos de *Escherichia coli*. Estos resultados resaltan la creciente preocupación por esta

problemática en cepas de *E. coli*, especialmente frente a cefalosporinas y aminoglucósidos, lo que representa retos importantes para el manejo de infecciones causadas por esta bacteria.

Las cepas que fueron estudiadas exhibieron una sensibilidad total a una amplia gama de antibióticos. Específicamente, se observó una sensibilidad del 100% a Ceftazidima, Ceftriaxona, Cefepima, Ertapenem, Meropenem, Norfloxacin, Fosfomicina, Nitrofurantoina y Trimetropima/sulfametoxazol. Estos resultados son coherentes con los hallazgos reportados por Martínez et al. (2020) en su estudio.

Por otro lado, la *Salmonella sp.* como señala Tamayo & Husserl (2013), exhibe una resistencia significativa a antibióticos comunes, y se están observando casos de resistencia a nuevos antibióticos con frecuencia creciente. En este estudio, las cepas de *Salmonella sp.* aisladas evidenciaron una alta resistencia que fue de 87.5% a varios antibióticos: dos cefalosporinas (Cefalotina y Cefazolina) y dos aminoglucósidos (Amicacina y Gentamicina). La resistencia a los aminoglucósidos se atribuye a enzimas que alteran los grupos amino o hidroxilo de la molécula del antibiótico, esta modificación impide que el antibiótico se una al ribosoma, neutralizando así su efecto antibacteriano (Ríos et al., 2019). Estos hallazgos subrayan la creciente preocupación en *Salmonella sp.*, específicamente a su tolerancia frente a la cefalosporina y aminoglucósidos, lo que presenta retos considerables para el tratamiento de infecciones causadas por esta bacteria.

Las cepas de *Salmonella sp.* manifestaron una sensibilidad del 87.5% a ampicilina/sulbactam y del 12.5% a cefazolina. Estos porcentajes de sensibilidad son menores que los encontrados en investigaciones previas, como la realizadas por Bonardi et al. (2016).

La sensibilidad del 100% a sulfametoxazol/Trimetroprima en las cepas de *Salmonella sp.* difiere de los hallazgos de Vico et al. (2011) y Li et al. (2016). No

obstante, otros estudios como los de Jong et al. (2014) e Iwu et al. (2016) han reportado niveles de resistencia aún más elevados a esta combinación de antibióticos. Este aspecto es particularmente preocupante debido a que el cotrimoxazol que combina trimetoprima/ sulfametoxazol, es ampliamente utilizado para tratar infecciones oportunistas en pacientes VIH positivos.

La sensibilidad del 87.5% hacia nitrofurantoína en las cepas de *Salmonella sp.* se observó un resultado menor al esperado según investigaciones previas como la de Calayag et al. (2017), donde la *Salmonella sp.* se mostraba resistente a este antibiótico. Es relevante señalar que en muchos países está prohibido el uso de nitrofurantoína en animales destinados al consumo (Calayag et al., 2017). Esto se debe a que los metabolitos producidos por el fármaco permanecen en los tejidos y pueden causar mutaciones y cáncer (Vass et al., 2008). En cuanto la cefalotina, nuestros hallazgos también difieren de estudios anteriores. Por ejemplo, Hurtado et al. (2000) encontraron que *Salmonella sp.* mostraba una resistencia del 41% a este antibiótico. Estas diferencias en los patrones de sensibilidad y resistencia presentan la capacidad de variabilidad de las respuestas de *Salmonella sp.* a los antibióticos.

La resistencia antimicrobiana de *Salmonella sp.* y otras bacterias es una preocupación global para la salud pública, según la Red internacional de autoridades de inocuidad de los alimentos (INFOSAN, 2005). En este estudio, *Salmonella sp.* mostró una alta sensibilidad (100%) a una amplia gama de antibióticos, incluyendo Ampicilina/Sulbactam, varias cefalosporinas, carbapenémicos, quinolas, y otros. Sin embargo, se observó una resistencia cercana al 100% a cefalotina, cefazolina, amicacina y gentamicina, lo que podría indicar un uso excesivo de estos antibióticos, con potenciales consecuencias negativas para el ecosistema acuático. La investigación reveló que su resistencia general es de 23.33% de las cepas de *Salmonella sp.*, resistentes a 4 antibióticos. En comparación, *Escherichia coli* mostró un nivel de

resistencia menor, con una diferencia del 13.33% de resistencia, a favor de la *Salmonella sp.*

Se logró identificar *E. coli* y *Salmonella sp.*, debido a que el río Vilcanota enfrenta múltiples fuentes de contaminación que contribuyen a la proliferación de bacterias y diseminación de genes de resistencia a antibióticos. Las principales fuentes de contaminación son de origen antrópico, destacando los vertidos municipales provenientes de actividades urbano domésticas en ciudades como Calca y Urubamba. Estas descargas de aguas residuales sin tratamiento previo permiten la introducción de una alta carga de microorganismos fecales y potenciales patógenos resistentes a antibióticos en el ecosistema fluvial (Pruden et al., 2006). Además, la contaminación por residuos sólidos, exagera el problema al proporcionar superficies para la formación de biopelículas bacterianas (Abe et al., 2012). Las actividades ganaderas y agrícolas también contribuyen significativamente, aunque de manera más difusa, mediante la escorrentía que arrastra antibióticos y bacterias resistentes del ganado, así como agroquímicos que pueden seleccionar cepas resistentes (Heuer et al., 2011). La contaminación causada por estas fuentes crea un ambiente propicio para la selección y transferencia horizontal de genes de resistencia entre las poblaciones bacterianas del río, convirtiendo al Vilcanota en un reservorio potencial de resistencia antimicrobiana (Baquero et al., 2008).

En los cuatros puntos de muestreo se evidenció una resistencia bacteriana. Por otro lado, la *Escherichia coli*, aisladas de los puntos RVilc02 y RVilc04 revelaron resistencia a los antibióticos Cefalotina, Cefazolina, Amicacina y Gentamicina. Por otro lado, las cepas de *Salmonella sp.* exhibieron un patrón constante de resistencia en todos los puntos de muestreo (RVilc01, RVilc02, RVilc03 y RVilc04), y de manera similar a *Escherichia coli*, también evidenciaron resistencia a Cefalotina, Cefazolina, Amikacina y Gentamicina.

Estos antibióticos, cefazolina y cefalotina, son ampliamente utilizadas en la prevención de infecciones quirúrgicas y el tratamiento de infecciones causadas por bacterias Gram – positivas susceptibles (Dancer, 2001). Por otro lado, la amicacina y gentamicina ambos juegan un papel crucial en el tratamiento de infecciones graves causadas por bacterias Gram – negativas, incluyendo *Pseudomonas aeruginosa* y cepas multirresistentes de *Enterobacteriaceae* (Krause et al., 2016). La gentamicina se emplea comúnmente en infecciones urinarias, respiratorias y septicemia, mientras que la amicacina, debido a su resistencia a muchas enzimas bacterianas, se reserva a menudo para casos de infecciones por organismos resistentes a otros antibióticos (Ramirez & Tolmasky, 2010). El uso de estos antibióticos es fundamental en la práctica clínica, pero su eficacia se ve amenazada por el creciente problema de la RAM, debido a la disponibilidad de formas genéricas han reducido significativamente sus costos, haciéndolos más accesibles en diversos entornos (Ventola, 2015).

Los estudios han mostrado que el incremento de la resistencia a los antibióticos no se debe únicamente al consumo de estos en la comunidad, se deben de considerar otros factores, tales como aumento de la densidad poblacional, favoreciendo su propagación, no solo de bacterias sino también los genes resistentes (Bruinsma et al., 2003). En un estudio sobre la cuenca del río Chao Phraya ubicada en Tailandia, Honda et al. (2016) demostraron que la propagación de RAM está influenciada por las condiciones de urbanización en la zona. Este hallazgo señala la importancia de la densidad poblacional y la presión antrópica como factores clave en la prevalencia de la resistencia en el entorno, los resultados sugieren que área con mayor urbanización y actividad humana tienen a mostrar una mayor presencia de resistencia antibiótica, lo que resalta la necesidad de considerar estos factores en las estrategias de control y mitigación de la resistencia antimicrobiana. En ese entender, los resultados obtenidos de las resistencias observadas de *Salmonella sp.* están más extendidas y son más homogéneas en comparación con las *Escherichia coli*.

5.2.2. Discusión con respecto a los resultados del Objetivo específico 2: Identificar y determinar la multirresistencia a antibióticos en *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* aisladas de muestras de agua del río Vilcanota destinadas para el riego, 2024.

Actualmente, la resistencia múltiple a antibióticos se ha convertido en un fenómeno ampliamente extendido entre diversos microorganismos. Investigadores como Karkman et al. (2018) y López et al. (2022) han documentado este patrón, que afecta a dos o más clases de antibióticos. Esta preocupante tendencia se ha observado en varios entornos acuáticos impactados por actividades humanas. Un estudio significativo realizado en Grecia evaluó la resistencia antibiótica de *Escherichia coli* y los resultados fueron alarmantes: más de la mitad de las cepas aisladas evidenciaron resistencia al menos uno de los antibióticos probados, y un 26.3% presentaba resistencia múltiple, según los investigadores. De manera similar, el estudio actual reveló un nivel general de resistencia del 10% en las cepas de *E. coli*, sin evidencia de multirresistencia, debido a que solo asimilaron y toleraron a dos clases de antimicrobianos. Sin embargo, estos hallazgos difieren con estudios realizados en ríos de zonas urbanas de Cuba, donde se reportó que menos de una cuarta parte de las cepas eran resistentes a uno de los antimicrobianos evaluados, y ninguna cepa presentó resistencia a todos los antibióticos probados (25%). Es posible que estas diferencias en los porcentajes se deban a variaciones en los sistemas de control de la calidad del agua y en las regulaciones sobre el uso de antibióticos entre los países. Estas medidas, en muchas ocasiones, contribuyen a evitar que la resistencia antimicrobiana llegue a niveles críticos (Romeu et al., 2012).

La proliferación de bacterias resistentes en cuerpos de agua ha contribuido a su diseminación y permanencia en el ambiente, representando un reto ecológico importante. La resistencia antimicrobiana es una problemática multisectorial, dado que los microorganismos con multirresistencia y sus genes, pueden transferirse entre

animales y humanos, ya sea por contacto directo o indirecto. Esta dinámica recalca la importancia de implementar una estrategia holística que integre la salud humana, animal y del ecosistema, denominada “One health”, para combatir eficientemente la RAM y mitigar su impacto a nivel global.

En respuesta a esta situación, Perú ha implementado el “Plan Nacional Multisectorial de Contención de la Resistencia a los Antimicrobianos, bajo el enfoque Una Salud” (PAN RAM). Este plan sigue las directrices establecidas en el Plan de Acción Mundial contra la RAM, que fue admitido por la asamblea Mundial de la Salud, que busca fomentar el uso prudente de los antimicrobianos, potenciando los sistemas de vigilancia e impulsando la investigación, y así alcanzar la participación y colaboración intersectorial entre la salud humana, animal y ambiental, medidas adoptadas ante el incremento en los niveles de resistencia antimicrobiana. A pesar de la formulación del Plan, su implementación efectiva aún no se ha logrado completamente. Los principales obstáculos incluyen la insuficiencia de recursos financieros, la falta de coordinación intersectorial y la limitada infraestructura en algunas regiones (Tacconelli et al., 2018) además, la escasa concientización sobre la resistencia antimicrobiana y la ausencia de un marco regulatorio robusto han permitido que persistan prácticas inadecuadas en el uso de antimicrobianos (Laxminarayan et al., 2013). Todo ello a ocasionado que en la actualidad se logre identificar las bacterias en estudio y evidenciar la resistencia que presentan.

Las cepas de *Salmonella sp.* analizadas en este trabajo, no presentaron resistencia a varios antibióticos: incluyendo ceftriaxona, cefepima, ertapenem, meropenem, norfloxacin y fosfomicina. Estos hallazgos son coherentes con los hallazgos reportados por Matsuura et al. (2010).

La resistencia hacia los carbapenémicos continúa siendo extremadamente rara en *E. coli* y *Salmonella sp.* Dado que los carbapenémicos son una clase de antibióticos

de último recurso, cualquier evidencia de resistencia en bacterias zoonóticas es motivo de gran preocupación (Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria, 2022).

El hallazgo de cepas de *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* con resistencia a múltiples antibióticos, particularmente a dos grupos de antimicrobianos, en las aguas del Río Vilcanota, según lo revelado por esta investigación; evidencia el impacto significativo de las actividades humanas en estos ecosistemas acuáticos. Este escenario exhibe el riesgo sanitario vinculado al uso de estas aguas, haciendo necesario que las autoridades locales intensifiquen la aplicación rigurosa de las regulaciones nacionales sobre la calidad de agua. Asimismo, resulta esencial implementar estrategias preventivas y de mitigación para disminuir la contaminación y salvaguardar la salud pública ambiental. Estas medidas deben asegurar que el uso de estas aguas no suponga una amenaza para las poblaciones locales ni ocasione efectos perjudiciales en el equilibrio natural del ecosistema acuático.

Si bien, no es factible establecer una comparación exacta de los niveles de resistencia entre las cepas aisladas en diferentes estudios debido a que cada investigación examina diferentes conjuntos de antibióticos (Efstratiou et al., 2018), los hallazgos de este estudio indicaron resistencia a 4 de los 15 fármacos analizados. Notablemente, se detectó una resistencia significativa a dos categorías de antimicrobianos, específicamente dos cefalosporinas y dos aminoglucósidos, que son ampliamente empleados en el ámbito clínico. Esta situación podría reducir las alternativas de tratamiento disponible en el futuro, lo cual constituye un reto importante para la práctica médica.

En contraste, en la presente investigación la *Salmonella sp.* exhibió una sensibilidad del 65% a once antibióticos y el 35% corresponde a los 4 antibióticos a los que toleró. Por otro lado, *Escherichia coli* mostró el 73.33% de sensibilidad a los 11/15 antibióticos estudiados y 26% a los 4/15 antibióticos que fue resistente. Estos

porcentajes indican que, a pesar de la resistencia observada, estos fármacos aún se consideran opciones viables para el tratamiento en la medicina humana a nivel local.

Aunque ambas bacterias evidenciaron una resistencia a 4 antibióticos pertenecientes a dos clases de antimicrobianos (cefalosporinas y aminoglucósidos), la definición de multirresistencia, establece que una bacteria es considerada multirresistente cuando muestra resistencia al menos a tres clases diferentes de antimicrobianos. Por lo tanto, en este caso, las bacterias presentaron resistencia, pero no cumplen con los criterios para ser consideradas como multirresistentes.

Como ya se mencionó en párrafos antes, en este estudio la *Salmonella sp* presentó mayor resistencia en comparación con la *Escherichia coli*

La *Salmonella* es un organismo ampliamente distribuido en aguas contaminadas por efluentes residuales, que han desarrollado resistencia a diversos antibióticos, particularmente a la amoxicilina, debido a su exposición continua a residuos de estos fármacos (Bhattacharjee, 2022).

Es importante descartar que esta especie es reconocida por su multirresistencia, es decir su capacidad de resistir a múltiples antibióticos simultáneamente. Un estudio que aisló *Salmonella* de aguas residuales hospitalarias demostró que esta bacteria poseía resistencia a una variedad de antibióticos, incluyendo ampicilina, doxicilina, eritromicina, ceftazidima, cefoxitina y cloranfenicol (Dires et al., 2018). Otros estudios han corroborado estos hallazgos. Por ejemplo, al analizar *Salmonella* aislada de diversos efluentes de aguas residuales, se observó resistencia a múltiples clases de antibióticos, como betalactámicos, cloranfenicol y quinolas (Masarikova et al., 2016).

La multirresistencia observada en *Salmonella* se debe a varios factores. Primero, su exposición frecuente a diversos antibióticos en entornos contaminados, como aguas residuales, promueve la selección de cepas resistentes (Zhao et al., 2020) . Segundo,

la *Salmonella sp.* posee mecanismos intrínsecos de resistencia, como la capacidad de reducir la concentración intracelular de antibióticos y modificar las dianas de estos fármacos (Bhattacharjee, 2022). Tercero, y quizás más significativamente, la presencia de integrones en su genoma permite la captación y expresión de múltiples genes de resistencia (Masarikova et al., 2016) . Estos elementos genéticos móviles facilitan la adquisición y acumulación de genes de resistencia a diversos antibióticos, incluyendo betalactámicos, aminoglucósidos, tetraciclinas y quinolas (Tesfaye et al., 2019). La combinación de estos factores ha elevado a la emergencia de cepas de *Salmonella sp.* multirresistentes, capaces de sobrevivir en presencia de múltiples clases de antibióticos, lo que representa un desafío significativo para el tratamiento de infecciones y el control de su propagación en ambientes contaminados.

**5.2.3. Discusión con respecto a los resultados del Objetivo específico 3:
Determinar el riesgo ambiental asociado a la presencia de *Escherichia coli*
y *Salmonella sp.* resistentes a antibióticos, aisladas de muestras de agua
del río Vilcanota destinadas para el riego. 2024.**

La evaluación del riesgo ambiental, realizada según la metodología establecida por el MINAM (2010), comprendió tres fases sistemáticas: análisis de peligros, evaluación de escenarios y caracterización del riesgo. Los resultados de cuatro muestras con dos repeticiones cada una, tomadas durante la época de estiaje, evidencian una situación preocupante respecto a la contaminación bacteriana en las aguas del río Vilcanota destinadas al riego, con implicaciones significativas en los ámbitos humano, ecológico y socioeconómico.

Los análisis microbiológicos identificaron dos patógenos significativos: *Escherichia coli* presentó una resistencia del 10% y *Salmonella sp.* del 23.33%. Ambas especies mostraron resistencia a cuatro antibióticos específicos de dos clases diferentes: cefalosporinas (cefalotina y cefazolina) y aminoglucósidos (amikacina y

gentamicina). Esta resistencia múltiple incrementa significativamente el nivel de peligrosidad en la evaluación del riesgo, que alcanza un 73.33 % de riesgo ambiental.

La evaluación del riesgo ambiental reveló resultados significativos tanto para el entorno humano como ecológico, sustentados en análisis cuantitativos específicos para cada patógeno estudiado

El entorno humano mostró el nivel de riesgo más elevado del 80%, *Salmonella sp.* obtuvo una puntuación total de 16 puntos, mientras que *E. coli* alcanzó 17 puntos. Estos resultados son preocupantes, dado que las bacterias detectadas en los cultivos irrigados tienen una elevada peligrosidad y están presentes en múltiples puntos de monitoreo. Esta evaluación se enfocó en la evaluación de cuatro criterios específicos: cantidad, peligrosidad, extensión y población afectada. Este resultado se atribuye al impacto potencial en la población de Lamay y Calca (estimada en 5 664 y 22 010 habitantes respectivamente para 2024), considerando tanto el consumo directo como la comercialización de productos agrícolas en mercados locales y regionales del Cusco.

El entorno ecológico presentó también un riesgo significativo del 80%. Tanto *Salmonella sp.* como *E. coli* alcanzaron 17 puntos de lo evaluado mediante los criterios de cantidad, peligrosidad, extensión y calidad del medio, lo que sugiere un posible deterioro significativo en la calidad del suelo y el agua, afectando a la biodiversidad de la microfauna y las estructuras de ecosistemas locales. Estos resultados coinciden con estudios previos que han documentado el impacto de la contaminación por bacterias resistentes en los agroecosistemas, donde el uso continuo de aguas residuales sin tratamiento para el riego está provocando un deterioro ecológico generalizado (Pulg et al., 2014)

Esto se debe particularmente a que los cultivos de tallo bajo, como las hortalizas, la papa y el olluco, son los más afectados debido a su contacto directo con el suelo y el agua de riego contaminada. Estos cultivos no solo tienen un mayor riesgo

de acumular bacterias con resistencia, sino que además son los que se comercializan en mayor medida en los mercados locales y distritales del Cusco. Por lo tanto, la exposición a estos patógenos no se limita a los agricultores locales, sino que se extiende a los consumidores en toda la región, lo que amplifica el riesgo de una posible propagación de infecciones bacterianas multirresistentes.

La proximidad entre los puntos de extracción de agua para riego y el cauce natural del río facilita la incorporación de estos organismos patógenos a los cultivos, generando un ciclo de contaminación que afecta tanto al ecosistema como a la salud pública.

En cuanto al entorno socioeconómico, evaluado bajo los criterios de cantidad, peligrosidad, extensión y patrimonio productivo, se determinó un nivel de riesgo considerable del 60%. Estos resultados coinciden con los hallazgos de Chávez et al. (2017) que destacan los efectos negativos de la presencia de *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* en el agua para la producción y comercialización de alimentos. La contaminación limita el uso del agua para consumo humano, bebida de animales y riego de cultivos, impactando significativamente en la economía local.

Es crucial considerar los efectos a largo plazo de esta situación, específicamente en la diversidad local y calidad de los suelos. La presencia de bacterias resistentes durante la época de estiaje es particularmente preocupante, ya que en este periodo la concentración de contaminantes tiende a ser mayor debido al menor volumen de agua. Además, la resistencia identificada a las cefalosporinas y aminoglucósidos sugiere la necesidad de implementar un sistema de monitoreo continuo, considerando que estos antibióticos son importantes en el tratamiento de infecciones bacterianas graves.

La caracterización del riesgo ambiental basada en estos criterios objetivos y datos cuantitativos específicos resalta la necesidad de implementar medidas de control y monitoreo continuo, especialmente considerando que las variaciones en los patrones

de resistencia pueden afectar gravemente la calidad del agua destinada para riego y, consecuentemente, la salud pública y la economía local

VI. Conclusiones

1. En el presente estudio se identificó la resistencia a los antibióticos en *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* aisladas de muestras de agua del río Vilcanota, destinadas para el riego, como agentes de riesgo ambiental en 2024. Estas bacterias presentaron niveles significativos de resistencia antibiótica, constituyendo un riesgo ambiental significativo.
2. Se identificó que la *Salmonella sp.* es la enterobacteria que presenta mayor resistencia, puesto que exhibe un porcentaje general de resistencia del 23.33%, superando en un 13.33% a *Escherichia coli*, que muestra una resistencia del 10%. Esta diferencia significativa resalta la preocupante capacidad de *Salmonella sp.* para desarrollar resistencia a los antibióticos en el ambiente acuático estudiado.
3. Se determinó que ambas bacterias *Escherichia coli* y *Salmonella sp.*, aislada de las aguas del río Vilcanota destinadas para el riego 2024, presentan resistencia a múltiples antibióticos, aunque no se clasifica como multirresistencia en sentido estricto. *E. coli* presenta resistencia a dos clases de antibióticos: cefalosporinas (cefalotina y cefazolina 25%) y aminoglucósidos (50% de resistencia a Amicacina y gentamicina). Por su parte, *Salmonella sp.* muestra una alta resistencia (87.5%) a cuatro antibióticos: dos cefalosporinas (cefalotina y cefazolina y dos aminoglucósidos (amicacina y gentamicina). Ambas bacterias presentan resistencia a dos clases de antimicrobianos, lo cual, aunque preocupante, no constituye multirresistencia según la definición estándar.
4. Se determinó que la presencia de estas bacterias resistentes representa un riesgo ambiental, indicando que la presencia de *Escherichia coli* y *Salmonella sp.*, resistentes a antibióticos en las aguas del río Vilcanota constituye un riesgo significativo para la salud humana, ecológica y socioeconómica de la región. El entorno humano fue el más afectado, con un riesgo del 80 %, seguido por el entorno ecológico con un 80%, y el socioeconómico con un 60%. Lo que implica un riesgo

ambiental del 73.33%. Estos hallazgos confirman la grave amenaza que la resistencia bacteriana plantea para los ecosistemas de la región, destacando su impacto potencial a largo plazo sobre la salud y el equilibrio ambiental.

VII. Recomendaciones

- Llevar a cabo una identificación molecular detallada de los genes de resistencia presentes en *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* para entender los mecanismos específicos de resistencia y su potencial de transferencia entre especies.
- Ampliar el área de estudio, estableciendo una red más amplia de puntos de muestreo estratégicamente ubicados. Esta expansión proporcionará una visión más completa de la situación en todo el río.
- Realizar un monitoreo de aguas superficiales para examinar los cambios en la calidad del agua durante las estaciones seca y lluviosa.
- Establecer la concentración mínima inhibitoria (CMI) para cada antibiótico estudiado y así cuantificar el nivel de resistencia de las bacterias aisladas y comparar la eficacia de diferentes antibióticos.
- Implementar técnicas analíticas avanzadas, como la cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC), para detectar y cuantificar la presencia de antibióticos en las aguas del río Vilcanota, para proporcionar evidencia directa de la contaminación por antibióticos en el ecosistema acuático.
- Diseñar y ejecutar un estudio epidemiológico mediante encuestas detalladas sobre el uso de antibiótico en los distritos de Calca y Lamay, diferenciando productos veterinarios y humanos.
- Aumentar el número de repeticiones en los ensayos de resistencia antimicrobiana para *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* identificadas en las muestras de agua de riego del río Vilcanota. Esto mejorará la robustez estadística de los resultados y permitirá una evaluación más precisa de la prevalencia y patrones de resistencia.
- Ampliar el estudio de resistencia a antibióticos para incluir otras cepas de coliformes totales y termotolerantes aisladas de muestras de agua del río Vilcanota destinadas a diversas actividades.

VIII. Referencias

- Abe, Y., Skali-Lami, S., Block, J. C., & Francius, G. (2012). Cohesiveness and hydrodynamic properties of young drinking water biofilms. *Water research*, 46(4), 1155–1166. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2011.12.013>
- Abraham, C. (1914). An Enzyme from Bacteria able to Destroy Penicilin. *Nature*, 146, 837. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/146837a0>
- Alós, J. I. (2015). Resistencia bacteriana a los antibióticos: una crisis global. En *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica* (Vol. 33, Número 10, pp. 692–699). Elsevier Doyma. <https://doi.org/10.1016/j.eimc.2014.10.004>
- Álvarez, E. (2017). *Calidad microbiológica del agua del río Mero* [Universidad de La Coruña]. <http://hdl.handle.net/2183/19593>
- APHA. (2005). *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater - 9260 INTRODUCTION TO DETECTING PATHOGENIC BACTERIA*. <https://www.standardmethods.org/doi/10.2105/SMWW.2882.201>
- APHA. (2017a). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23rd ed.)*. Washington DC: American Public Health Association. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2459667>
- APHA. (2017b). *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater 4500-O OXYGEN (DISSOLVED) -*. <https://doi.org/10.2105/SMWW.2882.091>
- Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria EFSA. (2022, marzo 29). *Los niveles de resistencia a los antibióticos de Salmonella y Campylobacter siguen siendo elevados*. <https://www.efsa.europa.eu/es/news/salmonella-and-campylobacter-continue-show-high-levels-antibiotic-resistance>
- Autoridad Nacional del Agua. (2016). *R.J. N° 010-2016-ANA*. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/209>
- Autoridad Nacional del Agua. (2019). *Consejo de Recursos hídricos Cuenca Interregional Vilcanota Urubamba*. <https://www.ana.gob.pe/2019/consejo-de-cuenca/urubamba/%C3%81mbito>

- Baquero, F., Martínez, J. L., & Cantón, R. (2008). Antibiotics and antibiotic resistance in water environments. *Current Opinion in Biotechnology*, 19(3), 260–265. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2008.05.006>
- Barreto, M., Castillo, M., & Retamal, P. (2016). *Salmonella enterica*: una revisión de la trilogía agente, hospedero y ambiente, y su trascendencia en Chile. *Revista Chilena Infectol*, 33(5), 547–557. www.sochinf.cl
- Bartlett, J. G., Gilbert, D. N., & Spellberg, B. (2013). Seven ways to preserve the Miracle of antibiotics. *Clinical Infectious Diseases*, 56(10), 1445–1450. <https://doi.org/10.1093/cid/cit070>
- Basson, A., Iwu, C., Iweriebor, B., Obi, L., & Okoh, A. (2016). Multidrug-Resistant *Salmonella* Isolates from Swine in the Eastern Cape Province, South Africa. *Journal of food protection*, 79(7), 1234–1239. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-15-224>
- Bhattacharjee, M. K. (2022). Chemistry of Antibiotics and Related Drugs: Second Edition. *Chemistry of Antibiotics and Related Drugs: Second Edition*, 1–268. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-07582-7/COVER>
- Bisso, A. (2018). Resistencia a los antimicrobianos. *Revista de la Sociedad Peruana de Medicina Interna*, 31(2), 50–59. <https://doi.org/https://doi.org/10.36393/spmi.v31i2.32>
- Bonardi, S., Alpigiani, I., Bruini, I., Barilli, E., Brindani, F., Morganti, M., Cavallini, P., Bolzoni, L., & Pongolini, S. (2016). Detection of *Salmonella enterica* in pigs at slaughter and comparison with human isolates in Italy. *International journal of food microbiology*, 218, 44–50. <https://doi.org/10.1016/J.IJFOODMICRO.2015.11.005>
- Brandt, M., Johnson, K., Elphinston, A., & Ratnayaka, D. (2017). Chemistry, Microbiology and Biology of Water. *Twort's Water Supply*, 235–321. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100025-0.00007-7>

- Brugueras, M., & García, M. (1998). Antibacterianos de acción sistémica. Parte I. Antibióticos Betalactámicos. *Revista Cubana Med Gen Integr*, *14*(4), 347–361.
- Bruinsma, N., Hutchinson, J. M., Van den Bogaard, A. E., Giamarellou, H., Degener, J., & Stobberingh, E. E. (2003). Influence of population density on antibiotic resistance. *The Journal of antimicrobial chemotherapy*, *51*(2), 385–390. <https://doi.org/10.1093/JAC/DKG072>
- Cabrera, C., Gómez, R., & Zúñiga, A. (2007). La resistencia de bacterias a antibióticos, antisépticos y desinfectantes una manifestación de los mecanismos de supervivencia y adaptación. *Colombia Médica*, *38*(2), 149–158.
- Calayag, A., Paclibare, P., Santos, P., Bautista, C., & Rivera, W. (2017). Molecular characterization and antimicrobial resistance of *Salmonella enterica* from swine slaughtered in two different types of Philippine abattoir. *Food microbiology*, *65*, 51–56. <https://doi.org/10.1016/J.FM.2017.01.016>
- Campos, L., & Porras, A. (2021). *Lectura interpretada del antibiograma*. guíaABE. <https://www.guia-abe.es/generalidades-lectura-interpretada-del-antibiograma>
- Carvalho, I., & Santos, L. (2016). Antibiotics in the aquatic environments: A review of the European scenario. *Environment International*, *94*, 736–757. <https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2016.06.025>
- Castillo, T. (2022). *Identificación y cuantificación de residuos de antibióticos y evaluación de la resistencia microbiana a antibióticos en aguas del río Huatanay, Cusco* [Para optar el grado académico de Doctor en Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente]. Universidad Nacional del Altiplano.
- Chambers, H. (2001). The changing epidemiology of *Staphylococcus aureus*? *Emerging infectious diseases*, *7*(2), 178.
- Chávez, J., Rascón, J., & Eneque, A. (2017). Evaluación del impacto del vertimiento de aguas residuales en la calidad del río Ventilla, Amazonas. *Revista de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva*, *3*(1), 99–107.

- Colquehuanca, J. (2021). *Determinación de coliformes totales y termotolerantes resistentes a antibióticos y metales pesados del tracto gastrointestinal de *Oncorhynchus mykiss* del Río Ramis* [Tesis para optar el Título Profesional, Universidad Nacional del Altiplano].
<https://tesis.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/14744>
- Dancer, S. J. (2001). The problem with cephalosporins. *The Journal of antimicrobial chemotherapy*, 48(4), 463–478. <https://doi.org/10.1093/JAC/48.4.463>
- De la Torre, C. (2015). *Contaminación del agua y pobreza rural: el caso de la cuenca alta del río Vilcanota* [Universidad Nacional Agraria La Molina].
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/2196/T01-T6-T.pdf?sequence=1>
- Diario “El Peruano”. (2008). *D.S. N°002-2008-MINAM Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua*.
<https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-002-2008-minam/>
- Diario Oficial “El peruano”. (2017). *D.S. N°004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aguas y establecen disposiciones complementarias*. (Decreto supremo N°004-2017-MINAM. El Peruano). Art. Decreto supremo N°004-2017-MINAM. El Peruano.
- Dirección Regional de Salud Ambiental. (2007). *Río Vilcanota - Urubamba 2007*.
- Dires, S., Birhanu, T., Ambelu, A., & Sahilu, G. (2018). Antibiotic resistant bacteria removal of subsurface flow constructed wetlands from hospital wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(4), 4265–4272.
<https://doi.org/10.1016/J.JECE.2018.06.034>
- ECODES. (2022, octubre). La resistencia a los fármacos antimicrobianos desde la perspectiva “One health”. *Observatorio de Salud y Medioambiente*, 15–111.
<https://ecodes.org/images/que->

hacemos/05.Cultura_Sostenibilidad/SALud_medioambiente/2022_Observatorio_Cambio_Climatico_y_Salud.pdf

Efstratiou, M., Bountouni, M., & Kefalas, E. (2018). Spread of Antibiotic Resistance in Aquatic Environments: *E. coli* as a Case Study. *Proceedings 2018, Vol. 2, Page 693, 2(11), 693*. <https://doi.org/10.3390/PROCEEDINGS2110693>

Escuela de Gobierno en Salud "Floreal Ferrara". (2022). *Resistencia Anti Microbiana* [Video recording]. [Video]. You Tube. <https://www.youtube.com/watch?v=hGClcJneUd4>

Fernández, M. (2023). *Influencia del cambio climático en la resistencia a los antibióticos* [Para optar el máster en Análisis y Gestión de emergencias y desastres, Universidad de Oviedo]. https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/68872/TFM_MariaFernandezSalgueiro.pdf?sequence=4&isAllowed=y

García, J., Agüero, J., Parra, J., & Santos, M. (2010). Enfermedades infecciosas. Concepto. Clasificación. Aspectos generales y específicos de las infecciones. Criterios de sospecha de enfermedad infecciosa. Pruebas diagnósticas complementarias. Criterios de indicación. *Medicine - Programa de Formación Médica Continuada Acreditado, 10(49), 3251–3264*. [https://doi.org/10.1016/S0304-5412\(10\)70027-5](https://doi.org/10.1016/S0304-5412(10)70027-5)

Garza, U., Silva, J., & Martínez, E. (2009). Genética y genómica enfocadas en el estudio de la resistencia bacteriana. *Salud Publica Mex, 5(1), 439–446*.

Giono, S., Santos, J. I., Morfín, M. del R., Torres Francisco J., & Alcántar María Dolores. (2020). Resistencia antimicrobiana. Importancia y esfuerzos por contenerla. *Gaceta Médica de México, 156(2), 172–180*. <https://doi.org/10.24875/gmm.20005624>

Giraldo, N. (2021). Historia de la penicilina: más allá de los héroes, una construcción social. *Iatreia, 34(2), 172–179*. <https://doi.org/10.17533/udea.iatreia.79>

- González, M., & Gutiérrez, J. (2005). METODO GRÁFICO PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE LAS AGUAS RECREATIVAS UTILIZANDO PAPEL LOG-NORMAL. *Centro Habana*, 132.
- Guadarrama, R., Kido, J., Roldan, G., & Salas, M. (2016). Contaminación del agua. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 2(5), 1–10. www.ecorfan.org/spain
- Hernández, R., Fernández, C., & Del Pilar, L. M. (2010). *Metodología de la investigación* (Vol. 5). www.FreeLibros.com
- Heuer, H., Schmitt, H., & Smalla, K. (2011). Antibiotic resistance gene spread due to manure application on agricultural fields. *Current opinion in microbiology*, 14(3), 236–243. <https://doi.org/10.1016/J.MIB.2011.04.009>
- Honda, R., Watanabe, T., Sawaittayotin, V., Masago, Y., Chulasak, R., Tanong, K., Tushara Chaminda, G., Wongsila, K., Sienglum, C., Sunthonwatthanaphong, V., Poonnotok, A., Chiemchaisri, W., Chiemchaisri, C., Furumai, H., & Yamamoto, K. (2016). Impacts of urbanization on the prevalence of antibiotic-resistant *Escherichia coli* in the Chaophraya River and its tributaries. *Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research*, 73(2), 362–374. <https://doi.org/10.2166/WST.2015.502>
- Horan, N. (2003). Faecal indicator organisms. *Handbook of Water and Wastewater Microbiology*, 105–112. <https://doi.org/10.1016/B978-012470100-7/50008-X>
- Hurtado, L., Perez, E., & Alcantara, L. (2000). *Resistencia a antibióticos de cepas bacterianas aisladas de animales destinados al consumo humano*. www.reibci.org
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2018). *Resultados del Censo Región Cusco*.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI. (2017). *Encuesta Demográfica y de Salud Familiar (ENDES)*.

- <https://www.datosabiertos.gob.pe/dataset/encuesta-demogr%C3%A1fica-y-de-salud-familiar-endes-2017-instituto-nacional-de-estad%C3%ADstica-e>
- Iwu, C., Korsten, L., & Okoh, A. (2020). The incidence of antibiotic resistance within and beyond the agricultural ecosystem: A concern for public health. En *MicrobiologyOpen* (Vol. 9, Número 9). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1002/mbo3.1035>
- Jiménez, K. B., Jiménez, L. C., & Andrés, M. A. (2022). El impacto de la resistencia a los antibióticos en el desarrollo sostenible. *Población y Salud en Mesoamérica*, 19(2). <https://doi.org/10.15517/psm.v0i19.47590>
- Jong, A., Smet, A., Ludwig, C., Stephan, B., De Graef, E., Vanrobaeys, M., & Haesebrouck, F. (2014). Antimicrobial susceptibility of *Salmonella* isolates from healthy pigs and chickens (2008-2011). *Veterinary microbiology*, 171(3–4), 298–306. <https://doi.org/10.1016/J.VETMIC.2014.01.030>
- Karkman, A., Do, T., Walsh, F., & Virta, M. (2018). Antibiotic-Resistance Genes in Waste Water. *Trends in microbiology*, 26(3), 220–228. <https://doi.org/10.1016/J.TIM.2017.09.005>
- Krause, K. M., Serio, A. W., Kane, T. R., & Connolly, L. E. (2016). Aminoglycosides: An Overview. *Cold Spring Harbor perspectives in medicine*, 6(6). <https://doi.org/10.1101/CSHPERSPECT.A027029>
- Kruskal, W. H., & Wallis, W. A. (1952). Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 47(260), 583. <https://doi.org/10.2307/2280779>
- Laxminarayan, R., Duse, A., Wattal, C., Zaidi, A. K. M., Wertheim, H. F. L., Sumpradit, N., Vlieghe, E., Hara, G. L., Gould, I. M., Goossens, H., Greko, C., So, A. D., Bigdeli, M., Tomson, G., Woodhouse, W., Ombaka, E., Peralta, A. Q., Qamar, F. N., Mir, F., ... Cars, O. (2013). Antibiotic resistance—the need for global solutions. *The Lancet Infectious Diseases*, 13(12), 1057–1098. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(13\)70318-9](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(13)70318-9)

- León, D., Fajardo, A., Yareta, J., Burgos, A., Peralta, C., Galarza, M., & Marcos, P. (2021). Caracterización molecular de enterobacterias multirresistentes en dos departamentos de la selva peruana. *Biomédica*, *41*, 1–22. <https://doi.org/10.7705/biomedica.5720>
- Li, X., Yuan, Y., Zhang, D., Li, X., Li, D., & Wang, X. (2022). Occurrence, Comparison and Priority Identification of Antibiotics in Surface Water and Sediment in Urbanized River: A Case Study of Suzhou Creek in Shanghai. *Sustainability (Switzerland)*, *14*(14). <https://doi.org/10.3390/su14148757>
- Li, Y., Cai, Y., Tao, J., Kang, X., Jiao, Y., Guo, R., Wang, G., Pan, Z., & Jiao, X. (2016). *Salmonella* isolated from the slaughterhouses and correlation with pork contamination in free market. *Food Control*, *59*, 591–600. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2015.06.040>
- Lopardo, H., Predari, S., & Vay, C. (2016). *Manual de microbiología clínica de la asociación Argentina de microbiología* (1ª ed., Vol. 1). Asociación Argentina de Microbiología.
- López, Y., Gamboa, Y., Rodríguez, Y., & Artega, Y. (2022). Resistencia Microbiana a los antibioticos: un Problema de Salud Creciente. *Revista Científica Hallazgos21*, *7*(1), 103–114. <http://revistas.pucese.edu.ec/hallazgos21/>
- Lösch, L., & Merino, L. (2012). Susceptibilidad antimicrobiana de aislamientos de *Escherichia coli* provenientes de diversas fuentes de agua del Chaco. *Hig. Sanid. Ambient*, *12*, 913–917.
- Magiorakos, A. P., Srinivasan, A., Carey, R. B., Carmeli, Y., Falagas, M. E., Giske, C. G., Harbarth, S., Hindler, J. F., Kahlmeter, G., Olsson-Liljequist, B., Paterson, D. L., Rice, L. B., Stelling, J., Struelens, M. J., Vatopoulos, A., Weber, J. T., & Monnet, D. L. (2012). Multidrug-resistant, extensively drug-resistant and pandrug-resistant bacteria: An international expert proposal for interim standard definitions for acquired resistance. *Clinical Microbiology and Infection*, *18*(3), 268–281. <https://doi.org/10.1111/j.1469-0691.2011.03570.x>

- Maguiña, C., Gonzáles, J., & González, F. (2019). La resistencia a los antibióticos: un problema muy serio. *Acta Med Peru*, 36(2), 145–151.
- Martínez, Á., Garza, U., Sampedro, M. L., González, J., Nava, G., & Toribio, J. (2020). Pathotypes and antibiotic resistance of *Escherichia coli* in residual water. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(4), 957–966. <https://doi.org/10.20937/RICA.53711>
- Martínez, J. (2010). *Contaminación ambiental por antibióticos y determinantes de resistencia a los antibióticos*. <https://ciencia.lasalle.edu.co/us/vol1/iss2/4>
- Martins, A., Silva, R. A., Ferreira, L. O., Licate, M. M., Delafiori, C. R., & Pôrto, S. F. (2019). Resistência a antimicrobianos de enterobactérias isoladas de águas destinadas ao abastecimento público na região centro-oeste do estado de São Paulo, Brasil. *Revista Pan-Amazônica de Saúde*, 10(0). <https://doi.org/10.5123/s2176-6223201900065>
- Masarikova, M., Manga, I., Cizek, A., Dolejska, M., Oravcova, V., Myskova, P., Karpiskova, R., & Literak, I. (2016). *Salmonella enterica* resistant to antimicrobials in wastewater effluents and black-headed gulls in the Czech Republic, 2012. *The Science of the total environment*, 542(Pt A), 102–107. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2015.10.069>
- Matsuura, S., Morales, C., Calle, E., & Ara, G. (2010). Susceptibilidad a antibacterianos in vitro de *Salmonella enterica* aislada de cuyes de crianza familiar-comercial en la provincia de Carhuaz, Áncash. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Peru*, 21(1), 93–99. <https://cris.cientifica.edu.pe/en/publications/susceptibilidad-a-antibacterianos-in-vitro-de-salmonella-enterica>
- Mendoza, M., Escalante, R., Neyra, R., & Ramos, L. (2024). Flujos del agua en la cuenca del río Vilcanota (Cusco, Perú): Un enfoque del valor desde la economía ecológica. *Manglar*, 21(1), 47–56. <https://doi.org/10.57188/manglar.2024.005>

- Ministerio del Ambiente. (2010). *Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales*.
www.minam.gob.peLima-Perú2010PáginaWeb:www.minam.gob.pe
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2010). *Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales*. Biblioteca Nacional. www.minam.gob.peLima-Perú2010PáginaWeb:www.minam.gob.pe
- Munita, J., & Arias, C. (2016). Mechanisms of Antibiotic Resistance. *Annual Reports in Medicinal Chemistry*, 4(2), 37. [https://doi.org/10.1016/S0065-7743\(08\)60495-9](https://doi.org/10.1016/S0065-7743(08)60495-9)
- Muñoz, K., Arango, G. J., & Jaramillo, M. C. (2004). Los antibióticos y su situación actual. *Vitae*, 11(1), 21–33.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169818259003>
- Natalia, T., & Molina, N. B. (2022). *Generalidades de Bacteriología Antibióticos: mecanismos de acción y resistencia bacteriana*.
https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/136280/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- National Human Genome Research Institute. (s. f.). *Bacteria*. Recuperado 8 de enero de 2024, de <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Bacteria>
- Neu, H. (1992). The crisis in antibiotic resistance. *Science (New York, N.Y.)*, 257(5073), 1064–1073. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.257.5073.1064>
- Olazábal, N. (2020). *Evaluación de la resistencia antimicrobiana de Escherichia coli aislado en agua superficial de los ríos Chillón, Rímac y Lurín*. [Universidad Ricardo Palma]. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/3480>
- O'Neill, J. (2016). *Tackling drug-resistant infections globally: final report and recommendations*. *Review on Antimicrobial Resistance*.
<https://wellcomecollection.org/works/thvwsuba>
- Organización Panamericana de la Salud & Organización Mundial de la Salud. (2022, noviembre 4). *Salmonella: En la mira de las entidades de vigilancia*.

<https://www.paho.org/es/noticias/4-11-2022-salmonella-mira-entidades-vigilancia>

- Ortega, D., Barba, P., Mena, S., Espinel, N., Crespo, V., & Zurita, J. (2020). High quantities of multidrug-resistant *Escherichia coli* are present in the Machángara urban river in Quito, Ecuador. *Journal of Water and Health*, 18(1), 67–76. <https://doi.org/10.2166/wh.2019.195>
- Palacios, S. (2019). *FRECUENCIA DE Escherichia coli RESISTENTE A ANTIBIÓTICOS AISLADAS DEL AGUA DEL RÍO PIURA, PERÚ EN UN TRAMO DE LA CIUDAD*. <https://core.ac.uk/download/pdf/250078226.pdf>
- Pineda, L., Tzoc, E., Rivera, M., Herrera, L., & Moncada, M. (2017). Caracterización clínica y epidemiológica en pacientes con infección por Enterobacteriaceae productoras de B-lactamasas de espectro extendido (BLEE), Hospital Escuela Universitario, Tegucigalpa, Honduras, Año 2013. *Revista Ciencia y Tecnología*, 20, 50–66.
- Prat, N., Rieradevall, M., & Fortuño, P. (2012). *Metodología F.E.M. para la evaluación del Estado Ecológico de los ríos Mediterráneos* (pp. 1–44).
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2017). *Fronteras 2017. Nuevos temas de interés ambiental*.
- Pruden, A., Pei, R., Storteboom, H., & Carlson, K. H. (2006). Antibiotic Resistance Genes as Emerging Contaminants: Studies in Northern Colorado. *Environmental Science & Technology*, 40(23), 7445–7450. <https://doi.org/10.1021/es060413l>
- Pucci, F., França, G., Gonçalves, L., Reis, A., Dos Santos, J., Ferreira L., Tanholi, J., & Purin, S. (2022, diciembre 2). *Coliformes e bactérias resistentes a antibióticos em água de rios e poços em Curitiba*. <https://doi.org/10.55592/cfb.2022.3071469>
- Pulg, Y., Leyva, V., Rodríguez, A., Carrera, J., Molejón, P., Pérez, Y., & Dueñas, O. (2014). Calidad microbiológica de las Hortalizas y factores asociados a la

- contaminación en áreas de cultivo en La Habana. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 13, 111–119.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180431104013>
- Ramirez, M. S., & Tolmasky, M. E. (2010). Aminoglycoside modifying enzymes. *Drug resistance updates: reviews and commentaries in antimicrobial and anticancer chemotherapy*, 13(6), 151–171.
<https://doi.org/10.1016/J.DRUP.2010.08.003>
- Red internacional de autoridades de inocuidad de los alimentos (INFOSAN). (2005). *Resistencia antimicrobiana a Salmonella*.
http://www.who.int/foodsafety/fs_management/No_03_Salmonella_Apr05_sp.pdf
- Ríos, A., Morales, S., Vilca, M., Carhuallanqui, A., & Ramos, D. (2019). Determination of the profile of antibiotic resistance of *Salmonella enterica* isolated from pigs in a slaughterhouse in Lima, Peru. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 30(1), 438–445.
<https://doi.org/10.15381/rivep.v30i1.15701>
- Rodríguez, E. A., & Jiménez, J. N. (2023). Resistencia bacteriana a antibióticos en ambientes acuáticos: origen e implicaciones para la salud pública. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 41(3).
<https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.e351453>
- Rojas, M. (2022). *EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A ANTIBIÓTICOS EN Escherichia coli AISLADOS DE MUESTRAS DE AGUA DEL RÍO VENTILLA, MOLINOPAMPA, AMAZONAS, PERÚ* [Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/5468>
- Romero, M., Colín, A., Sánchez, E., & Ortiz, L. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: Evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 25(3), 157–167.

- Romeu, B., Salazar, P., Daysi, L., Rojas, N., & Eslava, C. (2012). Susceptibilidad antimicrobiana de aislamientos de *Escherichia coli* procedentes de ecosistemas dulceacuícolas. *Revista Cubana de Medicina Tropical*, 64(2), 132–141. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0375-07602012000200003&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Sánchez, Y., Ferrebuz, A., González, F., & Urbano, E. (2020). Genes of resistance in bacterial strains associated with infections in a health services providing institution of the department of boyacá. *Salud Uninorte*, 36(2), 394–411. <https://doi.org/10.14482/SUN.36.2.614.57>
- Schroeder, E., & Wuertz, S. (2003). Bacteria. *Handbook of Water and Wastewater Microbiology*, 57–68. <https://doi.org/10.1016/B978-012470100-7/50004-2>
- Senasica. Servicio Nacional de Sanidad, I. y C. A. (2020). *Ficha Técnica: Aislamiento de bacterias fitopatógenas y prueba de patogenicidad*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/728771/1._FT._Aislamiento_de_bacterias_fitopat_genas_y_pruebas_de_patogenicidad_1.0_2020.pdf
- Sociedad Española de Medicina de Laboratorio(SEQCML). (2019). *Antibiograma*. labtestonline. <https://www.labtestsonline.es/tests/antibiograma>
- Sosa, J., & Chapoñan J. (2020). Resistencia antibiótica de *Escherichia coli* según producción de beta lactamasas de espectro extendido, en urocultivos. Hospital III-1. *Revista del cuerpo médico Hospital Nacional Almanzor Aguinaga Asenjo*, 15(4), 598–603. <https://doi.org/https://doi.org/10.35434/rcmhnaaa.2022.154.1627>
- Sulca, M., & Alvarado, D. (2018). Association of mercury resistance with resistance to antibiotics in *Escherichia coli* isolated from the coast of Lima, Peru. *Revista Peruana de Biología*, 25(4), 445–452. <https://doi.org/10.15381/rpb.v25i4.14312>
- Tacconelli, E., Sifakis, F., Harbarth, S., Schrijver, R., van Mourik, M., Voss, A., Sharland, M., Rajendran, N. B., Rodríguez-Baño, J., Bielicki, J., de Kraker, M.,

- Gandra, S., Gastmeier, P., Gilchrist, K., Gikas, A., Gladstone, B. P., Goossens, H., Jafri, H., Kahlmeter, G., ... Wolkewitz, M. (2018). Surveillance for control of antimicrobial resistance. *The Lancet. Infectious diseases*, *18*(3), e99–e106. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(17\)30485-1](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(17)30485-1)
- Taipe, M., & Cabrera, C. (2006). Identificación y evaluación de las principales fuentes de contaminación del río Vilcanota en el sector Calca Urubamba. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*, *9*(17), 97–106. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8135867>
- Tamayo, L., & Husserl, J. (2013). Cuantificación de cepas de *Salmonella sp.* resistentes a antibióticos muestras de agua del Río Bogotá. *Uniandes*. <http://hdl.handle.net/1992/19798>
- Tesfaye, H., Alemayehu, H., Desta, A. F., & Eguale, T. (2019). Antimicrobial susceptibility profile of selected Enterobacteriaceae in wastewater samples from health facilities, abattoir, downstream rivers and a WWTP in Addis Ababa, Ethiopia. *Antimicrobial Resistance and Infection Control*, *8*(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/S13756-019-0588-1/TABLES/5>
- Vargas, Z. (2009). La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Revista Educación*, *33*(1), 155–165.
- Vass, M., Hruska, K., & Franek, M. (2008). Nitrofurantoin antibiotics: a review on the application, prohibition and residual analysis. *Veterinarni Medicina*, *53*(9), 469–500.
- Ventola, C. L. (2015). The antibiotic resistance crisis: part 1: causes and threats. *P & T: a peer-reviewed journal for formulary management*, *40*(4), 277–283. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25859123>
- Vico, J., Rol, I., Garrido, V., San Román, B., Grilló, M., & Mainar, R. (2011). Salmonellosis in finishing pigs in Spain: prevalence, antimicrobial agent susceptibilities, and risk factor analysis. *Journal of food protection*, *74*(7), 1070–1078. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-10-515>

- Watkins, R., & Bonomo, R. (2016). Overview: Global and Local Impact of Antibiotic Resistance. En *Infectious Disease Clinics of North America* (Vol. 30, Número 2, pp. 313–322). W.B. Saunders. <https://doi.org/10.1016/j.idc.2016.02.001>
- World Health Organization (WHO). (2020). *Antimicrobial resistance and the United Nations sustainable development cooperation framework*. <https://www.who.org/app/uploads/2021/10/unsdcf-amr-guidance-en-final-approved.pdf>
- Zhao, X., Hu, M., Zhang, Q., Zhao, C., Zhang, Y., Li, L., Qi, J., Luo, Y., Zhou, D., & Liu, Y. (2020). Characterization of integrons and antimicrobial resistance in *Salmonella* from broilers in Shandong, China. *Poultry Science*, 99(12), 7046. <https://doi.org/10.1016/J.PSJ.2020.09.071>
- Zheng, D., Yin, G., Liu, M., Chen, C., Jiang, Y., Hou, L., & Zheng, Y. (2021). A systematic review of antibiotics and antibiotic resistance genes in estuarine and coastal environments. *Science of The Total Environment*, 777, 146009. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.146009>