



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA**



**SUSCEPTIBILIDAD ANTIMICROBIANA DE *Escherichia coli* Y  
*Staphylococcus aureus* EN EMBARCACIONES RECREATIVAS Y  
AGUAS DEL MALECÓN LOS INCAS DE LA CIUDAD DE PUNO,  
2022**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

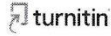
**Bach. FANNY KATHYUSKA CALCINA CALCINA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**LICENCIADO EN BIOLOGÍA: MICROBIOLOGÍA Y  
LABORATORIO CLÍNICO**

**PUNO - PERÚ**

**2024**



# FANNY KATHYUSKA CALCINA CALCINA

## SUSCEPTIBILIDAD ANTIMICROBIANA DE *Escherichia coli* Y *Staphylococcus aureus* EN EMBARCACIONES RECREATI

Universidad Nacional del Altiplano

### Detalles del documento

Identificador de la entrega  
trn:oid::8254:416940425

93 Páginas

Fecha de entrega  
17 dic 2024, 11:48 a.m. GMT-5

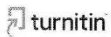
17,213 Palabras

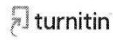
Fecha de descarga  
17 dic 2024, 11:53 a.m. GMT-5

101,133 Caracteres

Nombre de archivo  
TESIS FANNY KATHYUSKA CALCINA CALCINA REPOSITORIO 2.docx

Tamaño de archivo  
10.3 MB





## 10% Similitud general

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

### Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

### Fuentes principales

- 9% Fuentes de Internet
- 2% Publicaciones
- 6% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

#### N.º de alertas de integridad para revisión

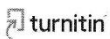
No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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

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

**Dña. Mg. Diana Elizabeth Cervero Legarra**  
DOCENTE  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS UNAP PUNO

**Dra. Ticky Cristina Gonzales Alcos**  
DIRECTORA  
Unidad de Investigación  
PUNO - UNAP





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA

SUSCEPTIBILIDAD ANTIMICROBIANA DE *Escherichia coli* Y *Staphylococcus aureus* EN EMBARCACIONES RECREATIVAS Y AGUAS DEL MALECÓN LOS INCAS DE LA CIUDAD DE PUNO, 2022

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. FANNY KATHYUSKA CALCINA CALCINA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA: MICROBIOLOGÍA Y LABORATORIO CLÍNICO

APROBADA POR:

PRESIDENTE:

  
Dra. ROXANA DEL CARMEN MEDINA ROJAS

PRIMER MIEMBRO:

  
Mg. DANTE MAMANI SAIRITUPAC

SEGUNDO MIEMBRO:

  
M.Sc. JUAN PABLO HUARACHI VALENCIA

DIRECTOR / ASESOR:

  
Mg. DIANA ELIZABETH CAVERO ZEGARRA

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 19/12/2024

ÁREA: Ciencias Biomédicas

SUBLINEA: Diagnóstico y Epidemiología





VºBº Dra. VICKY CRISTINA GONZALES ALCOS  
DIRECTORA DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN-FCCBB



## DEDICATORIA

*A Dios, fuente infinita de sabiduría y amor, a quien agradezco profundamente por iluminar mi camino y darme la fortaleza necesaria para alcanzar esta meta.*

*A mis adorados padres, Ciro Calcina Cari y Marisol Calcina Quispe, no tengo palabras suficientes para expresar mi agradecimiento por su amor incondicional, su sacrificio desinteresado y su apoyo constante. Cada paso que he dado ha estado marcado por su confianza en mí y por su dedicación incansable para ofrecerme lo mejor.*

*A mi querido hermano Alex Calcina, por su apoyo incondicional y tu paciencia han sido mi refugio en los momentos de incertidumbre. No hay palabras suficientes para agradecerte por estar siempre a mi lado, compartiendo risas, lágrimas y sueños.*

*A mis tíos y primos, cuya presencia constante y afectuosa ha sido una fuente de fortaleza. Gracias por sus palabras de aliento y por el amor que siempre han mostrado.*

*A mis queridas amigas Paola, Ana, Mary, Kely, Epivany, Yanina y Catrina, por ser las luces brillantes en mi vida. Vuestra amistad ha sido un bálsamo para mi alma y un recordatorio constante de que no estoy sola en este viaje. Su comprensión, su alegría y su inquebrantable apoyo han sido una fuente de motivación y una razón para seguir adelante.*

*Gracias por ser parte fundamental de este logro y por caminar conmigo en este sendero.*

***Fanny Kathyuska***



## AGRADECIMIENTOS

*Ante todo, mi más profundo agradecimiento es para Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza en cada paso de este camino académico. Su presencia constante en mi vida me ha dado el valor y la esperanza para superar cada desafío, permitiéndome llegar hasta este momento tan significativo.*

*A la Universidad Nacional del Altiplano, mi alma mater, le extiendo mi reconocimiento sincero por brindarme la oportunidad de formarme académicamente en un entorno de excelencia. A la Facultad de Ciencias Biológicas, que ha sido más que un espacio de aprendizaje, un lugar donde he crecido tanto profesional como personalmente, mi gratitud eterna.*

*A mis estimados docentes, quienes con su dedicación y sabiduría me han inspirado a seguir adelante. A mis compañeros de aula, con quienes he compartido experiencias, estudios y momentos inolvidables, les agradezco por ser un soporte mutuo en esta travesía.*

*Un agradecimiento muy especial a mis asesores de tesis Dr. Juan José Pauro Roque y Mg. Diana Elizabeth Cavero Zegarra quienes con paciencia y dedicación me han guiado en este proceso de investigación. Su apoyo ha sido fundamental para que este trabajo vea la luz, y cada consejo que me brindaron ha sido una fuente invaluable de aprendizaje.*

*No puedo dejar de mencionar al señor Francisco, encargado del laboratorio, quien siempre estuvo dispuesto a colaborar con una sonrisa y con la disposición de ayudarme en cada detalle técnico. Su labor, aunque muchas veces silenciosa, ha sido esencial para que este proyecto se concrete.*

**Fanny Kathyuska**



# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ACRÓNIMOS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>12</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1 OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>15</b>
<b>1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b>	
<b>2.1 ANTECEDENTES .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>20</b>
2.2.1 Bahía interior de Puno .....	20
2.2.2 Embarcaciones recreativas.....	21
2.2.3 <i>Escherichia coli</i> .....	22
2.2.4 <i>Staphylococcus aureus</i> .....	25
2.2.5 Resistencia a los antimicrobianos .....	27
2.2.6 Susceptibilidad de una bacteria a un antibiótico.....	37



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	ZONA DE ESTUDIO .....	40
3.2	DISEÑO Y TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	40
3.3	POBLACIÓN Y TAMAÑO DE MUESTRA .....	40
3.4	DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD ANTIMICROBIANA DE <i>Escherichia coli</i> .....	44
3.5	DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD ANTIMICROBIANA DE <i>Staphylococcus aureus</i> .....	48

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	SUSCEPTIBILIDAD ANTIMICROBIANA DE <i>Escherichia coli</i> .....	53
4.2	SUSCEPTIBILIDAD ANTIMICROBIANA DE <i>Staphylococcus aureus</i> .....	61
V.	CONCLUSIONES .....	69
VI.	RECOMENDACIONES .....	70
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	71
	ANEXOS.....	83

ÁREA: CIENCIAS BIOMÉDICAS

LÍNEA: DIAGNÓSTICO Y EPIDEMIOLOGÍA

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 19 DE DICIEMBRE DEL 2024





## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1	Embarcación recreativa del Malecón Los Incas de Puno..... 22
Figura 2	Mecanismos de resistencia bacteriana..... 32
Figura 3	Vista panorámica aérea de los puntos de muestreo (PM) en el Malecón Los Incas de la ciudad de Puno (norte [N] = círculo rojo; sur [S] = círculo amarillo). ..... 42
Figura 4	Embarcación recreativa del Malecón Los Incas de la ciudad de Puno y superficies de muestreo de pasamanos (flecha amarilla) y el timón (flecha roja)..... 42
Figura 5	Recolección de muestras de agua en la laguna del Malecón Los Incas de la ciudad de Puno. .... 83
Figura 6	Preparación de medios de cultivos para los aislamientos bacterianos..... 87
Figura 7	Aislamiento en cultivo puro de <i>Escherichia coli</i> y <i>Staphylococcus aureus</i> . ..... 88
Figura 8	Pruebas bioquímicas de catalasa y medios diferenciales en <i>Escherichia coli</i> y <i>Staphylococcus aureus</i> . ..... 88
Figura 9	Aislamientos en cultivo puro de <i>Escherichia coli</i> y <i>Staphylococcus aureus</i> y placas Petri con agar Mueller Hinton. .... 89
Figura 10	Preparación de las diluciones bacterianas equivalente al estándar 0.5 de McFarland..... 89
Figura 11	Preparación de antibiogramas con discos de antibióticos para la determinación de la susceptibilidad antimicrobiana en bacterias aisladas.90
Figura 12	Resultados de los diámetros de halos de inhibición en bacterias expuestas a discos con antibióticos..... 90



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1	Principales bacterias resistentes a los antibióticos. .... 36
Tabla 2	Distribución de muestras por zonas y meses de muestreo. .... 41
Tabla 3	Susceptibilidad antimicrobiana y diámetros de halos de inhibición (mm) sobre <i>Escherichia coli</i> . .... 47
Tabla 4	Susceptibilidad antimicrobiana y diámetros de halos de inhibición (mm) sobre <i>Staphylococcus aureus</i> ..... 51
Tabla 5	Sensibilidad de <i>Escherichia coli</i> a los antibióticos en las embarcaciones recreativas del Malecón Los Incas..... 53
Tabla 6	Resistencia antimicrobiana de <i>Escherichia coli</i> aislados desde las aguas del Malecón Los Incas ..... 57
Tabla 7	Susceptibilidad de <i>Staphylococcus aureus</i> a los antibióticos aislados de las embarcaciones recreativas del Malecón Los Incas ..... 62
Tabla 8	Susceptibilidad antimicrobiana de <i>Staphylococcus aureus</i> aislados de las aguas del Malecón Los Incas ..... 65
Tabla 9	Halos de susceptibilidad de <i>Escherichia coli</i> aisladas de las embarcaciones recreativas del Malecón Los Incas..... 83
Tabla 10	Halos de susceptibilidad de <i>Escherichia coli</i> aisladas de las aguas del Malecón Los Incas..... 84
Tabla 11	Halos de susceptibilidad de <i>Staphylococcus aureus</i> aisladas de las embarcaciones recreativas del Malecón Los Incas..... 84
Tabla 12	Halos de susceptibilidad de <i>Staphylococcus aureus</i> aisladas de las aguas del Malecón Los Incas..... 85



## ACRÓNIMOS

%:	porcentaje
°C:	grados centígrados
et al.:	y colaboradores
g:	gramo
mm:	milímetros
EMB:	Eosin metil blue (agar eosina azul de metileno)
MS:	manitol salado
ECA:	Estándar de calidad ambiental
LMP:	Límite máximo permisible
BLEE:	$\beta$ – lactamasas de espectro extendido
PTAR:	Planta de tratamiento de aguas residuales



## RESUMEN

Las embarcaciones recreativas del Malecón Los Incas de la ciudad de Puno acogen a visitantes nacionales e internacionales y las aguas de la laguna cuenta con afluencia de aguas residuales, ambos aspectos podrían ser fuente de origen y diseminación de bacterias resistentes a los antibióticos. En tal sentido el objetivo general fue evaluar la susceptibilidad antimicrobiana de *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* aisladas de embarcaciones recreativas y aguas del Malecón Los Incas de la ciudad de Puno. Para ello se evaluaron 24 muestras que procedieron de pasamanos y timones de la embarcación recreativa y las aguas del malecón. Fueron cultivados en agar EMB para aislar *Escherichia coli* y agar Manitol Salado para *Staphylococcus aureus*, luego se realizaron las pruebas bioquímicas. La susceptibilidad antimicrobiana se determinó mediante el método de Kirby Bauer. *Escherichia coli* tuvo una susceptibilidad antimicrobiana similar a los antibióticos en aislamientos de los pasamanos ( $X^2_c=11.50$ ;  $P=0.0741$ ) y timones ( $X^2_c=7.58$ ;  $P=0.2706$ ), respectivamente, de similar forma en aislamientos de las zonas sur ( $X^2_c=1.14$ ;  $P=0.7667$ ) y norte ( $X^2_c=5.45$ ;  $P=0.1419$ ). *Staphylococcus aureus* tuvo una susceptibilidad antimicrobiana similar a los antibióticos en aislamientos de los pasamanos ( $X^2_c=9.52$ ;  $P=0.1462$ ) y timones ( $X^2_c=3.13$ ;  $P=0.3719$ ), respectivamente; mientras tanto, en aislamientos de las zonas sur ( $X^2_c=17.33$ ;  $P=0.0081$ ) y norte ( $X^2_c=24.00$ ;  $P=0.0005$ ) fueron diferentes frente a los antibióticos. Se concluye que la sensibilidad de *E. coli* a los antibióticos evaluados fue similar tanto en los aislamientos provenientes de embarcaciones como en las aguas, mientras que *S. aureus* mostró diferente variabilidad frente a ampicilina, ceftazidima, tetraciclina y trimetoprima-sulfametoxazol.

**Palabras clave:** Antibióticos, *Escherichia coli*, Malecón Los Incas, *Staphylococcus aureus*, Susceptibilidad, Resistencia antimicrobiana.



## ABSTRACT

The recreational boats of the Malecón Los Incas in the city of Puno receive national and international visitors and the waters of the lagoon have an influx of wastewater, both aspects could be a source of origin and dissemination of bacteria resistant to antibiotics. In this sense, the general objective was to evaluate the antimicrobial susceptibility of *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* isolated from recreational boats and waters of the Malecón Los Incas in the city of Puno. For this purpose, 24 samples were evaluated that came from handrails and rudders of the recreational boat and the waters of the boardwalk. They were cultured in EMB agar to isolate *Escherichia coli* and Mannitol Salted agar for *Staphylococcus aureus*, then biochemical tests were performed. The antimicrobial susceptibility was determined by the Kirby Bauer method. *Escherichia coli* had a similar antimicrobial response to antibiotics in isolates from the handrails ( $X^2_c = 11.50$ ;  $P=0.0741$ ) and rudders ( $X^2_c = 7.58$ ;  $P=0.2706$ ), respectively, and similarly in isolates from the south ( $X^2_c = 1.14$ ;  $P=0.7667$ ) and north ( $X^2_c = 5.45$ ;  $P=0.1419$ ) zones. *Staphylococcus aureus* had a similar antimicrobial response to antibiotics in isolates from the handrails ( $X^2_c = 9.52$ ;  $P=0.1462$ ) and rudders ( $X^2_c = 3.13$ ;  $P=0.3719$ ), respectively; Meanwhile, in isolates from the southern ( $X^2_c = 17.33$ ;  $P=0.0081$ ) and northern ( $X^2_c = 24.00$ ;  $P=0.0005$ ) areas, they were different against antibiotics. It is concluded that the sensitivity of *E. coli* to the evaluated antibiotics was similar both in the isolates from vessels and in the waters, while *S. aureus* different variability against ampicillin, ceftazidime, tetracycline and trimethoprim-sulfamethoxazole.

**Keywords:** Antibiotics, *Escherichia coli*, Puno seawall, *Staphylococcus aureus*, Susceptibility, Antimicrobial resistance.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

*Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* aisladas de las aguas residuales se constituyen en fuentes antropogénicas de bacterias resistentes a los antibióticos portadoras de genes de resistencia, debido a que es un ambiente ideal para la transferencia horizontal de genes (Moreno et al., 2021). Por otro lado, Rocha et al. (2017) manifiestan que el agua de las plantas de tratamiento de aguas residuales fomenta la resistencia a los antibióticos a sus linajes filogenéticos mediante la transferencia vertical y en forma horizontal a microorganismos de su entorno. Se debe resaltar también que las bajas concentraciones de antibióticos en las aguas residuales no inhiben las bacterias, pero contribuyen a crear resistencias con facilidad, inclusive a originar resistencia cruzada a antibióticos de dos o más grupos antibacterianos denominadas también multirresistentes, inclusive reportándose bacterias extremadamente resistentes o panresistentes, las cuales no pueden ser tratadas con ningún antibiótico (Lood et al., 2017).

Por todo lo expuesto párrafos arriba, la investigación se realizó para estudiar la presencia de microorganismos bacterianos como *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* con probable resistencia a los antimicrobianos, en razón de que ambas bacterias son parte de la microbiota normal humana y estarían establecidos en los puntos de manipulación de las embarcaciones recreativas y de los cuerpos acuáticos contaminados por aguas residuales, como lo es el Malecón Los Incas de la ciudad de Puno, de tal modo que las autoridades de salud competentes deberán de tomar las medidas preventivas necesarias para mitigar la diseminación de bacterias con resistencia antimicrobiana.

En la investigación se evaluó la resistencia antimicrobiana que presentan las



bacterias aisladas desde las embarcaciones recreativas y las aguas de la laguna del Malecón Los Incas de la ciudad de Puno, en razón de que son alquiladas temporalmente por niños, jóvenes y adultos para realizar paseos en la laguna, y muchos de ellos son visitantes de la región, nacionales e internacionales, los cuales pueden ser portadores de microorganismos como *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* con fenotipos de resistencia antimicrobiana, constituyéndose en un reservorio de dispersión de dichos microorganismos. En el presente estudio, se reportan las respuestas antimicrobianas de las bacterias aisladas desde las agarraderas, el timón, los pasamanos entre otros puntos de manipulación de las embarcaciones recreativas y las aguas del Malecón Los Incas de la ciudad de Puno.

Por tales motivaciones la investigación tuvo los siguientes objetivos:

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

- Evaluar la susceptibilidad antimicrobiana de *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* aisladas de embarcaciones recreativas y aguas del Malecón Los Incas de la ciudad de Puno.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar la susceptibilidad antimicrobiana de *Escherichia coli* aisladas de embarcaciones recreativas y aguas del Malecón Los Incas de la ciudad de Puno.
- Determinar la susceptibilidad antimicrobiana de *Staphylococcus aureus* aisladas de embarcaciones recreativas y aguas del Malecón Los Incas de la ciudad de Puno.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 ANTECEDENTES

Husserl y Camero (2021), en la Universidad de Los Andes determinaron que el afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) fue portadora de Enterobacterias (*Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* y *Enterobacter cloacae*) resistentes a cefalexina, azitromicina, amoxicilina y ciprofloxacina.

Moreno et al. (2021), al caracterizar la microbiología de aguas servidas de la Chimborazo (Ecuador) obtuvieron coliformes con alto grado de multiresistencia en bacterias *Edwardsiella tarda*, *Salmonella paratyphi*, *Staphylococcus aureus* y *Shigella flexneri*, confirmando que la calidad sanitaria del agua se encuentra fuera de los parámetros microbiológicos, debido a la elevada concentración de coliformes y la presencia de especies bacterianas como *Escherichia coli*, *Edwardsiella tarda*, *Shigella flexneri*, *Klebsiella pneumoniae*, *Salmonella paratyphi*, *Pseudomona oryzihabitans* y *Staphylococcus aureus*.

Talavera et al. (2021), determinaron la prevalencia de los genes *qnrB*, *qnrA* y *blaTEM* en *Escherichia coli*, analizando 37 aislamientos bacterianos. Los resultados mostraron que la mayor resistencia se observó frente a tetraciclina (86.4 %), seguida de trimetoprim-sulfametoxazol (51.3 %), ampicilina y ácido nalidíxico (48.6 %). Además, se identifican los genes *qnrA* y *qnrB* en el 8,1 % y 29,7 % de las cepas, respectivamente.

Oliveira et al. (2020), reportan que las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) son las principales fuentes antropogénicas de determinantes de resistencia, pero





son escasos los estudios, de 35 aislamientos el 40.6 % fueron resistentes a penicilina, el 8.6 % a eritromicina y 2.8 % a quinolonas, fueron sensibles en el 57.1 % a clindamicina, asimismo 27 aislamientos produjeron penicilinasas, concluyendo que las PTAR son importantes difusoras de la resistencia al complejo antibiótico macrólido – lincosamida – estreptogramina B.

Romero (2020), en Bolívar (Ecuador) caracterizó la resistencia antimicrobiana de *Escherichia coli* aisladas de aguas residuales vertidas al río Chimbo, registrando cepas resistentes a antimicrobianos betalactámicos y la cefotaxima, concluyendo que el citado río posee una contaminación bacteriana de alto riesgo.

Zapata et al. (2020), manifiestan que el uso excesivo de los antibióticos y su traspaso a las aguas residuales y ecosistemas acuáticos, ocasionan alteraciones y afectan la salud pública a causa de la proliferación de bacterias resistentes a los antibióticos y sus genes de resistencia antimicrobiana.

Martínez et al. (2020), registran la persistencia de patotipos diarreicos de *Escherichia coli* y su resistencia a algunos antibióticos en las PTARs, lo cual podrían originar un desequilibrio en el medio acuático y afectar la salud humana, las cepas fueron sensibles 93 % a tetraciclina, 80 % a levofloxacino, gentamicina, amoxicilina, ceftriaxona y amikacina; 77 % a cloranfenicol; 68 % a ceftazidima; 65 % a cefotaxima, y 60 % a meropenem y trimetoprima/sulfametoxazol. Ninguna tuvo la capacidad de producir betalactamasas de espectro extendido (BLEE).

Araújo et al. (2020), en la Universidad de Piauí (Brasil), en los pasamanos de la rampa, las manijas del baño para varones de la biblioteca, manija y asientos del centro académico realizaron hisopados de sus superficies encontrando bacilos Gram negativos



y cocos Gram positivos, indicando presencia de *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*, por tanto, las personas que acuden a la universidad corren riesgo en su salud.

Cadillo et al. (2019), en el Servicio de Laboratorio del Hospital Cayetano Heredia, las ligaduras de toma de muestra presentaron el 100 % presencia bacteriana, 48.7 % contaminadas con una bacteria, 51.3 % contaminadas con 2 bacterias, entre las enterobacterias *Escherichia coli* fue la más prevalente, seguido de bacilos Gram negativos no fermentadores y coco Gram positivos, constituyéndose en una posible causa de contaminación en pacientes que acuden a la toma de muestra.

Arroyave et al. (2019), en Antioquia (Colombia) evaluaron ambientes y superficies de una clínica veterinaria, aislando 28 agentes bacterianos nosocomiales, entre ellas se citan a *Proteus sp*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Staphylococcus sp*, los cuales están relacionados con las infecciones asociadas a hospital veterinario.

Edipcia y Corrales (2019), determinaron que en 97 aislamientos de *Staphylococcus aureus* a partir de hisopados nasales, piel, tejidos blandos y aguas residuales, el 54 % portaba el gen *mecA* es decir eran *Staphylococcus aureus* resistentes a la meticilina (SARM), en su mayoría fueron resistentes fenotípicamente a oxacilina, el 4.1 % fueron portadores del gen *mecA*, pero sensibles a oxacilina, el 11 % fueron resistentes a oxacilina sin portar *mecA* y concluyeron que existe la presencia de cepas con resistencia a oxacilina en muestras clínicas, hisopados nasales y de aguas residuales.

Pérez (2019), en el Municipio de León (Nicaragua) logró determinar que *Escherichia coli* antibiótico resistente está presente en aguas residuales, donde el 8 % mostró multiresistencia a cefalosporinas, fenicoles, aminoglucósidos y carbapenémicos, el 92 % produjo enzimas BLEE, carbapenemasas en el 7 % y 1 % produjeron enzimas



tipo Amp-C.

Cordero (2018), en Puebla (México) manifiesta que el río Atoyac posee descargas industriales y domésticas, la carga microbiana es resistente a metales pesados como molibdeno, hierro, cobalto y cobre y reveló que *Escherichia coli* agente etiológico de procesos diarreicos es capaz de sobrevivir y tener resistencia a antibióticos y metales.

Amado (2018), manifiesta que el agua potable y agua cruda del distrito de Majes, presentó recuentos de coliformes totales y fecales de 0 NMP/100 ml a 4200 NMP/100 ml superando el LMP y el ECA categoría 1 – A1, identificándose a *Escherichia coli*, *Enterobacter aerogenes*, *Enterobacter agglomerans*, *Proteus mirabilis*, *Proteus vulgaris*, *Citrobacter diversus* y *Citrobacter freundii*.

Barreto et al. (2016), reportaron cepas de *Escherichia coli* enterotoxigénica con códigos de referencia A-1 (O149: K91: K88ac) y E68- I (O141: K85: K88ab) cultivadas en agar Mueller Hinton, evidenciando la capacidad que tiene el cobre en inducir antibiorresistencia bacteriana *in vitro*, otro aspecto que los productores deben considerar cuando emplean sales de este metal como promotores de crecimiento.

Herrera y Toribio (2012), en la ciudad de Cusco (Perú), evaluaron la calidad higiénico sanitaria de superficies de los puestos de expendio de alimentos y bebidas del mercado San Pedro, indicando que los recuentos bacterianos en el 82.2 % de las superficies inertes presentaron coliformes totales, 4.4 % presentó *Salmonella* sp y el 37.8 % presentaron *Staphylococcus aureus* en las manos de los trabajadores.

Seiler y Berendonk (2012), establecieron que cuando los metales pesados se acumulan en ambientes naturales a concentraciones críticas pueden desencadenar en las bacterias, selecciones que instauran tolerancia a los iones, la cual está emparejada con la



resistencia a los antibióticos.

Martínez et al. (2010), aislaron bacterias resistentes a antibióticos y a metales pesados en el río Almendares (Cuba) presentando resistencia a plomo y cromo (0.5, 1.0 y 1.5 mM), entre ellas las bacterias *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Staphylococcus*, *Acinetobacter*, *Bacillus* y *Neisseria*.

## 2.2 MARCO TEÓRICO

### 2.2.1 Bahía interior de Puno

La Bahía Interior de Puno es una pequeña porción del lago Titicaca, ubicada al sur de Perú, en Sudamérica, y aunque representa menos del 1 % de la superficie total del lago, aún ofrece importantes beneficios ambientales, a pesar de que su capacidad ecológica está sobrecargada (Loza et al., 2016). Además, tiene un gran valor para el ecoturismo. Esta área sufre el impacto del vertido de aguas residuales provenientes de la ciudad de Puno, lo que acelera el proceso de eutrofización. También se ve afectada por el tránsito de embarcaciones turísticas y la entrada ilegal de aguas residuales mezcladas con aguas pluviales. Estos factores de degradación alteran la estructura natural y el funcionamiento de los ecosistemas, afectando su capacidad para ofrecer bienes y servicios ecosistémicos, así como la llegada de turistas (Zilio et al., 2017).

Las aguas resultantes de actividades humanas contienen residuos que no corresponden a las condiciones normales del agua, lo que provoca la degradación de los cuerpos de agua cuando se vierten sin un tratamiento adecuado. El crecimiento urbano incrementa el consumo de agua, lo que a su vez genera un mayor volumen de aguas residuales que son descargadas en alcantarillados y

sistemas de drenaje (Costa, 2021). Estas aguas provienen de actividades domésticas como la limpieza, la preparación de alimentos, el uso de servicios higiénicos y el lavado de ropa, etc. Están compuestas principalmente por una mezcla de heces humanas y animales, agua gris y orina, por lo que contienen un alto nivel de materia orgánica, junto con compuestos químicos como detergentes lejía y microorganismos patógenos (Romero, 2020).

La presencia de *Escherichia coli* en aguas residuales es un problema actual ya que puede intercambiar genes que confieren alta resistencia a los antibióticos mediante mecanismos de transferencia horizontal. Los ambientes contaminados se convierten en focos de origen de bacterias resistentes, principalmente debido a la conjugación bacteriana, que facilita el intercambio de genes de resistencia a antimicrobianos y metales pesados (Coila, 2017).

### **2.2.2 Embarcaciones recreativas**

Es un medio de transporte acuático con un fondo cóncavo y varios componentes, incluyendo una cubierta que puede estar hecha de materiales como madera, metal, fibra de vidrio u otros que le permiten flotar en el agua. Estas embarcaciones son utilizadas para diversas actividades en ríos, mares o lagos. La clasificación de un barco depende de sus características físicas específicas y de la función para la cual fue diseñado, asegurando que pueda navegar de manera segura en el cuerpo de agua para el que fue construido. Abarcando desde veleros del siglo XIII tipo Bergantín, hasta barcos modernos de diversa resistencia, como cruceros o yates destinados a viajes recreativos (Frías, 2022).

## Figura 1

*Embarcaciones recreativas del Malecón Los Incas de Puno.*



**Fuente:** Elaboración propia.

### 2.2.3 *Escherichia coli*

#### 2.2.3.1 Clasificación taxonómica

Dominio:	Bacteria
Filo:	Proteobacteria
Clase:	Gammaproteobacteria
Orden:	Enterobacteriales
Familia:	Enterobacteriaceae
Género:	<i>Escherichia</i>
Especie:	<i>Escherichia coli</i> (Hold y Hendricks, 1994)



### 2.2.3.2 Características

*Escherichia coli* es un bacilo Gram negativo, anaerobio facultativo perteneciente a la familia Enterobacteriaceae. Forma parte del microbiota intestinal humana, generalmente permanece confinada en el lumen intestinal. En individuos inmunosuprimidos cuando superan las barreras gastrointestinales, las cepas de *Escherichia coli* pueden causar infecciones, provocadas en las superficies de las mucosas o diseminarse por todo el cuerpo causando enfermedades entéricas y diarreas (Tallón et al., 2005).

Para la identificación del grupo patógeno, Kauffman realizó el esquema de serotipificación, que incluye 112 flagelares (H), 176 antígenos somáticos (O), y 60 capsulares (K). El antígeno "O" determina el serogrupo, mientras que la identificación de los antígenos somático y flagelar (O) define el serotipo, el cual en ocasiones se asocia con un cuadro clínico específico (Myers et al., 2012).

Se han identificado seis grupos de *Escherichia coli* que son responsables de causar diarrea: enterohemorrágica (EHEC), enterotoxigénica (ETEC), adherencia difusa (DAEC), enteropatógena (EPEC), enteroagregativa (EAEC) y enteroinvasiva (EIEC). Las bacterias pueden ser aisladas e identificadas basándose en sus características bioquímicas o serológicas. Su patogenicidad se determina a través de cultivos celulares, modelos animales, y técnicas moleculares que detectan la presencia de genes implicados en estos mecanismos (Rodríguez, 2002).

*Escherichia coli*, constituye uno de los principales problemas de salud pública en los países en vías de desarrollo, especialmente entre los niños, lo que hace esencial un diagnóstico preciso (Toma et al., 2003).

### 2.2.3.3 Genes de resistencia de *Escherichia coli*

La resistencia está codificada por la expresión de enzimas que son regulados por varios genes, porinas, proteínas de membrana, mutaciones en la molécula diana y bombas de eflujo. Estudios recientes han identificado mutaciones específicas vinculadas a la resistencia, como *qnr*, *pmrB*, *glpT* y la variante *blaTEM* (C32T) (Ayzanoa, 2024).

Se han reportado estudios indicando que *E. scherichia coli* presenta diversas mutaciones en genes y regiones específicas las cuales desempeñan un papel crucial en la resistencia a diferentes antibióticos (Bhuta y Saeed, 2008; Mori et al., 2022). Entre estos, las mutaciones *qnr*, *pmrB* y *glpT* se han identificado como determinantes significativas de resistencia (Leekitcharoenphon, 2022; Phan et al., 2017). La mutación puntual del gen *gyrA*, que codifica la topoisomerasa II, ha sido asociado con resistencia a quinolonas (Vinue, 2018), mientras que *pmrB*, un regulador de la resistencia a polimixinas, ha demostrado influir en la capacidad de *Escherichia coli* para resistir a este tipo de antibióticos. Este último es conocido como droga de último recurso, es utilizado para tratamientos clínicos (Hooper y Jacoby, 2015).

El gen *glpT*, transportador de glicerol-3- fosfato, ha sido implicado en la resistencia a fosfomicina (Sharma et al., 2022). Además, la variante





*blaTEM* C32T del gen *blaTEM*, responsable de la producción de beta-lactamasas, se ha vinculado con la resistencia a betalactámicos debido a una variante en el promotor 3 (Silver, 2017).

## 2.2.4 *Staphylococcus aureus*

### 2.2.4.1 Clasificación taxonómica

Dominio:	Bacteria
Filo:	Bacillota
Clase:	Bacilli
Orden:	Bacillales
Familia:	Staphylococcaceae
Género:	<i>Staphylococcus</i>
Especie:	<i>Staphylococcus aureus</i> Rosenbach (1884)

### 2.2.4.2 Características

Está formado por cocos Gram positivos que tienen un diámetro de 0.5 a 1.5  $\mu\text{m}$ , pueden presentarse agrupadas en racimos. Estas bacterias no presentan movilidad, son anaerobias facultativas, no forman esporas ni poseen cápsula, sin embargo, algunas cepas son capaces de desarrollar una cápsula de limo. Son productores de catalasa, una enzima que descompone el peróxido de hidrógeno en agua y oxígeno libre, que permite diferenciar el género *Staphylococcus* de los géneros *Streptococcus* y *Enterococcus*. El género *Staphylococcus* incluye más de 30 especies, los cuales muchos son habitantes naturales de la piel y las membranas mucosas (Kuroda et al., 2001).



Los estafilococos crecen en medios químicos con glucosa, sales, ácido nicotínico, tiamina y aminoácidos. En medios con suplemento con pH de 4.8 a 9.4 y a temperaturas que oscilan de 25 y 43 °C. Presenta colonias amarillas que es un color característico de *Staphylococcus aureus* producto de los carotenoides, muchas cepas también presentan variantes no pigmentadas (dos Santo et al., 2007).

#### **2.2.4.3 Genes de resistencia de *Staphylococcus aureus***

El genoma de esta especie presenta una estructura circular con un tamaño aproximado de 2,8 megabases (Mb) y un contenido reducido de guanina y citosina (GC), que corresponde al 33 % del total. Este genoma incluye alrededor de 2600 marcos de lectura abiertos, que representan el 84.5 % del total del genoma (Washington, 2009). Las comparaciones genómicas indican que el 50 % de las proteínas codificadas en el cromosoma de *Staphylococcus aureus* son muy similares a las de *Bacillus subtilis*, determinando que ambos microorganismos compartieron un ancestro común. Una característica del genoma de *Staphylococcus aureus* es la presencia de numerosos elementos móviles, como plásmidos, secuencias de inserción y transposones, que contienen factores de virulencia y resistencia a diversos antimicrobianos que han ayudado a comprender los mecanismos de conjugación, transformación y transducción del material genético a través de plásmidos móviles (Kuroda et al., 2001).

Las infecciones nosocomiales causadas por cepas de *Staphylococcus aureus* resistentes a la meticilina (SAMR) son un grave



problema de salud global. Este microorganismo puede provocar una amplia gama de infecciones, como osteomielitis, endocarditis invasora, artritis séptica y septicemia. La capacidad de multirresistencia es un factor clave en la persistencia de los SAMR en el entorno hospitalario (Velásquez, 2005).

Existen varios tipos de transposones que presentan diferentes mecanismos de resistencia: el Tn551, que confiere resistencia a la eritromicina a través del gen *ermB*; el Tn4001, que proporciona resistencia a la kanamicina, tobramicina y gentamicina; y el Tn4003, concede resistencia a la trimetoprima. Además, el Tn552 lleva el operón *bla*, el cual que otorga resistencia a la penicilina mediante la producción de penicilinas. Por otro lado, el Tn554 se encuentra en el cromosoma de *S. aureus* resistente a la meticilina (MRSA) (Novick, 2003).

### **2.2.5 Resistencia a los antimicrobianos**

La resistencia es una estrategia de supervivencia que tienen los microorganismos para contrarrestar uno o más antimicrobianos, por medio de mecanismos que reducen la inhibición de los fármacos, este fenómeno afecta a bacterias, hongos, virus y protozoos. Sin embargo, la alta resistencia supera la capacidad de desarrollar nuevos fármacos y estrategias de prevención (Bisso, 2018).

Las bacterias utilizan diversos mecanismos para esquivar los efectos de los antibióticos, así como la inactivación de los antimicrobianos y modificación enzimática, la restricción de los fármacos a sus blancos celulares, y la



modificación o eliminación completa de estos blancos. Entre las enzimas de inactivación más relevantes se encuentran las betalactamasas que modifican los aminoglucósidos. La restricción del acceso a los antibióticos puede ocurrir mediante alteraciones en la permeabilidad de la membrana, como la inactivación de los canales de porina, la formación de bombas de eflujo o mecanismos que atrapan el agente antimicrobiano antes de que llegue a su blanco. La modificación del blanco celular se produce a través de mutaciones en genes específicos, la girasa y las topoisomerasas, para conferir resistencia a las fluoroquinolonas (Bisso, 2018).

Los genes de resistencia se transmiten horizontalmente entre microorganismos, incluso entre diferentes especies, ocurre a través de transposones, que son elementos genéticos móviles capaces de moverse dentro y fuera del cromosoma bacteriano. La transmisión de resistencia es especialmente frecuente entre las bacterias Gram negativas de la flora gastrointestinal. Además, el biofilm que se forma en las paredes de los catéteres no solo proporciona un entorno propicio para el crecimiento de flora colonizante, sino que también favorece el intercambio de mecanismos de resistencia entre los microorganismos presentes (Bisso, 2018).

#### **2.2.5.1 Mecanismos de resistencia**

Para que un antibiótico sea efectivo, debe ingresar a la bacteria, permanecer intacto hasta llegar a su objetivo y luego unirse al sitio específico donde ejercerá su acción. Las bacterias emplean varios mecanismos para evitar la acción del antibiótico, como reducir o impedir su entrada modificando la permeabilidad de la membrana, alterando el

transporte activo del antibiótico o generando mecanismos de expulsión activa. Si el antibiótico logra superar estas barreras, enfrenta sustancias como enzimas producidas por las bacterias que modifican su estructura e inactivan el fármaco (Scherer et al., 2016).

Las bacterias pueden alterar o modificar sus sitios de unión para los antibióticos, lo que impide que el fármaco ejerza su efecto. Así como *Staphylococcus aureus* resistente a la meticilina, el *Streptococcus pneumoniae* resistente a la penicilina y el *Enterococcus* multirresistente. Estos mecanismos de resistencia se desarrollan a través de cambios en la información genética de la bacteria, que pueden ser variaciones simples o modificaciones en grandes segmentos del genoma, como ocurre con los transposones. La bacteria es capaz de almacenar esta información para su uso futuro y también transferirla dentro de su especie u otras especies a través de plásmidos o bacteriófagos (Scherer et al., 2016).

#### 2.2.5.2 Principales mecanismos de resistencia

- **Bombas de eflujo:** Se encarga transportar al antimicrobiano hacia el exterior de la célula sin modificaciones y acción antimicrobiana. Para ello, la bacteria dispone de bombas de expulsión dependientes de energía, que pueden comportarse como sistemas de eliminación de uno o varios antibióticos (Abreu et al., 2011).
- **Modificación o inactivación del antibiótico mediante enzimas hidrolíticas:** Es el mecanismo más común de resistencia adquirida y consiste en la producción de enzimas que hidrolizan al



antimicrobiano (Tenover, 2006). Las bacterias son productores de enzimas que inactivan los antibióticos, siendo las betalactamasas las más relevantes. En las bacterias Gram positivas, las enzimas son plasmídicas, extracelulares e inducibles; mientras que, las Gram negativas, normalmente son plasmídicas o pueden ser derivadas de transposones que suelen ser constitutivas y localizadas en el periplasma. Las betalactamasas, son enzimas especializadas en la inactivación de antibióticos, logrando este efecto mediante la hidrólisis del anillo betalactámico. Asimismo, existen otras enzimas que modifican aminoglucósidos o que pueden inactivar el cloranfenicol, las tetraciclinas y los macrólidos (Cabrera et al., 2007).

- **Bloqueo de la penetración del antibacteriano mediante modificación del sitio activo:** Se traduce en una pérdida de la afinidad y por ende le impide ejercer su acción (Abreu, 2011).
- **Alteración o disminución de la permeabilidad de la membrana celular bacteriana:** Son los cambios en el diámetro y/o número de porinas que bloquean el ingreso del antimicrobiano a la bacteria, el cual no puede penetrar la superficie bacteriana y alcanzar el núcleo celular (Tenover, 2006). Es un mecanismo importante en las bacterias Gram negativas, pues poseen canales proteicos denominados porinas que permiten o impiden el paso de moléculas hidrofóbicas (Abreu, 2011). Las bacterias pueden alterar diversos objetivos para dificultar o impedir la acción de los antibióticos. Por



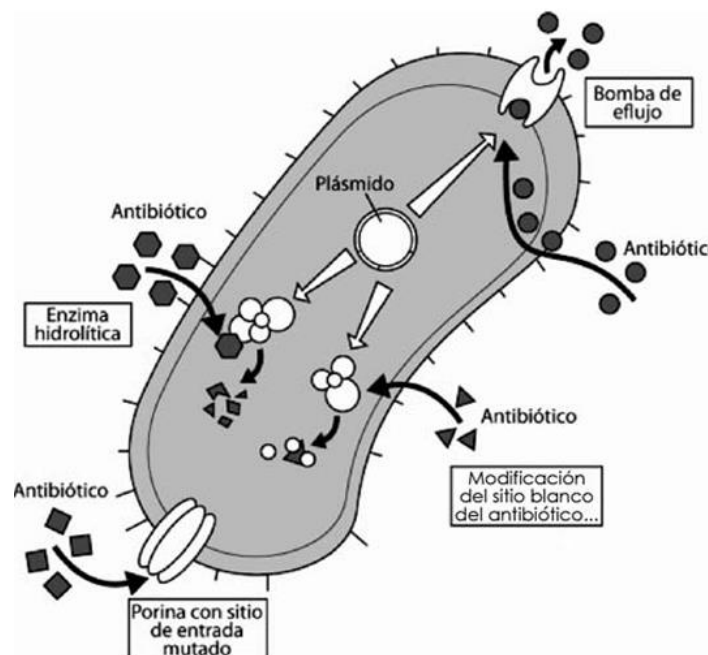
ejemplo, pueden modificar la ADN girasa para resistir las quinolonas, alterar el ARNr 23S para resistir los macrólidos, o cambiar las enzimas PBPs (proteínas fijadoras de penicilina) necesarias para la formación de la pared celular, lo que confiere resistencia a los betalactámicos. Además, una sola bacteria puede emplear varios mecanismos de resistencia contra uno o varios antibióticos, y un mismo antibiótico puede ser neutralizado por diferentes mecanismos en distintas especies bacterianas (Calvo y Martínez, 2009).

- **Biofilmes:** Las bacterias que forman biofilm están protegidas de la luz ultravioleta, la deshidratación, la acción de los antibióticos, los mecanismos de defensa del organismo como la fagocitosis y otras amenazas ambientales (Abreu et al., 2011).
- **Sobre expresión del sitio blanco o diana:** La duplicación génica a las mutaciones de los promotores implicados en la transcripción de estos genes, son probablemente el mecanismo responsable (Cabrera et al., 2007). La disminución o inactivación del antimicrobiano consiste en una serie de cambios estructurales y mecanismos desarrollados por las bacterias para evadir la acción que ejercen sobre ellas, los antibióticos, con lo que disminuyen las opciones farmacológicas para el tratamiento de los pacientes, generando resultados no satisfactorios en el tratamiento de las enfermedades infecciosas, y aumentando los días de hospitalización y mortalidad (Chaverri, 2014). Las bacterias

pueden generar mutaciones en las porinas de su pared celular, lo que impide la entrada de ciertos antibióticos, como los betalactámicos, o altera los sistemas de transporte para antibióticos como los aminoglucósidos en ambientes anaeróbicos. Además, algunas bacterias pueden expulsar el antibiótico mediante mecanismos de eflujo activo, evitando que el fármaco se acumule en niveles suficientes para ejercer su acción eficazmente (Calvo y Mateu, 2003).

**Figura 2**

*Mecanismos de resistencia bacteriana.*



Fuente: Moreno et al. (2009).

### 2.2.5.3 Enzimas responsables de la resistencia antimicrobiana

- Frente a los betalactámicos





Las bacterias pueden desarrollar tres mecanismos distintos de resistencia que, aunque son independientes, pueden actuar de manera sinérgica: cambios en la membrana externa, alteración de las enzimas diana (PBPs) y la producción de enzimas inactivantes (betalactamasas). Los antibióticos betalactámicos se unen a las enzimas para inhibir la formación de la pared. Las bacterias pueden modificar sus PBPs para no unirse al antibiótico y así lograr su resistencia. Las bacterias resistentes a meticilina en estafilococos, a betalactámicos en neumococos y enterococos, bacterias Gram negativas como y *Neisseria gonorrhoeae* *Haemophilus* puede ser resultado de alteraciones en las PBPs. Las modificaciones de la membrana externa, por sí sola, generalmente no es un mecanismo importante, pero se vuelve crucial cuando se combina con la producción de betalactamasas. Esto es especialmente relevante en bacterias Gram negativas, ya que los betalactámicos ingresan a través de las porinas, y su modificación o pérdida puede causar resistencia en especies como *Escherichia coli*, *Pseudomonas*, *Haemophilus* y *Neisseria gonorrhoeae* (Martín, 2002).

Las betalactamasas plasmídicas en bacterias Gram negativas son responsables de la resistencia y están muy extendidas, entre las enterobacterias. Alguna de las betalactamasas tiene un espectro ampliado, lo que les permite conferir resistencia a casi todos los antibióticos betalactámicos. Desde que se reconoció la importancia de estas enzimas, se han desarrollado inhibidores específicos, entre los cuales destacan compuestos como el ácido clavulánico, el sulbactam y el tazobactam (Astocondor, 2018).



### - **Frente a los aminoglucósidos**

Los aminoglucósidos son compuestos básicos con un peso molecular que varía entre 445 y 600 Da. Su eficacia antimicrobiana se ve reducida en ambientes ácidos y en presencia de cationes divalentes, lo que limita su actividad en secreciones bronquiales, necrosis tisular, abscesos y en presencia de grandes cantidades de material orgánico. Además, los betalactámicos pueden inactivar químicamente los aminoglucósidos, como tobramicina y gentamicina. Aunque esta inactivación ocurre durante varias horas en condiciones *in vitro*, su relevancia clínica parece ser limitada (Gilbert, 2000).

Los aminoglucósidos exhiben un efecto postantibiótico tanto contra bacterias Gram positivas como Gram negativas. La duración de este efecto aumenta con la dosis administrada. La duración del efecto postantibiótico varía según la bacteria y puede oscilar entre 0.5 y 7.5 horas para los aminoglucósidos. Además, la presencia de neutrófilos suele duplicar la duración de este efecto contra bacilos Gram negativos (Tumbarello et al., 2012).

### - **Frente a las quinolonas**

Se basa principalmente en la inhibición de la síntesis de ADN bacteriano, lo que lleva a la muerte rápida de las células bacterianas. Este efecto se produce al bloquear la subunidad A de la ADN girasa (topoisomerasa II), que es una enzima bacteriana crucial compuesta por dos subunidades, A y B, codificadas por los genes *gyrA* y *gyrB*. Es clave



en el grupo de las topoisomerasas, que son esenciales para la replicación del ADN (De la Fuente et al., 2007).

Las quinolonas tienen efecto inhibitorio en la actividad de la topoisomerasa IV, una enzima compuesta por dos subunidades codificadas por los genes *parC* y *parE*. Tanto la topoisomerasa IV como la ADN girasa tienen similitudes estructurales, pero desempeñan funciones diferentes en la replicación del ADN bacteriano. La topoisomerasa IV es responsable de separar las moléculas de ADN entrelazadas, que son los productos finales de una ronda de replicación, permitiendo así su segregación en las células hijas. Por otro lado, la ADN girasa y la topoisomerasa IV tienen roles distintos pero complementarios en el proceso de replicación del ADN bacteriano (De la Fuente et al., 2007).

En muchas bacterias Gram negativas, la ADN girasa es el principal objetivo de las quinolonas, mientras que en las bacterias Gram positivas es la topoisomerasa IV (Álvarez et al., 2015). Es posible que los mecanismos de reparación del daño en el ADN causado por las quinolonas involucren productos genéticos relacionados con la reparación y el sistema recombinante, ya que la expresión de estos mecanismos se sabe que se induce en respuesta al daño del ADN bacteriano. Los mutantes con funciones defectuosas en estos sistemas muestran una alta sensibilidad a la muerte por quinolonas (Sanders, 2001).

**Tabla 1***Principales bacterias resistentes a los antibióticos.*

<b>Bacterias</b>	<b>Antibióticos</b>
<i>Escherichia coli</i>	Quinolonas, Ampicilina, Trimetroprima-Sulfametoxazol, Clindamicina, Amoxicilina/Sulbactam, Cefalosporinas, Ácido Nalidixico
<i>Enterococcus sp</i>	Ampicilina, Aminoglucósidos, Ciprofloxacina, Cefalosporinas, Vancomicina,
<i>Staphylococcus aureus</i>	Macrólidos, Penicilina, Sulfametoxazol-Trimetroprima, Oxacilina, Ampicilina, Levofloxacina, Ciprofloxacina, Gentamicina, Clindamicina, Cefalexina, Vancomicina, Ampicilina/Sulbactam,
<i>Staphylococcus epidermis</i>	Levofloxacino, Clindamicina, Cefalexina, Linezolid, Oxacilina,
<i>Streptococcus pneumoniae</i>	Betalactámicos, Tetraciclina, Penicilina, Fluoroquinolonas, Sulfametoxazol - Trimetoprima, Aminoglucósidos, Eritromicina, Cloranfenicol,
<i>Streptococcus pyogenes</i>	Sulfonamidas, Aminoglucósidos, Macrólidos. Betalactámicos.
<i>Streptococcus agalactiae</i>	Aminoglucósidos, Vancomicina,
<i>Acitenobacter sp</i>	Amikacina, Meropenem, fluoroquinolonas, Aminoglucósidos, Sulfametoxazol-Trimetroprima, Imipenem, Tetraciclinas, Macrólidos, Gentamicina, Clindamicina.
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Cefalosporinas tercera generación, Macrólidos, Quinolonas, Carbapenémicos, Tetraciclinas, Penicilina, Aminoglucósidos.
<i>Klebsiella neumoniae</i>	Gentamicina, Cefalosporinas, Amikacina, Carbapenémicos, Ampicilina,
<i>Neisseria gonorrhoeae</i>	Cefalosporinas, Fluoroquinolonas, Macrólidos, Carbapenémicos.
<i>Micobacterium tuberculosis</i>	Linezolid, Carbapenémicos, Penicilinas, Estreptomina, Cefalosporinas.
<i>Clostridium perfringes</i>	Cloranfenicol, Penicilina, Clindamicina.
<i>Haemophilus influenzae</i> y <i>Moraxella catarrhalis</i>	Macrólidos, Betalactámicos.
<i>Shigella sp</i>	Cloranfenicol, Ampicilina,
<i>Proteus sp</i> y <i>Salmonella sp</i>	Ciprofloxacino.

Fuente: Calderón y Aguilar (2016).

### 2.2.6 Susceptibilidad de una bacteria a un antibiótico

La susceptibilidad de una bacteria a un antibiótico se refiere a la capacidad del antimicrobiano para inhibir el crecimiento o destruir al microorganismo a concentraciones que se pueden alcanzar de manera segura en el sitio de infección durante el tratamiento. Esta susceptibilidad se mide mediante pruebas *in vitro*, como la determinación de la concentración inhibitoria mínima (CIM), y se interpreta en función de puntos de corte definidos por organismos reguladores. Las bacterias se clasifican como susceptibles cuando la CIM del antibiótico está por debajo del punto de corte establecido, indicando que el fármaco probablemente será efectivo en un contexto clínico (Murray et al., 2021).

#### - Susceptibilidad antibiótica

El método de difusión en placa que se emplea para microorganismos que crecen rápidamente. Consiste en colocar discos impregnados con antibiótico sobre placas de agar que han sido inoculadas con el microorganismo de interés. Tras la incubación, se mide el diámetro de la zona de inhibición alrededor de cada disco. El tamaño de esta zona varía según la combinación del microorganismo y el antibiótico, lo que permite clasificar la sensibilidad como S (sensible), I (intermedio) o R (resistente) (PAHO, 2017). Los diámetros de inhibición, expresados en milímetros, están estandarizados para cada antimicrobiano (Picazo, 2000).

El antibiograma es útil para predecir la resistencia de las bacterias resistente a antimicrobianos comunes. Se aplica a una amplia gama de bacterias, especialmente aquellas de crecimiento aeróbico y no exigentes como



Enterobacteriaceae, *Pseudomonas* spp, *Burkholderia cepacia*, *Enterococcus* spp, *Acinetobacter* spp, *Stenotrophomonas maltophilia*, *Staphylococcus* spp, también puede aplicarse a *Neisseria gonorrhoeae*, *Streptococcus pneumoniae*, *Haemophilus* spp y *Streptococcus* spp (Picazo, 2000).

El método de difusión en disco, permite evaluar la susceptibilidad a un solo antimicrobiano, y se puede usar para analizar el efecto combinado de diferentes agentes antimicrobianos. Aunque este método cualitativo con menos precisión sigue siendo una de las técnicas empleadas para determinar la susceptibilidad antimicrobiana en los laboratorios clínicos. Es adecuado para estudiar la susceptibilidad de la mayoría de las bacterias patógenas en humanos, incluidas las más difíciles de tratar, y puede aplicarse a una amplia gama de antimicrobianos (Vázquez, 2022; Araya et al., 2015). Los resultados generalmente se informan de una de la siguiente manera:

- **Sensibilidad antimicrobiana (S):** Refleja el grado en que una bacteria es susceptible al antibiótico al que está expuesta, lo cual se observa a través de los halos de inhibición formados alrededor de los discos de antibióticos. Estos halos indican que la bacteria no puede proliferar en esa área (Sánchez et al., 2012). Por lo tanto, la cepa si puede ser tratada exitosamente con la dosis recomendada del antimicrobiano para la especie bacteriana y sitio de infección (Vásquez, 2022). La susceptibilidad de una colonia a un antibiótico se determina mediante su concentración mínima inhibitoria (CMI). Si la CMI está por debajo del pico máximo de absorción de la droga (PMAD), la cepa se considera sensible (Herrera y Marco, 2004).



- **Respuesta intermedia (I):** Representan un estado intermedio entre sensible y resistente; sin embargo, se clasifican como resistentes al ser expuestas a los antibióticos cuando cepa resistente tiene una CMI superior al PMAD, mientras que una cepa intermedia tiene una CMI cercana al PMAD (Herrera y Marco, 2004).
- **Resistencia antimicrobiana (R):** Indica que el antibiótico en cuestión no será efectivo para tratar una infección, ya que la bacteria no será erradicada por dicho tratamiento. Por lo que han desarrollado resistencia mediante mutaciones genéticas, genes de resistencia a través de plásmidos, transposones e integrones (Van Hoek et al., 2011). Las bacterias resistentes a los antibióticos a menudo poseen mecanismos de detoxificación y destrucción enzimática, mientras que las bacterias tolerantes muestran indiferencia hacia la presencia o ausencia del antibiótico en su entorno. La resistencia a los antibióticos se basa la disminución de la permeabilidad de la membrana, y la inactivación del fármaco (Baker et al., 2006).



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 ZONA DE ESTUDIO

La investigación se realizó en el Malecón Los Incas de la ciudad de Puno, ubicada sobre los 3809 msnm, al margen izquierdo del Puerto Principal a orillas del lago Titicaca. Es un lugar turístico y en sus aguas existen embarcaciones recreativas a pedal que poseen un timón utilizado para direccionar la embarcación y de pasamanos, a manera de lanchas adornadas para realizar paseos cortos en la laguna, es un lugar muy concurrido mayormente en épocas de festividades y feriados largos.

#### 3.2 DISEÑO Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de investigación fue observacional, en razón que recolectaron muestras de hisopados en las embarcaciones recreativas y muestras de agua de la laguna del Malecón Los Incas de la ciudad de Puno, a partir de estas muestras se aislaron las bacterias y fueron expuestos a discos de sensibilidad.

Fue de tipo descriptivo, porque se registraron los diámetros de halos de inhibición que originaron los discos de sensibilidad con antibióticos sobre el crecimiento de *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*, en un tiempo de 24 horas (Hernández et al., 2014).

#### 3.3 POBLACIÓN Y TAMAÑO DE MUESTRA

El muestreo realizado en la investigación fue no probabilístico por conveniencia (Casal y Mateu, 2003), y estuvo conformado por las embarcaciones recreativas y las aguas de la laguna del Malecón Los Incas de la ciudad de Puno.



**Población.** El número total de embarcaciones recreativas luego de realizar la observación *in situ* fueron de 36, de los cuales aplicando un muestreo no probabilístico se eligieron por conveniencia 12 embarcaciones. En cada punto de muestreo (pasamanos y timones) se colectaron 6 muestras. Del mismo modo el número de muestras de agua que se colectaron en la laguna del Malecón Los Incas, en las zonas sur y norte fueron de 6 muestreos, respectivamente. Se indica también que los resultados promedios fueron obtenidos luego de realizar 2 repeticiones, tal como se presenta los resultados completos en Anexos (Tablas 9 – 12).

**Tabla 2**

*Distribución de muestras por zonas y meses de muestreo.*

Meses de muestreo 2023	Embarcaciones recreativas		Agua de la laguna		Total
	Pasamanos	Timones	Zona norte	Zona sur	
	Mayo	2	2	2	
Junio	2	2	2	2	8
Julio	2	2	2	2	8
Total	6	6	6	6	24

Fuente: Elaboración propia.

**Volumen de agua.** Se colectaron 750 ml de agua en frascos de vidrio de boca ancha de 1 litro de volumen, previamente esterilizados en una autoclave, a una profundidad entre los 10 y 15 cm aproximadamente.

### Figura 3

Vista panorámica aérea de los puntos de muestreo (PM) en el Malecón Los Incas de la ciudad de Puno (norte [N] = círculo rojo; sur [S] = círculo amarillo).



Fuente: Elaboración propia.

**N° de hisopados.** Se realizaron tres hisopados en cada punto de muestreo (pasamanos y timón – Figura 4), los cuales fueron transportados en tubos de ensayo conteniendo suero fisiológico previamente esterilizados (Izzeddin et al., 2017).

#### Figura 4

*Embarcación recreativa del Malecón Los Incas de la ciudad de Puno y superficies de muestreo de pasamanos (flecha amarilla) y el timón (flecha roja).*



Fuente: Elaboración propia.

**Hora del muestreo.** La hora de muestreo de agua y en las embarcaciones recreativas fueron entre las 10 am y las 2 pm.

**Puntos y zonas de muestreo.** Las coordenadas de las zonas de muestreo en la zona norte (N) fueron: 15°49'52.6" latitud Sur y 70°01'00.9" longitud oeste. Y en la zona sur (S) fueron 15°50'04.5" latitud sur y 70°01'00.4" longitud oeste, tal como se muestra en la Figura 3.

En las embarcaciones los puntos de muestreo fueron los pasamanos y los timones con un total de 6 muestras en cada punto. Las muestras de agua colectadas de las zonas



sur y norte de la laguna, se ejecutaron en tres meses consecutivos, haciendo un total de 24 unidades experimentales, tal como se muestra en la siguiente Tabla 2:

### **3.4 DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD ANTIMICROBIANA DE *Escherichia coli***

#### **3.4.1 Aislamiento de *Escherichia coli***

##### **3.4.1.1 Método**

Cultivo *in vitro* en agar Eosin Metil Blue (EMB).

##### **3.4.1.2 Fundamento**

El agar EMB, es utilizado para el aislamiento selectivo de enterobacterias y otras especies de bacilos Gram negativos, donde se diferencian debido a la capacidad de metabolizar la lactosa y/o sacarosa, dada por los indicadores eosina y azul de metileno que ejercen un efecto inhibitorio sobre las bacterias Gram positivas y *Escherichia coli* originando un característico brillo metálico (Mendo, 2003).

##### **3.4.1.3 Procedimiento**

**Preparación de tubos e hisopos de muestreo.** En el laboratorio se prepararon tubos de ensayo con 1 ml de suero fisiológico que contenía un hisopo, todo este material fue debidamente esterilizado. Una vez ubicado en la embarcación se retiró el hisopo embebido en suero fisiológico, para luego realizar el hisopado del pasamano y timón y regresarlo al tubo de ensayo con suero fisiológico, a continuación, se dispuso en una caja de Tecnopor pequeña acondicionada con bolsas de



hielo para finalmente ser trasladados al laboratorio. Este procedimiento se realizó en todas las embarcaciones evaluadas del Malecón Los Incas (Baranda et al., 2020).

**Recolección de muestras de agua.** Las muestras de agua fueron colectadas en frascos de vidrio de boca ancha previamente esterilizados de un litro de volumen, ubicados en el punto de muestreo, se retiró la tapa con mucho cuidado, primeramente, se realizó el enjuague del frasco de vidrio con la misma muestra de agua a coleccionar, luego se sumergió el frasco a una profundidad de 10 a 15 cm, y se colectó  $\frac{3}{4}$  partes del frasco (ANA y MINAGRI, 2016).

**Cultivo de las muestras de hisopado y agua.** Las muestras colectadas en hisopos fueron directamente cultivadas por agotamiento sobre placas Petri conteniendo agar EMB; mientras tanto que las muestras de agua también fueron cultivadas en el mismo medio de cultivo, pero por extensión, transfiriendo 0.1 ml de la muestra, dispuestas sobre la superficie del agar y difundidas con un asa de Drigalsky estéril. Posteriormente se incubó por 48 horas y 37 °C en una estufa microbiológica.

Luego del tiempo de incubación, las colonias de *Escherichia coli* fueron aisladas hasta cultivo puro. De manera preliminar fueron aquellas colonias verdosas con brillo metálico y centro negro azulado, seguidamente se realizó la tinción Gram y las pruebas bioquímicas de TSI, LIA, CS y SIM para la identificación definitiva (Mendo, 2003).



### **3.4.2 Evaluación de la susceptibilidad antimicrobiana en *Escherichia coli***

#### **3.4.2.1 Método**

Difusión en agar con discos de sensibilidad o antibiograma (Kirby Bauer).

#### **3.4.2.2 Fundamento**

En el método de Kirby Bauer, cada microorganismo es inoculado en la superficie de una placa de agar Mueller Hinton, sobre ellos se dispone de discos con concentraciones conocidas de antibiótico, los que se difunden radialmente en el agar, en un punto determinado, la concentración del antibiótico inhibe al germen en estudio y los diámetros pueden presentarse en las categorías de sensible, intermedio o resistente de acuerdo a tablas publicadas por el INS (Sacsquispe y Velásquez, 2002).

#### **3.4.2.3 Procedimiento**

De las colonias identificadas como *Escherichia coli* en agar EMB (Eosin Metil Blue), se transfirió con un asa de siembra parte de una colonia hacia los tubos conteniendo suero fisiológico, hasta lograr la turbidez equivalente al estándar de McFarland 0.5 que contenía aproximadamente  $1.5 \times 10^8$  células/ml, seguidamente con un hisopo estéril se realizó el cultivo en una placa Petri conteniendo agar Mueller Hilton, difundiendo a la bacteria en toda la superficie.



A continuación, se colocaron en forma aséptica los discos de sensibilidad antimicrobiana: ampicilina, ceftazidima, tetraciclina y trimetoprim – sulfametoxazol.

Los cultivos se incubaron durante 48 horas a una temperatura de 37 °C. La susceptibilidad antibacteriana fue determinada con la medida del diámetro de inhibición producido alrededor de cada disco de antibióticos, y contrastados con los diámetros estándares del Manual de Antibiograma del INS (Sacsquispe y Velásquez, 2002). Todos los ensayos se realizaron por triplicado. Los resultados a obtener fueron respuesta sensible, intermedia y resistente a los antibióticos, según los diámetros que originaron sobre el crecimiento *in vitro* de *Escherichia coli* (Tabla 3).

**Tabla 3**

*Susceptibilidad antimicrobiana y diámetros de halos de inhibición (mm) sobre Escherichia coli.*

Susceptibilidad antimicrobiana	Diámetros de halos (mm)			
	Ampicilina	Ceftazidima	Tetraciclina	Trimetoprim - sulfametoxazol
Sensible	>17	>23	>19	>16
Intermedia	14-16	15-22	15-18	11-15
Resistente	<13	<14	<14	<10

Fuente: Instituto Nacional de Salud (2002).



### 3.4.3 Análisis estadístico de datos

Para determinar la relación entre la susceptibilidad antimicrobiana de las bacterias y los antibióticos según puntos de muestreo se realizó pruebas de chi cuadrado, con un nivel de confianza del 95 % en el software estadístico Infostat versión libre.

## 3.5 DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD ANTIMICROBIANA DE *Staphylococcus aureus*

### 3.5.1 Aislamiento de *Staphylococcus aureus*

#### 3.5.1.1 Método

Cultivo *in vitro* en agar Manitol Salado (MS).

#### 3.5.1.2 Fundamento

El agar MS contiene peptonas como fuente de proteínas y extractos de carne bovina, los que suministran nutrientes esenciales para el crecimiento bacteriano, asimismo posee una concentración de cloruro sódico de 7.5 % que inhibe parcial o completamente a los organismos bacterianos diferentes a estafilococos (Mendo, 2003).

#### 3.5.1.3 Procedimiento

**Hisopado de material inerte.** En el laboratorio se prepararon tubos de ensayo con 1 ml de suero fisiológico que contenía un hisopo, todo este material fue debidamente esterilizado. Una vez ubicado en la embarcación se retiró el hisopo embebido en suero fisiológico, luego se realizó el hisopado del pasamano y timón, seguidamente se regresó al tubo





de ensayo con suero fisiológico, a continuación, se dispuso en una caja de Tecnopor pequeña acondicionada con bolsas de hielo para finalmente ser trasladados al laboratorio. Este procedimiento se realizó en todas las embarcaciones evaluadas del Malecón Los Incas (Baranda et al., 2020).

**Recolección de muestras de agua.** Las muestras de agua fueron colectadas en frascos de vidrio de boca ancha previamente esterilizados de un litro de volumen, ubicados en el punto de muestreo, se retiró la tapa con mucho cuidado, primeramente, se realizó el enjuague del frasco de vidrio con la misma muestra de agua a colectar, luego se sumergió el frasco a una profundidad de 10 a 15 cm, y se colectó  $\frac{3}{4}$  partes del frasco (ANA y MINAGRI, 2016).

**Cultivo de las muestras de hisopado y agua.** Las muestras colectadas en hisopos fueron cultivadas por agotamiento sobre placas Petri conteniendo agar Manitol Salado; mientras tanto que las muestras de agua también fueron cultivadas en el mismo medio de cultivo, pero por extensión, transfiriendo 0.1 ml de la muestra, dispuestas sobre la superficie del agar y difundidas con un asa de Digralsky estéril. Posteriormente se incubó por 48 horas y 37 °C en una estufa microbiológica.

Luego del tiempo de incubación, las colonias de *Staphylococcus aureus* fueron aisladas hasta cultivo puro. La identificación preliminar fue la de ser colonias que realicen el viraje de color del medio de cultivo de rojo a amarillo, asimismo se realizó la tinción Gram para observar la morfología bacteriana, asimismo se realizaron pruebas bioquímicas de coagulasa y catalasa para la identificación definitiva (Mendo, 2003).



### 3.5.2 Evaluación de la susceptibilidad antimicrobiana de *Staphylococcus aureus*

#### 3.5.2.1 Método

Difusión en agar con discos de sensibilidad o antibiograma disco – placa (Kirby Bauer).

#### 3.5.2.2 Fundamento

El método Kirby Bauer, se recomienda para determinar la susceptibilidad bacteriana a los antimicrobianos, el cual consiste en depositar microorganismos en la superficie del agar de una placa de Petri, a continuación, se dispone los discos de papel secante impregnados con los diferentes antibióticos. Con este procedimiento el antibiótico se difunde radialmente sobre el agar a partir del disco formándose un gradiente de concentración (Sacsquispe y Velásquez, 2002).

#### 3.5.2.3 Procedimiento

De las colonias identificadas como *Staphylococcus aureus* en agar Manitol Salado, se transfirió con un asa de siembra parte de una colonia hacia los tubos conteniendo suero fisiológico, hasta lograr la turbidez equivalente al estándar de McFarland 0.5 que contenía aproximadamente  $1.5 \times 10^8$  células/ml, seguidamente con un hisopo estéril se realizó el cultivo en una placa Petri conteniendo agar Mueller Hilton, difundiendo a la bacteria en toda la superficie.

A continuación, se colocaron en forma aséptica los discos de sensibilidad antimicrobiana: oxacilina, ciprofloxacina, tetraciclina y trimetoprim – sulfametoxazol.

Los cultivos se incubaron durante 48 horas a una temperatura de 37 °C. La susceptibilidad antibacteriana fue determinada con la medida del diámetro de inhibición producido alrededor de cada disco de antibióticos, y contrastados con los diámetros estándares del Manual de Antibiograma del INS (Sacsquispe y Velásquez, 2002). Todos los ensayos se realizaron por triplicado. Los resultados obtenidos fueron respuesta sensible, intermedia y resistente a los antibióticos, según los diámetros que originaron sobre el crecimiento *in vitro* de *Staphylococcus aureus* (Tabla 4).

**Tabla 4**

*Susceptibilidad antimicrobiana y diámetros de halos de inhibición (mm) sobre Staphylococcus aureus.*

Susceptibilidad antimicrobiana	Diámetros de halos (mm)			
	Oxacilina	Ciprofloxacina	Tetraciclina	Trimetoprim - sulfametoxazol
Sensible	>13	>21	>19	>16
Intermedia	11-12	16-20	15-18	11-15
Resistente	<10	<15	<14	<10

Fuente: Instituto Nacional de Salud (2002).



### 3.5.3 Análisis estadístico de datos

Para determinar la relación entre la susceptibilidad antimicrobiana de *Staphylococcus aureus* y los antibióticos según zonas de muestreo se realizó pruebas de chi cuadrado, con un nivel de confianza del 5% en el software estadístico Infostat versión libre.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 SUSCEPTIBILIDAD ANTIMICROBIANA DE *Escherichia coli*

##### 4.1.1 *Escherichia coli* aislados de embarcaciones recreativas

**Tabla 5**

*Sensibilidad de Escherichia coli a los antibióticos en las embarcaciones recreativas del Malecón Los Incas.*

Puntos de muestreo	Susceptibilidad antimicrobiana	Antibióticos							
		Ampicilina		Ceftazidima		Tetraciclina		Trim-Sulfa	
		N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
Pasamanos	Sensible	4	66.67	6	100.00	5	83.33	1	16.67
	Intermedia	2	33.33	0	0.00	1	16.67	4	66.67
	Resistente	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	16.67
Total		6	100.00	6	100.00	6	100.00	6	100.00
$X^2_c = 11.50$ ; gl = 6; P = 0.0741									
Timones	Sensible	4	66.67	5	83.33	6	100.00	4	66.67
	Intermedia	0	0.00	1	16.67	0	0.00	0	0.00
	Resistente	2	33.33	0	0.00	0	0.00	2	33.33
Total		6	100.00	6	100.00	6	100.00	6	100.00
$X^2_c = 7.58$ ; gl = 6; P = 0.2706									

Donde: Trim-Sulfa = Trimetoprim – Sulfametoxazol.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5 se presentan las respuestas de susceptibilidad antimicrobiana de *Escherichia coli* aisladas de las embarcaciones recreativas del Malecón Los Incas. En bacterias aisladas de los pasamanos se presentaron 4 casos (66.67 %) de respuesta sensible y 2 casos (33.33 %) de respuesta intermedia; mientras tanto, en



aquellas aisladas de los timones 4 (66.67 %) fueron sensibles y 2 (33.33 %) fueron resistentes.

Ante la ceftazidima, todas las bacterias aisladas fueron sensibles al antibiótico en muestras procedentes del pasamanos; mientras que, en muestras procedentes de los timones, 5 (83.33 %) resultaron sensibles y un aislamiento (16.67 %) resultó con respuesta intermedia.

Frente a la tetraciclina, en aislamientos del pasamanos, 5 (83.33 %) resultaron sensibles y un aislamiento (16.67 %) resultó con respuesta intermedia al antibiótico; por otro lado, todos los aislamientos (100 %) de los timones resultaron sensibles.

Con discos de trimetoprim-sulfametoxazol, en aislamientos procedentes de pasamanos 4 (66.67 %) mostraron respuesta intermedia y uno (16.67 %) con respuesta sensible y resistente, respectivamente; en aquellas aisladas de los timones, 4 (66.67 %) resultaron con respuesta sensible y 2 (33.33 %) con respuesta resistente al antibiótico.

Luego de realizar la prueba de chi cuadrado, se determinó que la variable antibiótico y la variable susceptibilidad antibacteriana en *Escherichia coli* no están relacionadas tanto en bacterias aisladas desde los pasamanos ( $X^2_c = 11.50$ ;  $gl = 6$ ;  $P = 0.0741$ ) o desde los timones ( $X^2_c = 7.58$ ;  $gl = 6$ ;  $P = 0.2706$ ) de las embarcaciones recreativas del Malecón Los Incas, por lo tanto, no hay una relación significativa entre los antibióticos y la susceptibilidad bacteriana, es decir que las bacterias originan similares respuestas de susceptibilidad frente a los antibióticos.



En la presente investigación, dentro de las bacterias aisladas de los pasamanos, se encontró la resistencia de un aislamiento frente a trimetoprim – sulfametoxazol; mientras tanto que, desde los timones, se registraron cuatro aislamientos resistentes, dos a ampicilina y 2 a trimetoprim – sulfametoxazol. Asimismo, el análisis de los hisopados realizados en los pasamanos reveló que *Escherichia coli* mostró una respuesta intermedia frente a diversos antibióticos, de los cuales dos aislamientos presentaron esta respuesta ante ampicilina, un aislamiento ante tetraciclina y cuatro aislamientos frente a trimetoprima-sulfametoxazol.; y un aislamiento con respuesta intermedia a ceftazidima, en hisopados de timones de las embarcaciones recreativas.

Los resultados obtenidos en la presente investigación fueron similares a los obtenidos por Araújo et al. (2020) quienes, en pasamanos de las rampas, manijas de baños de la biblioteca, manijas y asientos del centro académico de la Universidad de Piauí (Brasil) lograron aislar bacilos Gram negativos indicados como *Escherichia coli*, por tanto, las personas asistentes estarían expuestas a riesgos para su salud. De similar forma coinciden con Arroyave et al. (2019) quienes al evaluar ambientes y superficies de la clínica veterinaria en Antioquía (Colombia), aislaron agentes bacterianos nosocomiales, entre ellas *Proteus* sp y *Pseudomonas aeruginosa*, que estarían relacionados con las infecciones asociadas a un hospital veterinario. Por otro lado, también Cadillo et al. (2019), en el Servicio de Laboratorio del Hospital Cayetano Heredia, registraron que las ligaduras de toma de muestra presentaron el 100 % presencia bacteriana, con presencia de *Escherichia coli* como la más prevalente, siendo una posible causa de contaminación en pacientes que acuden a la toma de muestra.



En la investigación, *Escherichia coli* resultó con aislamientos resistentes a trimetoprim – sulfametoxazol y ampicilina, que según Talavera et al. (2021), dicha resistencia se debería a prevalencia de los genes *qnrB*, *qnrA*, *blaTEM*, *qnrA* y *qnrB* en los plásmidos bacterianos, los cuales expresan betalactamasas, la AMPc, las mutaciones en dihidrofolato reductasas, al sobreexpresión de bombas de eflujo, que traerían como consecuencia la inactivación enzimática, la alteración en topoisomerasa IV, la alteración de la ADN girasa, y los receptores alterando en los ribosomas y las  $\beta$  – lactamasas de espectro extendido (BLEE) (Raraz et al., 2021).

La presencia de *Escherichia coli* en los pasamanos y timones de las embarcaciones recreativas del Malecón Los Incas, se debería a que son manipulados por visitantes nacionales e internacionales, ya que es uno de los lugares turísticos de la ciudad de Puno, los cuales probablemente se constituyan en los diseminadores de dichas bacterias, en razón de que las bacterias en mención vienen incrementándose a nivel mundial y se debe a la sobre expresión del gen CTM – M asociado al ST131 (Gonzales et al., 2019), codificados por plásmidos “IncII” que es transferido entre bacterias por conjugación, logrando así su supervivencia (Lee et al., 2018). Lo peligroso de ello es que se convertiría en un problema de salud pública a nivel internacional (Mazumder et al., 2020), ya que puede originar una amplia morbilidad, incrementando los costos de tratamiento al aumentar la estancia hospitalaria de sus complicaciones (Pérez et al., 2011).



#### 4.1.2 *Escherichia coli* aislados de las aguas del Malecón Los Incas

**Tabla 6**

*Resistencia antimicrobiana de Escherichia coli aislados de las aguas del Malecón Los Incas.*

Zonas de muestreo	Susceptibilidad antimicrobiana	Antibióticos							
		Ampicilina		Ceftazidima		Tetraciclina		Trim-Sulfa	
		N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
Sur	Sensible	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
	Intermedia	1	16.67	1	16.67	0	0.00	1	16.67
	Resistente	5	83.33	5	83.33	6	100.00	5	83.33
Total		6	100.00	6	100.00	6	100.00	6	100.00
$X^2_c = 1.14; gl = 3; P = 0.7667$									
Norte	Sensible	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
	Intermedia	3	50.00	1	16.67	0	0.00	3	50.00
	Resistente	3	50.00	5	83.33	6	100.00	3	50.00
Total		6	100.00	6	100.00	6	100.00	6	100.00
$X^2_c = 5.45; gl = 3; P = 0.1419$									

Donde: Trim-Sulfa = Trimetoprim – Sulfametoxazol.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 6 se observa la susceptibilidad antimicrobiana de *Escherichia coli* aisladas de aguas del Malecón Los Incas. En bacterias aisladas de la zona sur del Malecón Los Incas, se presentaron 5 casos (83.33 %) de respuesta resistente y 1 caso (16.67 %) de respuesta intermedia; mientras tanto, en aquellas aisladas de la zona norte, 3 (50.00 %) fueron resistentes e intermedios, respectivamente.

Ante la ceftazidima, tanto en muestras de agua de la zona sur y norte del Malecón Los Incas, se determinaron 5 (83.33 %) aislamientos con resistencia al antibiótico y (16.67 %) con respuesta intermedia.



Frente a la tetraciclina, todas las bacterias aisladas (100.00 %) sean de la zona sur o norte del Malecón Los Incas resultaron, resistentes al antibiótico.

Con discos de trimetoprim-sulfametoxazol, entre las bacterias aisladas de las aguas de la zona sur del Malecón Los Incas, 5 (83.33 %) resultaron resistentes al antibiótico y una (16.67 %) presentó respuesta intermedia; en aquellas aisladas de la zona norte, 3 (50.00 %) resultaron con respuesta intermedia y resistente, respectivamente.

Luego de realizar la prueba de chi cuadrado, se determinó que la variable antibiótico y la variable respuesta susceptibilidad antimicrobiana en *Escherichia coli* no están relacionadas tanto en bacterias aisladas de la zona sur ( $X^2_c= 1.14$ ; gl = 3; P = 0.7667) o de la zona norte ( $X^2_c= 5.45$ ; gl = 3; P = 0.1419) del Malecón Los Incas, por lo tanto, no hay una relación significativa entre los antibióticos y la susceptibilidad bacteriana, es decir que los aislamientos bacterianos tuvieron similares respuestas de susceptibilidad frente a los antibióticos.

Los aislamientos de *Escherichia coli* procedentes del cuerpo acuático del Malecón Los Incas sean de la zona norte o sur, presentaron resistencia a los antibióticos ampicilina, ceftazidima, tetraciclina y trimetoprim – sulfametoxazol. En especial todos los aislamientos resultaron resistentes a la tetraciclina. La resistencia a los antibióticos probablemente se deba a la presencia de aguas residuales y sus constituyentes químicos entre ellos residuos de antibióticos o metales pesados, que vendrían ingresando al Malecón Los Incas. Dicha aseveración es corroborada por Seiler y Berendonk (2012), quienes establecieron que ante la presencia de metales pesados acumulados en un ambiente natural puede desencadenar la tolerancia a los iones, la cual está emparejada con la



resistencia a los antibióticos y entre los metales estudiados el cobre induciría en *Escherichia coli* enterotoxigénica a la antibiorresistencia bacteriana in vitro (Barreto et al., 2016).

De similar forma, Cordero (2018), en Puebla (México) manifiesta que en el río Atoyac que posee descargas de aguas industriales y domésticas, luego de aislar *Escherichia coli*, resultaron no solo con resistencia a los antibióticos sino también a los metales pesados como molibdeno, hierro, cobalto y cobre. La resistencia a los antibióticos se daría debido a que la bacteria biosintetiza enzimas BLEE, carbapenemasas y enzimas tipo Amp-C, tal como lo demostró Pérez (2019) en bacterias aisladas de aguas residuales que poseían resistencia a cefalosporinas, fenicoles, aminoglucósidos y carbapenémicos.

En el Malecón Los Incas, el agua del cuerpo acuático donde se encuentran las embarcaciones recreativas poseen bacterias con multiresistencia antimicrobiana, este episodio no solo podría originar un desequilibrio en el medio acuático, sino también afectar la salud humana (Martínez et al., 2020). El origen de dichas bacterias se debe al uso excesivo de los antibióticos y al traspaso por medio de las aguas residuales a los ecosistemas acuáticos, ocasionando alteraciones y afectando la salud pública a causa de la proliferación de bacterias poseedoras de genes de resistencia antimicrobiana (Zapata et al., 2020), por tanto, posee una contaminación bacteriana de alto riesgo (Romero, 2020).

La genética bacteriana de *Escherichia coli* es un factor importante en la capacidad de resistencia a los antibióticos, entre las  $\beta$  – lactamasas adquiridas mediante los plásmidos se citan a la PSE-1, la PSE-4 y la PER-1, y que estarán confiriendo resistencia a la ceftazidima en el presente estudio, siendo alterados



ante la presencia de clavulanato, por otro lado, se contaría con los genes *TEM*, *SHV* y *OXA*, que expresan enzimas que generan resistencia a monobactámicos, penicilinas y cefalosporinas, en los últimos años en Japón y Europa se mencionan a las metalo  $\beta$ -lactamasas con capacidad de hidrolizar penicilinas, carbapenémicos y cefalosporinas (Livermore y Woodford, 2000).

Oliveira et al. (2020) y Husserl y Camero (2021), manifiestan que las plantas de tratamientos de aguas residuales (PTAR), se constituyen en las principales fuentes de determinantes de resistencia bacteriana, noción que apoya a explicar la persistencia de bacterias multirresistentes a antibióticos a causa de la existencia del ingreso de contaminantes químicos y microbiológicos procedentes de las aguas residuales a la laguna del Malecón Los Incas, entre ellos residuos de penicilina, eritromicina, quinolonas y clindamicina, gracias a la producción de penicilinasas. Esta teoría también lo refuerza Rocha et al. (2015), al indicar que las PTAR, se constituyen en la principal fuente antropogénica de diseminación de bacterias antibiótico resistentes y de genes de resistencia a los mismos, en razón de que se crea un ambiente apropiado para la transferencia horizontal de genes.

Las bacterias Gram negativas aisladas en la presente investigación, pudieron originar su resistencia mediante una transferencia vertical vía sus linajes filogenéticos o con bacterias de su entorno mediante la transferencia horizontal (Pazda et al., 2019), las cuales conllevarían a dos resistencias natural y adquirida, la natural basada en la herencia de información genética intrafamiliar y la adquirida por medio de las mutaciones o transferencias de genes que se pueden originar con otras bacterias (Centeno, 2015).



Después de haber realizado la interpretación y el análisis de los resultados obtenidos, se acepta la hipótesis alterna, que afirmaba lo siguiente: “*Escherichia coli* aisladas de embarcaciones recreativas y muestras de agua del Malecón Los Incas de la ciudad de Puno presentan resistencia a los antibióticos”, y es que en la investigación las bacterias presentaron resistencia antimicrobiana a trimetoprim – sulfametoxazol, ampicilina, ceftazidima y tetraciclina.

Para finalizar la interpretación del primer objetivo específico, se afirma que *Escherichia coli* si presentaron aislamientos con resistencia a los antibióticos, en lo que se refiere en los pasamanos y timones de las embarcaciones recreativas, serían procedentes de las manos de los visitantes nacionales e internacionales que visitan este lugar turístico de la ciudad de Puno; pero un mayor número de bacterias resistentes a antibióticos procedieron de la laguna del Malecón Los Incas, *in situ* se verificó que sería gracias a la presencia de fuentes de nitrógeno y fósforo que procederían presumiblemente de aguas residuales, vertiéndolos con dirección a la laguna del Malecón Los Incas, esta sería la causa del origen de bacterias resistentes a los antibióticos, tal como lo indican diversos autores.

## **4.2 SUSCEPTIBILIDAD ANTIMICROBIANA DE *Staphylococcus aureus***

### **4.2.1 *Staphylococcus aureus* aislados de embarcaciones recreativa**

En la Tabla 7 se observa la susceptibilidad antimicrobiana de *Staphylococcus aureus* aisladas de las embarcaciones recreativas del Malecón Los Incas. Ante la oxacilina y la ciprofloxacina, las bacterias aisladas tanto de los pasamanos y de los timones, todos los aislamientos (100.00 %) resultaron sensibles a ambos antibióticos.

Frente a la tetraciclina, 5 (83.33 %) aislamientos de *Staphylococcus aureus* procedentes de los pasamanos de las embarcaciones recreativas resultaron sensibles y 1 (16.67 %) con respuesta intermedia; en aislamientos de los timones, 5 (83.33 %) resultaron sensibles y 1 (16.67 %) resistente al antibiótico.

Con discos de trimetoprim-sulfametoxazol, en bacterias aisladas de los pasamanos, 4 (66.67 %) resultaron sensibles al antibiótico y dos (33.33 %) presentaron respuesta resistente; en aquellas aisladas de los timones, los 6 aislamientos (100.00 %) resultaron con respuesta sensible.

**Tabla 7**

*Sensibilidad de Staphylococcus aureus a los antibióticos aislados de las embarcaciones recreativas del Malecón Los Incas.*

Puntos de muestreo	Susceptibilidad antimicrobiana	Antibióticos							
		Oxacilina		Ciprofloxacina		Tetraciclina		Trim-Sulfa	
		Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
Pasamanos	Sensible	6	100.00	6	100.00	5	83.33	4	66.67
	Intermedia	0	0.00	0	0.00	1	16.67	0	0.00
	Resistente	0	0.00	0	0.00	0	0.00	2	33.33
Total		6	100.00	6	100.00	6	100.00	6	100.00
$X^2_c = 9.52; gl = 6; P = 0.1462$									
Timones	Sensible	6	100.00	6	100.00	5	83.33	6	100.00
	Intermedia	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
	Resistente	0	0.00	0	0.00	1	16.67	0	0.00
Total		6	100.00	6	100.00	6	100.00	6	100.00
$X^2_c = 3.13; gl = 3; P = 0.3719$									

Donde: Trim-Sulfa = Trimetoprim – Sulfametoxazol.

Fuente: Elaboración propia.



Luego de realizar la prueba de chi cuadrado, se determinó que la variable antibiótico y la variable respuesta susceptibilidad antimicrobiana en *Staphylococcus aureus* no están relacionadas tanto en bacterias aisladas de los pasamanos ( $X^2_c = 9.52$ ; gl = 6; P = 0.1462) o de los timones ( $X^2_c = 3.13$ ; gl = 3; P = 0.3719) de las embarcaciones recreativas del Malecón Los Incas, por lo tanto, no hay una relación significativa entre los antibióticos y la susceptibilidad bacteriana, es decir que los aislamientos bacterianos tuvieron similares respuestas de susceptibilidad frente a los antibióticos.

Con los discos de trimetoprim - sulfametoxazol, se obtuvo promedios de halos de inhibición bacteriana de 35.01 mm y 15.37 mm en aislamientos de pasamanos y timones, respectivamente, en aquellos aislamientos de *Staphylococcus aureus* que procedieron del pasamanos todos resultaron ser sensibles al antibiótico; en tanto que, en aquellas aisladas de los timones, dos resultaron con resistencia al antibiótico.

La presencia de *Staphylococcus aureus* en los pasamanos y los timones en las embarcaciones recreativas, coinciden con lo registrado por Araújo et al. (2020), quienes luego de realizar hisopados en pasamanos de las rampas, las manijas de los baños de la biblioteca, manija y asientos del centro académico de la Universidad de Piauí (Brasil), encontraron cocos Gram positivos, indicando presencia *Staphylococcus aureus*, razón por la cual las personas que manipularían dichas estructuras corren riesgo en su salud. Por otro lado, también se parecen a los resultados obtenidos por Arroyave et al. (2019), quienes en Antioquía (Colombia) evaluaron superficies de una clínica veterinaria, logrando aislar 28



agentes bacterianos nosocomiales, entre ellas a *Staphylococcus* sp, las cuales estarían relacionadas con las infecciones asociadas a hospital veterinario.

Por otro lado, tres aislamientos de *Staphylococcus aureus* (uno de los pasamanos y 2 de los timones) resultaron con resistencia a tetraciclinas y trimetoprim - sulfametoxazol, respectivamente, según Llor et al. (2018), manifiestan que la resistencia antimicrobiana es un proceso imparabile y natural, y es exacerbado debido al excesivo uso y equivocado uso de los antibióticos en el tratamiento de las infecciones (Llor et al., 2018). Asimismo, la resistencia en las bacterias Gram positivas se deberían a que son portadoras del gen *mecA* que otorga resistencia a la meticilina y fenotípicamente a la oxacilina (Edipcia y Corrales, 2019).

#### **4.2.2 *Staphylococcus aureus* aislados en agua del Malecón Los Incas**

En la Tabla 8 se visualiza la susceptibilidad antimicrobiana de *Staphylococcus aureus* aisladas de aguas del Malecón Los Incas. Frente a la oxacilina, en bacterias aisladas de la zona sur, se presentaron 2 aislamientos (33.33 %) con respuesta sensible, intermedia y resistente, respectivamente; en aquellas aisladas de la zona norte, 5 (83.33 %) resultaron con respuesta sensible y una (16.67 %) con repuesta intermedia.

Ante la ceftazidima, en bacterias aisladas de sur del malecón, 4 (66.67 %) aislamientos resultaron con respuesta intermedia y 2 (33.33 %) con respuesta resistente; por otro lado, 6 (100.00 %) aislamientos presentaron respuesta resistente al antibiótico.



Frente a la tetraciclina, todas las bacterias aisladas (100.00 %) sean de la zona sur o norte del Malecón Los Incas, resultaron resistentes al antibiótico.

Con discos de trimetoprim-sulfametoxazol, al igual que ante el anterior antibiótico, los 6 (100.00 %) aislamientos resultaron resistentes al antibiótico.

**Tabla 8**

*Susceptibilidad antimicrobiana de Staphylococcus aureus aislados de las aguas del Malecón Los Incas.*

Zonas de muestreo	Susceptibilidad antimicrobiana	Antibióticos							
		Oxacilina		Ciprofloxacina		Tetraciclina		Trim-Sulfa	
		Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
Sur	Sensible	2	33.33	0	0.00	0	0.00	0	0.00
	Intermedia	2	33.33	4	66.67	0	0.00	0	0.00
	Resistente	2	33.33	2	33.33	6	100.00	6	100.00
Total		6	100.00	6	100.00	6	100.00	6	100.00
$X^2_c = 17.33; gl = 6; P = 0.0081$									
Norte	Sensible	5	83.33	0	0.00	0	0.00	0	0.00
	Intermedia	1	16.67	0	0.00	0	0.00	0	0.00
	Resistente	0	0.00	6	100.00	6	100.00	6	100.00
Total		6	100.00	6	100.00	6	100.00	6	100.00
$X^2_c = 24.00; gl = 6; P = 0.0005$									

Donde: Trim-Sulfa = Trimetoprim – Sulfametoxazol.

Fuente: Elaboración propia.

Luego de realizar la prueba de chi cuadrado, se determinó que la variable antibiótico y la variable respuesta susceptibilidad antimicrobiana de *Staphylococcus aureus*, si están relacionadas tanto en bacterias aisladas de la zona sur ( $X^2_c = 17.33; gl = 6; P = 0.0081$ ) y de la zona norte ( $X^2_c = 24.00; gl = 6; P = 0.0005$ ) del Malecón Los Incas, por lo tanto, existe una relación significativa entre



los antibióticos y la susceptibilidad bacteriana, es decir que los aislamientos bacterianos tuvieron diferentes respuestas de susceptibilidad frente a los antibióticos.

En la investigación se determinó que *Staphylococcus aureus* aislados de las muestras de agua de la laguna del Malecón Los Incas, superaron ampliamente la frecuencia de resistencia obtenida en los aislamientos bacterianos obtenidos en las embarcaciones recreativas, probablemente debido a la presencia de contaminación de sus aguas con efluentes residuales de viviendas carentes de conexión de desagüe. Estos resultados coinciden con lo mencionado por Moreno et al. (2021), quienes en aguas servidas de Chimborazo (Ecuador) aislaron *Staphylococcus aureus* con un alto grado de multiresistencia confirmando la calidad sanitaria del agua.

En bacterias aisladas de las muestras de agua se encontraron resistencia a la ciprofloxacina, la tetraciclina y la trimetoprim–sulfametoxazol, dicha resistencia probablemente se deba a la presencia de transposones, variedad de genes y secuencias de inserción genética, asimismo poseerían la capacidad de recombinación homóloga para agrupar determinantes de resistencia (Bauer, et al., 1966). Por otro lado, su alta frecuencia de resistencia a los antibióticos en *Staphylococcus aureus*, se atribuiría a la presencia de plásmidos, que al poseer los genes que confieren resistencia a los antibióticos, y que la administración de un solo antibacteriano conduciría directamente a la selección de cepas resistentes (Castellano et al., 2009).

Al respecto la presencia de residuos de antibióticos y de metales pesados en el ambiente acuático, podría estar generando la resistencia a los antibióticos,



tal como corrobora Edipcia y Corrales (2019), quienes determinaron que *Staphylococcus aureus* aislados desde aguas residuales, fueron portadoras del gen *mecA*, que vendría confiriendo en su mayoría la resistencia a oxacilina y otros antibióticos. Por su parte Martínez et al. (2010), aislaron *Staphylococcus* resistentes a los antibióticos en el río Almendares de Cuba aunado a la resistencia a plomo y cromo, en tal sentido, los metales pesados acumulados en ambientes naturales a concentraciones críticas podrían originar en las bacterias, no solo a los metales pesados sino también la resistencia a los antibióticos (Seiler y Berendonk, 2012).

*In situ* se pudo observar que en la zona norte de la laguna del Malecón Los Incas, la presencia de macrófitas como sombrerito de agua (*Hydrocotyle* sp), su buen crecimiento indicaría un elevado contenido de nutrientes nitrógeno y fósforo procedente de aguas residuales que vendrían ingresando a la laguna, esta afirmación se reafirma con los registrado por Zapata et al. (2020), quienes indican que el uso excesivo de antibióticos traspasados a las aguas residuales y estos llegar a un ecosistema acuático, alterarían y afectarían la salud pública debido a que sería un punto de diseminación de bacterias resistentes a antibióticos ya que al estar expuestos a contaminantes metálicos y residuos de antibióticos poseerían genes de resistencia antimicrobiana, teoría corroborada por Oliveira et al. (2020), quienes en su estudio mencionan que las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) son fuentes determinantes de resistencia bacteriana, ya que en sus aguas se encontraron bacterias resistentes a penicilina, eritromicina, quinolonas, por tanto, son consideradas como importantes difusoras de la resistencia de complejos antibióticos.



Después de haber realizado la interpretación y el análisis de los resultados obtenidos, se acepta la hipótesis alterna, que afirmaba lo siguiente: “*Staphylococcus aureus* aisladas de embarcaciones recreativas y muestras de agua del Malecón Los Incas de la ciudad de Puno presentan resistencia a los antibióticos”, y es que en la investigación las bacterias presentaron resistencia antimicrobiana a ciprofloxacina, tetraciclina y trimetoprim – sulfametoxazol.

En resumen, se afirma que *Staphylococcus aureus* está presente en los pasamanos y timones de las embarcaciones recreativas y en muestras de agua de la laguna del Malecón Los Incas de la ciudad de Puno, su persistencia en las embarcaciones recreativas sería en razón de que son manipuladas por las personas entre jóvenes y adultos que hacen uso de las embarcaciones debido a que la bacteria es parte de la microbiota normal de nuestra piel proliferando rápidamente en las manos. En las muestras de agua de la laguna del Malecón Los Incas, las bacterias aisladas presentaron mayor frecuencia de resistencia a los antibióticos, esto se debería al ingreso de aguas residuales portando bacterias con genes de resistencia a los antibióticos, producto de la adaptación que sufren ellas en ambientes que contienen metales pesados y residuos de antibiótico, esencialmente. Por tanto, las personas que acuden a estos lugares estarían propensas a sufrir de infecciones por ambas bacterias estudiadas, si en caso no poseen una higiene adecuada antes de consumir los alimentos.



## V. CONCLUSIONES

- La susceptibilidad antimicrobiana de *Escherichia coli* de las embarcaciones recreativas fueron similares frente a los antibióticos evaluados (ampicilina, ceftazidima, tetraciclina y trimetoprim – sulfametoxazol) en aislamientos procedentes de los pasamanos ( $X^2_c= 11.50$ ;  $P = 0.0741$ ), los timones ( $X^2_c= 7.58$ ;  $P = 0.2706$ ), muestras de agua de la zona sur ( $X^2_c= 1.14$ ;  $P = 0.7667$ ) y de la zona norte ( $X^2_c= 5.45$ ;  $P = 0.1419$ ), a pesar de ello, hubo aislamientos con resistencia a los antibióticos, que se debería al ingreso de aguas residuales y la presencia de genes de resistencia, constituyéndose un peligro para la salud pública de los visitantes del Malecón Los Incas de la ciudad de Puno.
- La susceptibilidad antimicrobiana de *Staphylococcus aureus* de las embarcaciones recreativas fueron similares frente a los antibióticos evaluados (oxacilina, ciprofloxacina, tetraciclina y trimetoprim – sulfametoxazol) en aislamientos procedentes de los pasamanos ( $X^2_c= 9.52$ ;  $P = 0.1462$ ), los timones ( $X^2_c= 3.13$ ;  $P = 0.3719$ ); sin embargo, las muestras de agua de la zona sur ( $X^2_c= 17.33$ ;  $P = 0.0081$ ) y de la zona norte ( $X^2_c= 24.00$ ;  $P = 0.0005$ ), si presentaron bacterias con diferente respuesta a los antibióticos, prevaleciendo la resistencia, que se debería al ingreso de aguas residuales y la presencia de genes de resistencia, constituyéndose un peligro para los turistas nacionales e internacionales que visitan el Malecón Los Incas de la ciudad de Puno.



## VI. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios de genes de resistencia antimicrobiana en bacterias aisladas desde muestras de agua del Malecón Los Incas.
- Realizar estudios de resistencia antimicrobiana en bacterias aisladas de plantas de tratamiento de agua residual o lagunas de oxidación en la ciudad de Puno.
- Determinar si las bacterias aisladas en las embarcaciones recreativas y las muestras de agua son cepas patógenas humanas.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, O., Alpuche, C., Arathoon, E., & Arbo, A. (2011). *Tratamiento de las enfermedades infecciosas* (5<sup>a</sup> ed.) OPS. <https://www.paho.org/es/node/64551>.
- Agga, E., Scott, H., Amachawadi, G., Nagaraja, V., Vinasco, J., & Bai, J. (2014). Effects of chlortetracycline and copper supplementation on antimicrobial resistance of fecal *Escherichia coli* from weaned pigs. *Preventive Veterinary Medicine*, 114(3-4), 231-246. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016758771400220X>.
- Álvarez, D., Garza, G. & Vázquez, R. (2015). Quinolonas. Perspectivas actuales y mecanismos de resistencia. *Rev. Chilena Infectol.* 32(5), 499-504. [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S07161018201500060002](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S07161018201500060002).
- Amado, M. (2018). *Determinación bacteriológica de la calidad del agua de consumo humano, regadío y bebida de animales del distrito de Majes, provincia de Caylloma, departamento de Arequipa, abril – mayo 2017* (Tesis de Biólogo). Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, Perú. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/5890>.
- Araújo, F., Barradas, A., Araújo, R., de Oliveira, E., da Silva, W., & de Sousa, L. (2020). Detecção de bactérias em diversos locais em um centro universitário de ciências da saúde. *Research, Society and Development*, 9(2), e120921966. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i2.1966>.
- Arroyave, E., Uribe, J., Granados, S., Gutiérrez, L., Arismendi, L., Vidal, J., & Londoño, A. (2019). Aislamiento e identificación de bacterias con potencial nosocomial procedentes de ambientes y superficies de una clínica veterinaria universitaria del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Antioquia – Colombia. *Revista Infectio*, 23(3), 227-233. [https://revistainfectio.org/P\\_OJS/index.php/infectio/article/view/785](https://revistainfectio.org/P_OJS/index.php/infectio/article/view/785)



- Astocondor, L. (2018). Betalactamasas: La Evolución del Problema. *Rev Peru Investig Salud*, 2(2):42-49.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=635767693007>.
- Autoridad Nacional del Agua (ANA) & Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (2016). *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales* (Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA). Gráfica Industrial Alarcón.  
[https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/protocolo\\_nacional\\_para\\_el\\_monitoreo\\_de\\_la\\_calidad\\_de\\_los\\_recursos\\_hidricos\\_superficiales.pdf](https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/protocolo_nacional_para_el_monitoreo_de_la_calidad_de_los_recursos_hidricos_superficiales.pdf)
- Baranda, C., Bartolomé, J., Blas, J., Carranza, R., Escribano, E., Lozano, J., & Sánchez, R. (2020). *Manual de recogida, transporte y conservación de muestras*. Laboratorio Microbiología y Parasitología, Complejo Hospitalario Universitario de Albacete (5ª ed.).  
[https://www.chospab.es/area\\_medica/microbiologia/docTomaMuestras/1\\_Manual\\_al\\_recogida\\_transporte\\_conservacion\\_muestras\\_microbiologia.pdf](https://www.chospab.es/area_medica/microbiologia/docTomaMuestras/1_Manual_al_recogida_transporte_conservacion_muestras_microbiologia.pdf)
- Barreto, G., Rodríguez, H., & Barreto, H. (2016). Antibiorresistencia en *Escherichia coli* enterotoxigénica inducida in vitro con cobre. *Revista de Producción Animal*, 28(1), 34-38. <http://scielo.sld.cu/pdf/rpa/v28n1/rpa06116.pdf>
- Baüer, A., Kirby, M., Sherris, C., & Turck, M. (1966). Antibiotic susceptibility testing by a standardized single disk method. *American Journal of Clinical Pathology*, 45(32), 493-496.  
<https://www.scilit.net/publications/e32cc7e6a9774426523dd9b334ebceff>.
- Bhutta, Z., & Saeed, A. (2008). Childhood infectious diseases: Overview. In *International encyclopedia of public health* (pp. 620-640). Elsevier.  
[https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S11376627202100020001](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S11376627202100020001).
- 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 del Valle*, 38, 149-158.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=28338208>.





- Cadillo, P., Villarreal, E., & Cuestas, J. (2019). Contaminación bacteriana en las ligaduras de toma de muestra del servicio de laboratorio del Hospital Cayetano Heredia durante el mes de septiembre 2015. *Tesis de Licenciado en Tecnología Médica*. Facultad de Medicina, Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima – Perú. <http://repositorio.upch.edu.pe/handle/upch/499>.
- Calderón, G., & Aguilar, L. (2016). Infectología resistencia antimicrobiana: Microorganismos más resistentes y antibióticos. *Infectología*, 621, 757-763. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=69870>.
- Calvo, J. & Martínez, L. (2009). Mecanismos de acción de los antimicrobianos. *Rev. Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*. 27(1), 44-52. <https://doi.org/10.1016/j.eimc.2008.11.001>.
- Casal, J., & Mateu, E. (2003). Tipos de muestreo. *Revista de Epidemiología y Medicina Preventiva*, 1, 3-7. <https://portalrecerca.uab.cat/en/publications/tipos-de-muestreo>.
- Castellano, M., Perozo, A., Vivas, R., Ginestre, M., & Rincón, G. (2009). Tipificación molecular y fenotípica de *Staphylococcus aureus* resistentes a meticilina (SAMR) en un hospital universitario. *Revista Chilena de Infectología*, 26(1), 39-48. [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S071610182009000100006](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071610182009000100006).
- Centeno, F. (2015). Propagación de agentes resistentes a antibióticos inducida por el mal manejo de aguas residuales y liberación de antibióticos al ambiente. *Publicación en línea*. <http://hdl.handle.net/1992/17347>.
- Chaverri, J., Cordero, E., Díaz, J., Moya, M., & Vega, Y. (2014). Revisión del uso de antibióticos de amplio espectro en el ambiente hospitalario privado en Costa Rica. *Acta Médica Costarricense*, 56(4), 158-162. [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S000160022014000400004](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S000160022014000400004).
- Coila, G. (2017). Resistencia a antibióticos y a metales pesados en bacterias coliformes aislados de la laguna de oxidación Espinar de la ciudad de Puno. *Tesis de*



- Licenciado en Biología*. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional del Altiplano, Puno – Perú. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/3999>
- Cordero, C. (2018). *Escherichia coli* enteropatógena en un efluente tratado de la ciudad de Puebla, resistente a antibióticos y a metales pesados. *Tesis de Licenciatura en Biología*. Facultad de Ciencias Biológicas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/8361>
- Costa, C. (2021). Evaluación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la calidad del agua de efluentes del Río Chillón durante los meses de enero a junio del 2019. Universidad Ricardo Palma, Lima – Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.14138/4126>.
- Daniel, W. (2011). *Bioestadística: Base para el análisis de las ciencias de la salud*. Editorial Limusa Wiley. <https://biblio.iberomexico.mx/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=237139>.
- De la Fuente, M., Dauros, P., Bello, H., Dominguez, M., Mella, S., Sepúlveda, M., Zemelman, R. & González, G. (2007). Mutaciones en genes *gyrA* y *gyrB* en cepas de bacilos Gram negativos aisladas en hospitales chilenos y su relación con la resistencia a fluoroquinolonas. *Rev. Méd. Chile*. 135, 1103-1110. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0035068007001433>.
- Dos Santos, A., Oliveira, D., de Freitas, C., Alves, B., Afonso, I., Rangel, C. & Castro, H. (2007). *Staphylococcus aureus*: visitando uma cepa de importancia Hospitalar. *J. Bras. Patol. Med. Lab.* 43, 413-423. <https://www.scielo.br/j/jbpm/a/zgdvf?lang=pt>.
- Edipcia, Z., & Corrales, F. (2019). Resistencia a metilina en aislados de *Staphylococcus aureus* procedentes de muestras clínicas y aguas residuales. *Tesis de Licenciatura en Bioanálisis Clínico*. Facultad de Ciencias Médicas, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua – León, Nicaragua. <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/7300/1/241472.pdf>
- Gilbert, D. (2000). Aminoglycosides. En G. L. Mandell, J. E. Bennett, & R. Dolin (Eds.), *Mandell, Douglas, and Bennett's principles and practice of infectious diseases* (5<sup>a</sup>



ed., pp. 307-336). Philadelphia: Churchill Livingstone.  
<https://doi.org/10.1017/S0950268899224272>.

Gonzales, E., Patiño, L., Ore, E., Martínez, V., Moreno, S., Cruzado, N., et al. (2019).  $\beta$ -lactamasas de espectro extendido tipo CTX-M en aislamientos cárnicos de *Escherichia coli* y *Klebsiella pneumoniae* en el Instituto Nacional de Salud del Niño – Breña, Lima, Perú. *Revista Médica Herediana*, 30(4), 242-248.  
<https://doi.org/10.20453/rmh.v30i4.3659>

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación* (6<sup>a</sup> ed.). México: Editorial McGraw Hill.  
<https://digitalrepositorio.com/items/show/2>.

Herrera, A., & Toribio, J. (2012). Evaluación de la calidad higiénico sanitaria de superficies en los puestos dedicados al expendio de alimentos y bebidas de consumo inmediato del mercado “San Pedro”, y propuesta de un manual de normas y procedimientos microbiológicos para implementar el área de control de calidad de la Municipalidad del Cusco (Tesis de Químico Farmacéutico). Facultad de Ciencias Químicas, Físicas y Matemáticas, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12918/841>.

Hooper, D., & Jacoby, G. (2015). Mechanisms of drug resistance: Quinolone resistance. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1354(1), 12-31.  
<https://doi.org/10.1111/nyas.12830>

Husserl, J., & Camero, D. (2021). Cuantificación de resistencia antibiótica en las plantas de tratamiento de aguas residuales del Edificio Mario Laserna y el Centro Deportivo de la Universidad de Los Andes (Tesis de Ing. Ambiental). Repositorio Institucional Séneca, Universidad de Los Andes, Colombia.  
<https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/55049>

Izzeddin, N., Rodríguez, G., Medina, L., & González, L. (2017). Evaluación microbiológica del aire y superficies en quirófano de un centro de salud público. *Revista Salud*, 21(3), 18-23.  
<https://www.redalyc.org/pdf/3759/375955679005.pdf>



- Kuroda, M., Ohta, T., Uchiyama, I., & Baba, T. (2001). Whole genome sequencing of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *The Lancet*, 357, 1225-1240. [https://www.genome.jp/kegg-bin/show\\_organism?org=sau](https://www.genome.jp/kegg-bin/show_organism?org=sau).
- Lee, D., Lee, J., & Choe, S. (2018). Community-acquired urinary tract infection by *Escherichia coli* in the era of antibiotic resistance. *BioMed Research International*, 7656752. <https://doi.org/10.1155/2018/7656752>
- Leekitcharoenphon, P., Johansson, M., Munk, P., Malorny, B., Skarżyńska, M., & Wadepohl, K. (2021). Genomic evolution of antimicrobial resistance in *Escherichia coli*. *Scientific Reports*, 11(1), 15108. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93970-7>
- Livermore, D., & Woodford, N. (2000). Carbapenemases: A problem in waiting? *Current Opinion in Microbiology*, 3, 489-495. <https://academic.oup.com/jac/article-abstract/49/3/479/727566?redirectedFrom=fulltext&login=false>.
- Llor, C., Boada, A., Pons, M., Grenznner, E., Juvé, R., & Almeda, J. (2018). Sensibilidad antibiótica de *Staphylococcus aureus* y *Streptococcus pneumoniae* en personas portadoras nasales sanas en atención primaria en el área de Barcelona. *Atención Primaria*, 50(1), 44-52. <https://doi.org/10.1016/j.aprim.2016.12.008>
- Lood, R., Ertürk, G., & Mattiasson, B. (2017). Revisiting antibiotic resistance spreading in wastewater treatment plants – Bacteriophages as a much neglected potential transmission vehicle. *Frontiers in Microbiology*, 8(NOV), Article 2298. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02298>
- Loza, A., Gamarra, C., & Condori, N. (2016). Caracterización morfobatimétrica y estimación de sedimentos de la bahía interior de Puno, lago Titicaca, mediante tecnología SIG. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 18(2). <https://doi.org/10.18271/ria.2016.205>
- Martín, G. (2002). Resistencia bacteriana a  $\beta$  – lactámicos. Evolución y mecanismos. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*. 21(1). [http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev\\_aavft/article/view/7250](http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_aavft/article/view/7250).



- Martínez, A., Cruz, M., Veranes, O., Carballo, M., Salgado, I., Olivares, S., et al. (2010). Resistencia a antibióticos y a metales pesados en bacterias aisladas del río Almendares. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 41, 1-10. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181220509038>.
- Martínez, A., Garza, U., Sampedro, M., González, J., Nava, G., & Toribio, J. (2020). Patotipos y resistencia antibiótica de *Escherichia coli* en agua residual. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(4), 957-966. <https://doi.org/10.20937/RICA.53711>
- Mazumder, R., Abdullah, A., Ahmed, D., & Hussain, A. (2020). High prevalence of *blaCTX-M-15* gene among extended-spectrum  $\beta$ -lactamase-producing *Escherichia coli* isolates causing extraintestinal infections in Bangladesh. *Antibiotics (Basel, Switzerland)*, 9(11), Article E796. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9110796>
- Mendo, M. (2003). *Medios de cultivo en Microbiología: Manual de Laboratorio*. Ediciones Laborales S. R. L. <https://www.biocen.cu/wp-content/uploads/2021/05/Manual-MC-2018.pdf>.
- Moreno, C., González, R., & Beltrán, C. (2009). Mecanismos de resistencia antimicrobiana en patógenos respiratorios. *Revista Otorrinolaringología Cirugía de Cabeza y Cuello*, 69(2), 185–192. <https://scholar.archive.org/work/4m4ynkag4fczffbd5gf4jebnci>.
- Moreno, M., Guashpa, Y., & Ochoa, J. (2021). Caracterización microbiológica de muestras de aguas servidas prefiltradas de la comunidad de San Vicente de Lacas de la provincia de Chimborazo. *Pol. Con.*, 6(9), 112-130. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i9.3013>
- Mori, H., Kataoka, M., & Yang, X. (2022). Past, present, and future of genome modification in *Escherichia coli*. *Microorganisms*, 10(9), Article 1835. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10091835>
- Myers, A., Jeffery, R. & Lodha, A. (2012). Late-onset Leclercia adecarboxylata bacteraemia in a premature infant in the NICU. *Acta Paediatr.* 101:e37-9.



- Murray, P., Rosenthal, K. & Pfaller, M. (2020). Microbiología Médica. 197-207. <https://booksmedicos.org/microbiologia-medica-murray-9a-edicion/>.
- Nataro, J., & Kaper, J. (1998). Diarrheagenic *E. coli*. *Clinical Microbiology Reviews*, 11, 142-201. <https://journals.asm.org/doi/10.1128/cmr.11.1.142>.
- Novick, R. (2003). Mobile genetic elements and bacterial toxins: The superantigens encoding pathogenicity islands of *Staphylococcus aureus*. *Olasmid*, 49, 93-105. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12726763/>.
- Oliveira, S., Silveira, R., Rodríguez, I., Gustavo, W., Gonçalves, L., & Paiva, M. (2020). Plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas como fuentes de *Staphylococcus aureus* resistente a macrólidos, lincosamida, estreptogarmina B y penicilina en Brasil. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 49(2), 267-279. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8112551>
- Pazda, M., Kumirska, J., Stepnowski, P., & Mulkiewicz, E. (2019). Antibiotic resistance genes identified in wastewater treatment plant systems – A review. *Science of the Total Environment*, 697, Article 134023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134023>
- Pérez, C. (2019). Relación clonal, diseminación y esparcimiento de aislados de *Escherichia coli* antibiótico resistentes provenientes de aguas residuales, aguas superficiales e infantes menores de 1 año del municipio de León. Tesis de Máster en Microbiología Médica. Facultad de Ciencias Médicas, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/7608/1/244191.pdf>
- Pérez, N., Pavas, N., & Rodríguez, I. (2011). Resistencia a los antibióticos en *Escherichia coli* con beta-lactamasas de espectro extendido en un hospital de la Orinoquia colombiana. *Infectio*, 15(3), 147-154. [https://doi.org/10.1016/S0123-9392\(11\)70078-9](https://doi.org/10.1016/S0123-9392(11)70078-9)
- Phan, M., Nhu, N., Achard, M., Forde, B., Hong, K., & Chong, T. (2017). Modifications in the *pmrB* gene are the primary mechanism for the development of chromosomally encoded resistance to polymyxins in uropathogenic *Escherichia*



- coli*. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 72(10), 2729-2736.  
<https://doi.org/10.1093/jac/dkx204>
- Picazo, J. (2000). Métodos básicos para el estudio de la sensibilidad a los antimicrobianos. 1–54.  
<https://seimc.org/contenidos/documentoscientificos/procedimientosmicrobiologia/seimc-procedimientomicrobiologia1.pdf>.
- Raraz, J., Allpas, H., & Raraz, O. (2021). Resistencia antibiótica de *Escherichia coli* y *Staphylococcus saprophyticus* en la infección urinaria de un hospital público. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, LXI(4), 633-641.  
<https://doi.org/10.52808/bmsa.7e5.614.010>
- Rocha, C., Reynolds, N., & Simons, M. (2015). Resistencia emergente a los antibióticos: Una amenaza global y un problema crítico en el cuidado de la salud. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 32(1), 139-145.  
<https://doaj.org/article/7ea61adb6c724d0eb82976b05f29e09f>.
- Rocha, C., Reynolds, N., & Simons, M. (2015). Resistencia emergente a los antibióticos: Una amenaza global y un problema crítico en el cuidado de la salud. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 32(1), 139-145.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36338592020>.
- Rodríguez, G. (2002). Principales características y diagnóstico de los grupos patógenos de *Escherichia coli*. *Salud Pública de México*, 44(5), 464-475.  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S003636342002000500011&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S003636342002000500011&lng=es&tlng=es)
- Romero, E. (2020). Caracterización de la resistencia antimicrobiana en *Escherichia coli* productora de  $\beta$ -lactamasas de espectro extendido (BLEE) aislada de aguas residuales descargadas en el río Chimbo del cantón San Miguel, provincia Bolívar, Ecuador. Tesis de Licenciado en Ciencias Biológicas y Ambientales. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Central del Ecuador.  
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/22406/1/T-UCE-0016-CBI-070.pdf>





- Romero, P. (2020). Influencia de microorganismos eficaces en la remoción de coliformes termotolerantes y demanda bioquímica de oxígeno de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito de Quilcas, 2019. Universidad Continental. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/8247>.
- Sacsquispe, R., & Velásquez, J. (2002). *Manual de procedimientos para la prueba de sensibilidad antimicrobiana por el método de disco difusión*. (Instituto Nacional del Perú, Ed.). Serie de Normas Técnicas N° 30. Lima - Perú: Instituto Nacional del Perú. <https://doi.org/1-56238-525-5>
- Sanders, C. (2001). Mechanisms responsible for cross – resistance and dichotomous resistance among the quinolones. *Clin Infect Dis.* 32(1): S1-8. [https://academic.oup.com/cid/articleabstract/32/Supplement\\_1/S1/296937?redirectedFrom=fulltext&login=false](https://academic.oup.com/cid/articleabstract/32/Supplement_1/S1/296937?redirectedFrom=fulltext&login=false).
- Scherer, C., Botoni, S. & Costa-Val, A. (2016). Mecanismos de acción de antimicrobianos e resistencia bacteriana. *Medvep Dermato. Revista de Educação Continuada em Dermatologia e Alergologia Veterinária.* 4(13), 12-20. <https://medvep.com.br/wp-content/uploads/2020/09/Mecanismos-de-ação-de-antimicrobianos-e-resistência-bacteriana.pdf>.
- Seiler, C., & Berendonk, U. (2012). Heavy metal driven co-selection of antibiotic resistance in soil and water bodies impacted by agriculture and aquaculture. *Frontiers in Microbiology*, 3, 399. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23248620>
- Sharma, J., Sharma, D., Singh, A., & Sunita, K. (2022). Colistin resistance and management of drug-resistant infections. *Canadian Journal of Infectious Diseases and Medical Microbiology.* <https://doi.org/10.1155/2022/4315030>
- Spratt, B. (1994). Resistance to antibiotics mediated by target alterations. *Science*, 264, 388-393. <https://pascalfrancis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=4035189>.
- Talavera, J., Acosta, J., Reyes, N., Salgado, C., & Talavera, M. (2021). Prevalencia de genes qnrB, qnrA y blaTEM en bacteriófagos atemperados de *Escherichia coli*





- aislados en agua residual y alcantarillas de rastros del Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 12(1), 298-305.  
<https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i1.5378>
- Tallon, P., Magajna, B., Lofranco, C. & Leung, T. (2005). Microbial indicators of faecal contamination in water: a current perspective. *Water, Air and Soil Pollution*. 166: 139-66.  
[https://www.researchgate.net/publication/226741561\\_Microbial\\_Indicators\\_of\\_Faecal\\_Contamination\\_in\\_Water\\_A\\_Current\\_Perspective](https://www.researchgate.net/publication/226741561_Microbial_Indicators_of_Faecal_Contamination_in_Water_A_Current_Perspective).
- Tenover, F. (2006). Mechanisms of antimicrobial resistance in bacteria. *Am J Infect Control*. 34(5 Suppl 1):S3-10. [https://www.amjmed.com/article/S0002-9343\(06\)00342-1/abstract](https://www.amjmed.com/article/S0002-9343(06)00342-1/abstract).
- Toma, C., Lu, Y., Higa, N., Nakasane, N., Chimen, I., Baschkier, A., Rivas, M., & Iwanaga, M. (2003). Multiplex PCR assay for identification of human diarrhoeagenic *Escherichia coli*. *Journal of Clinical Microbiology*, 41, 2669-2671. <https://journals.asm.org/doi/10.1128/jcm.41.6.2669-2671.2003>.
- Tumbarello, M., Viale, P., Viscoli, C., et al. (2012). Predictors of mortality in bloodstream infections caused by *Klebsiella pneumoniae* carbapenemase-producing *K. pneumoniae*: importance of combination therapy. *Clin Infect Dis*. 55:943–950.  
<https://academic.oup.com/cid/articleabstract/55/7/943/428550?redirectedFrom=fulltext>.
- Vázquez, & Pertejo, M. (2022). Pruebas de sensibilidad o antibiogramas. *Manual MSD*.  
<https://www.msmanuals.com/espe/professional/enfermedadesinfecciosas/diagnostico-de-laboratorio-de-las-enfermedades-infecciosas/pruebasde-sensibilidad-o-antibiogramas>
- Villegas, M., Correa, A., Pérez, F., Zuluaga, T., Radice, M., Gutkind, G., et al. (2004). CTX-M-12 beta-lactamase in a *Klebsiella pneumoniae* clinical isolate in Colombia. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 48(2), 629–631.  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14742223/>.



- Vinue, L., Hooper, D., & Jacoby, G. (2018). Chromosomal mutations that accompany qnr in clinical isolates of *Escherichia coli*. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 51(3), 479-483. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2018.01.012>
- Washington, W., Allen, S., Janda, W., Koneman, E., & Procop, G. (2005). *Koneman's Color Atlas and Textbook of Diagnostic Microbiology* (6th ed.). <https://www.scirp.org/reference/ReferencesPapers?ReferenceID=1787397>.
- Zapata, M., Parra, M., Molina, N., & Álvarez, J. (2020). Innovación en tecnologías en plantas de tratamiento de agua residual para la eliminación de antibióticos, bacterias resistentes y genes de resistencia antibiótica: una revisión. Repositorio Institucional, Universidad de Santo Tomás. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/21176>
- Zilio, M., Alfonso, M., Ferrelli, F., Perillo, G., & Piccolo, M. (2017). Ecosystem services provision, tourism, and climate variability in shallow lakes: The case of La Salada, Buenos Aires, Argentina. *Tourism Management*, 62, 208-217. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2017.04.008>

## ANEXOS

**Tabla 9**

*Halos de susceptibilidad (mm) de Escherichia coli aisladas de las embarcaciones recreativas del Malecón Los Incas.*

Antibiótico	Pasamanos				Timón			
	R 1	R 2	Prom	Rpta	R 1	R 2	Prom	Rpta
Ampicilina	18	17	17.50	S	11	12	11.50	R
	18	18	18.00	S	12	12	12.00	R
	18	18	18.00	S	17	18	17.50	S
	19	18	18.50	S	18	18	18.00	S
	18	20	19.00	S	19	18	18.50	S
	18	19	18.50	S	19	19	19.00	S
Ceftazidima	24	25	24.50	S	22	21	21.50	S
	23	24	23.50	S	15	16	15.50	I
	25	25	25.00	S	23	23	23.00	S
	26	26	26.00	S	24	25	24.50	S
	24	23	23.50	S	24	25	24.50	S
	26	25	25.50	S	24	25	24.50	S
Tetraciclina	22	21	21.50	S	19	20	19.50	S
	20	20	20.00	S	21	20	20.50	S
	17	18	17.50	I	22	22	22.00	S
	21	21	21.00	S	20	21	20.50	S
	23	22	22.50	S	22	21	21.50	S
	24	22	23.00	S	21	21	21.00	S
Trimetoprim sulfametoxazol	18	19	18.50	S	17	18	17.50	S
	9	9	9.00	R	9	8	8.50	R
	11	12	11.50	I	8	9	8.50	R
	12	12	12.00	I	19	18	18.50	S
	13	12	12.50	I	19	18	18.50	S
	13	12	12.50	I	19	17	18.00	S

R: repetición. Prom: promedio. Rpta: respuesta de susceptibilidad antimicrobiana. S: sensible. I: intermedio. R: resistente.

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 10**

*Halos de susceptibilidad (mm) de Escherichia coli aisladas de las aguas del Malecón*

*Los Incas.*

Antibiótico	Zona sur				Zona norte			
	R1	R2	Prom	Rpta	R1	R2	Prom	Rpta
<b>Ampicilina</b>	12	11	11.50	R	14	14	14.00	I
	11	11	11.00	R	14	15	14.50	I
	15	15	15.00	I	12	11	11.50	R
	10	11	10.50	R	10	11	10.50	R
	11	11	11.00	R	11	12	11.50	R
	10	9	9.50	R	14	15	14.50	I
<b>Ceftazidima</b>	17	17	17.00	I	13	12	12.50	R
	13	12	12.50	R	10	10	10.00	R
	12	12	12.00	R	9	10	9.50	R
	12	13	12.50	R	10	11	10.50	R
	11	12	11.50	R	16	18	17.00	I
	12	12	12.00	R	13	12	12.50	R
<b>Tetraciclina</b>	13	13	13.00	R	14	12	13.00	R
	13	12	12.50	R	11	12	11.50	R
	12	12	12.00	R	12	12	12.00	R
	12	13	12.50	R	12	10	11.00	R
	10	12	11.00	R	12	11	11.50	R
	12	11	11.50	R	11	10	10.50	R
<b>Trimetoprim sulfametoxazol</b>	9	9	9.00	R	10	9	9.50	R
	8	7	7.50	R	8	7	7.50	R
	7	7	7.00	R	9	8	8.50	R
	12	12	12.00	I	11	12	11.50	I
	9	9	9.00	R	12	13	12.50	I
	7	8	7.50	R	13	13	13.00	I

R: repetición. Prom: promedio. Rpta: respuesta de susceptibilidad antimicrobiana. S: sensible. I: intermedio. R: resistente.

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 11**

*Halos de susceptibilidad (mm) de Staphylococcus aureus aisladas de las embarcaciones recreativas del Malecón Los Incas.*

Antibiótico	Pasamanos				Timón			
	R1	R2	Prom	Rpta	R1	R2	Prom	Rpta
Oxacilina	13	13	13.00	S	14	15	14.50	S
	14	15	14.50	S	15	15	15.00	S
	15	15	15.00	S	19	20	19.50	S
	14	13	13.50	S	19	17	18.00	S
	14	15	14.50	S	17	18	17.50	S
	14	14	14.00	S	16	16	16.00	S
Ciprofloxacina	22	23	22.50	S	22	24	23.00	S
	23	24	23.50	S	22	23	22.50	S
	24	24	24.00	S	24	25	24.50	S
	23	25	24.00	S	25	25	25.00	S
	24	23	23.50	S	23	24	23.50	S
	22	23	22.50	S	22	23	22.50	S
Tetraciclina	20	21	20.50	S	19	21	20.00	S
	22	21	21.50	S	20	22	21.00	S
	22	22	22.00	S	22	23	22.50	S
	24	25	24.50	S	23	23	23.00	S
	22	23	22.50	S	28	28	28.00	I
	15	17	16.00	I	18	20	19.00	S
Trimetoprim sulfametoxazol	10	9	9.50	R	18	17	17.50	S
	6	7	6.50	R	19	21	20.00	S
	17	17	17.00	S	20	22	21.00	S
	18	19	18.50	S	22	21	21.50	S
	17	16	16.50	S	20	21	20.50	S
	18	18	18.00	S	22	23	22.50	S

R: repetición. Prom: promedio. Rpta: respuesta de susceptibilidad antimicrobiana. S: sensible. I: intermedio. R: resistente.

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 12**

*Halos de Susceptibilidad (mm) de Staphylococcus aureus aisladas de las aguas del Malecón Los Incas.*

Antibiótico	Zona sur				Zona norte			
	R1	R2	Prom	Rpta	R1	R2	Prom	Rpta
<b>Oxacilina</b>	8	7	7.50	R	14	13	13.50	S
	12	12	12.00	I	14	15	14.50	S
	9	8	8.50	R	15	15	15.00	S
	11	11	11.00	I	11	11	11.00	I
	12	12	12.00	I	15	16	15.50	S
	12	12	12.00	I	15	16	15.50	S
<b>Ciprofloxacina</b>	17	17	17.00	I	14	12	13.00	R
	15	13	14.00	R	12	13	12.50	R
	13	14	13.50	R	12	12	12.00	R
	16	16	16.00	I	13	14	13.50	R
	17	16	16.50	I	14	14	14.00	R
	16	17	16.50	I	12	14	13.00	R
<b>Tetraciclina</b>	13	13	13.00	R	12	11	11.50	R
	12	12	12.00	R	11	12	11.50	R
	12	11	11.50	R	12	12	12.00	R
	12	11	11.50	R	14	10	12.00	R
	11	11	11.00	R	12	14	13.00	R
	12	12	12.00	R	14	12	13.00	R
<b>Trimetoprim sulfametoxazol</b>	10	9	9.50	R	10	8	9.00	R
	8	8	8.00	R	8	8	8.00	R
	8	9	8.50	R	9	8	8.50	R
	9	7	8.00	R	9	7	8.00	R
	7	8	7.50	R	7	7	7.00	R
	7	9	8.00	R	7	9	8.00	R

R: repetición. Prom: promedio. Rpta: respuesta de susceptibilidad antimicrobiana. S: sensible. I: intermedio. R: resistente.

Fuente: Elaboración propia.

### Figura 5

*Recolección de muestras de agua en la laguna del Malecón Los Incas de la ciudad de Puno.*



Fuente: Elaboración propia.

### Figura 6

*Preparación de medios de cultivos para los aislamientos bacterianos.*



Fuente: Elaboración propia.



### Figura 7

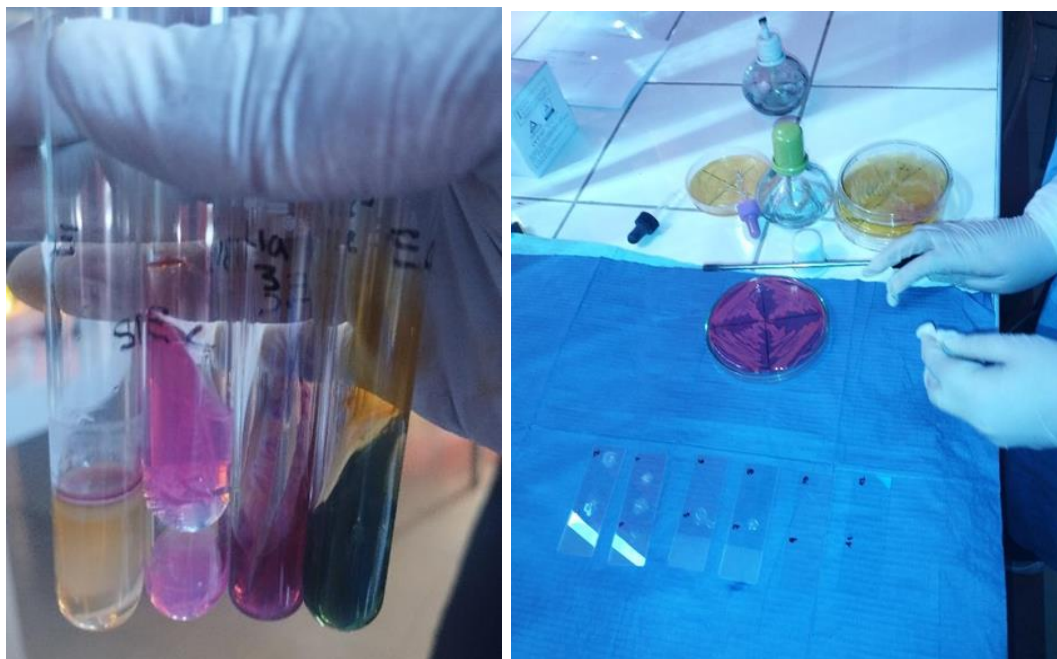
*Aislamiento en cultivo puro de Escherichia coli y Staphylococcus aureus.*



Fuente: Elaboración propia.

### Figura 8

*Pruebas bioquímicas de catalasa y medios diferenciales en Escherichia coli y Staphylococcus aureus.*



Fuente: Elaboración propia.



### Figura 9

*Aislamientos en cultivo puro de Escherichia coli y Staphylococcus aureus y placas Petri con agar Mueller Hinton.*



Fuente: Elaboración propia.

### Figura 10

*Preparación de las diluciones bacterianas equivalente al estándar 0.5 de McFarland.*



Fuente: Elaboración propia.

### Figura 11

*Preparación de antibiogramas con discos de antibióticos para la determinación de la susceptibilidad antimicrobiana en bacterias aisladas.*



Fuente: Elaboración propia.

### Figura 12

*Resultados de los diámetros de halos de inhibición en bacterias expuestas a discos con antibióticos.*



Fuente: Elaboración propia.



*Universidad Nacional del Altiplano*  
**Facultad de Ciencias Biológicas**

Ciudad Universitaria – Teléfono 36 6189 – Apartado Postal 291



**CONSTANCIA N° 035-2024-D-FCCBB-UNA**

EL QUE SUSCRIBE, DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO.

HACE CONSTAR.

Que, la Bachiller **FANNY KATHYUSKA CALCINA CALCINA**, egresada de la Escuela Profesional de Biología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, ha realizado su trabajo de investigación (tesis), titulado “**SUSCEPTIBILIDAD ANTIMICROBIANA DE ESCHERICHIA COLI Y STAPHYLOCOCCUS AUREUS AISLADAS DE MUESTRAS DE EMBARCACIONES RECREATIVAS Y EL AGUA DEL MALECON LOS INCAS DE LA CIUDAD DE PUNO**”, en el Laboratorio de Microbiología Clínica, de la Escuela Profesional de Biología, Facultad de Ciencias Biológicas, en los meses de mayo, junio y julio del 2023.

Se expide la presente constancia a solicitud de la interesada, para los fines que estime por conveniente.

Puno, 05 de agosto del 2024



Dr. BELISARIO MANTILLA MENDOZA  
DECANO

cc:  
Archivo 2024  
BMMsrcq-







**AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE  
INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL**

Por el presente documento, Yo FANNY KATHYUSKA CALCINA CALCINA,  
identificado con DNI 74924270 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

BIOLOGÍA

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“SUSCEPTIBILIDAD ANTIMICROBIANA DE escherichia coli Y staphylococcus aureus EN EMBARCACIONES RECREATIVAS Y AGUAS DEL MARECÓN LOS INCA DE LA CIUDAD DE PUNO, 2022”

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

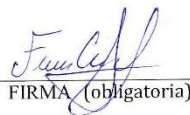
En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 16 de DICIEMBRE del 2024

  
FIRMA (obligatoria)



Huella



### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo FANNY KATHYUSKA CALVINA CALVINA  
identificado con DNI 74924270 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado  
BIOLOGIA

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:  
" SUSCEPTIBILIDAD ANTIMICROBIANA DE escherichia coli Y  
staphylococcus aureus EN EMBARCACIONES RECREATIVAS Y  
AGUAS DEL MALECON LOS INCAS DE LA CIUDAD DE PUNO, 2022 "

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 16 de DICIEMBRE del 2024

  
FIRMA (obligatoria)



Huella