



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD XOCHIMILCO**

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO EL HOMBRE Y SU AMBIENTE
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

**INFORME FINAL DE SERVICIO SOCIAL POR
ACTIVIDADES VINCULADAS CON LA PROFESIÓN**
**“DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A
ANTIMICROBIANOS Y PRODUCCIÓN DE BIOPELÍCULAS
DE BACTERIAS ASOCIADAS A LOS MANGLARES DE
TECOLUTLA VERACRUZ”**

**QUE PRESENTA LA ALUMNA
GUADALUPE MONTSERRAT FERNANDEZ AVALOS**

MATRÍCULA: 2203018199

ASESORAS

Dra. Ana Karina Rodríguez Vicente

No. económico 34395

Departamento el Hombre y su Ambiente

Dra. Martha Rodríguez Gutiérrez

No. económico 3059

Departamento el Hombre y su Ambiente

Resumen

Los manglares son ecosistemas de gran importancia ecológica debido a su alta productividad y a las funciones que desempeñan en el reciclaje de nutrientes, la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de comunidades microbianas.

En estos ambientes, las bacterias pueden desarrollar mecanismos de adaptación como la resistencia a antibióticos y la formación de biopelículas, los cuales favorecen su supervivencia y permanencia. El presente trabajo tuvo como objetivo determinar la resistencia a antibióticos y la formación de biopelículas en bacterias aisladas de los manglares de Tecolutla, Veracruz, para ello, se recolectaron muestras de agua en diferentes sitios del manglar y se realizó el aislamiento e identificación bacteriana mediante técnicas microbiológicas. La susceptibilidad antimicrobiana se evaluó mediante la técnica de difusión en disco de Kirby-Bauer frente a doce antibióticos, mientras que la formación de biopelículas se determinó utilizando el método de placa de microtitulación con tinción de cristal violeta.

Los resultados mostraron perfiles variables de resistencia, con mayor frecuencia ante ampicilina, cefalotina y cefotaxima, mientras que ciprofloxacino, cloranfenicol, netilmicina y norfloxacino presentaron una elevada actividad inhibitoria.

Asimismo, todas las cepas fueron clasificadas como altas productoras de biopelículas, lo que evidencia una importante capacidad de adaptación y persistencia en el ecosistema. Estos hallazgos resaltan la importancia del monitoreo microbiológico de los manglares para comprender la dinámica de la resistencia antimicrobiana y su posible impacto en la salud ambiental.

Palabras clave: **resistencia antimicrobiana, biopelículas, manglares, Tecolutla, Veracruz, microbiología ambiental.**

INDICE

1. Introducción	4
2. Lugar de realización del servicio social.....	5
3. Marco institucional, misión y visión de la institución. compromiso social	6
4. Objetivo de las actividades realizadas	6
Objetivo General	6
Objetivos Particulares	6
a) Recolección de muestras.	7
b) Cultivos bacteriológicos	7
c) Tinciones	8
d) Identificación de las bacterias	8
e) Prueba de resistencia a antibióticos	9
f) Ensayo de formación de biopelículas mediante ensayo en placa de microtitulación	13
6. Descripción del vínculo de las actividades desarrolladas con los objetivos de formación del plan de estudios	18
7. Referencias	19
8. Anexo fotográfico.....	21

1. Introducción

Los manglares son ecosistemas altamente productivos los cuales desempeñan funciones ecológicas tales como la protección costera, el reciclaje de nutrientes y el mantenimiento de una gran biodiversidad, además gracias a estos es posible que existan hábitats en donde se desarrollan complejas comunidades microbianas involucradas en procesos biogeoquímicos fundamentales para el buen funcionamiento de este ecosistema (Rodríguez y Gómez, 2016).

Las comunidades bacterianas presentes en los manglares suelen poseer una notable capacidad para adaptarse a condiciones variables, como los cambios en la salinidad, disponibilidad de nutrientes y presencia de contaminantes. Estas características favorecen la aparición y la persistencia de mecanismos que permiten la supervivencia bacteriana en ambientes hostiles, incluyendo la resistencia a compuestos antimicrobianos (Troncoso et al., 2017).

La resistencia antimicrobiana actualmente representa uno de los principales problemas de salud pública a nivel mundial. Las bacterias por sí mismas pueden desarrollar mecanismos que limitan la acción de los antibióticos, entre ellos modificaciones estructurales de la pared celular, alteraciones en la permeabilidad de membrana y sistemas de expulsión activa de compuestos antimicrobianos. Estos mecanismos incrementan la supervivencia bacteriana y dificultan el control de poblaciones resistentes (Troncoso et al., 2017).

Otro mecanismo de supervivencia bacteriana es la formación de biopelículas. Las biopelículas son comunidades microbianas organizadas que crecen adheridas a superficies y se encuentran inmersas en una matriz extracelular producida por los microorganismos. Esta estructura proporciona protección frente a condiciones ambientales adversas lo que favorece una elevada tolerancia a agentes antimicrobianos (Ortega Peña y Hernández Zamora, 2018).

La capacidad de formar biopelículas favorece además la persistencia bacteriana y la transferencia de material genético entre microorganismos, contribuyendo potencialmente a la dispersión de genes asociados con resistencia antimicrobiana. Debido a ello, el estudio conjunto de la resistencia antimicrobiana y la formación de

Considerando esto y la relevancia de los ecosistemas de manglar, el presente trabajo tuvo como finalidad evaluar la resistencia antimicrobiana y la capacidad de formación de biopelículas en cepas bacterianas aisladas de diferentes sitios de los manglares de Tecolutla, Veracruz.

El trabajo se realizó en el Laboratorio de Bacteriología del Laboratorio de Reproducción, Genética y Sanidad Acuícola del Departamento El Hombre y su Ambiente de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco, cuya ubicación es Calzada del Hueso No. 1100, Col, Villa Quietud, Alcaldía Coyoacán, C. P. 04960 (Figura 1).



5

3. Marco institucional, misión y visión de la institución. compromiso social

La Universidad Autónoma Metropolitana nace con la ley para su creación que entró en vigor el 1° de enero de 1974. Nació como una institución descentralizada del Estado, Autónoma, con personalidad jurídica y patrimonio propio. El dictamen de la Comisión del Senado, aparte de dotar a la nueva Universidad con personalidad jurídica y patrimonio propio, la consideró como un centro coordinador de entidades desconcentradas con estructuras que facilitaran el cumplimiento de sus objetivos:

- ✓ Impartir estudios de Licenciatura, Maestría y Doctorado, así como cursos de actualización y especialización.
- ✓ Promover la educación extramuros.
- ✓ Organizar y desarrollar actividades de investigación científica y humanística.
- ✓ Preservar y difundir la cultura.

En el Departamento El Hombre y su Ambiente se ubican áreas de investigación, las cuales son conformada por académicos cuyo perfil es el de profesor-investigador, estos realizan actividades de investigación alrededor de líneas comunes, participan en docencia a nivel de licenciatura y posgrado en áreas de su competencia y colaboran entre sí y con pares externos a la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco por medio de redes interinstitucionales, nacionales e internacionales para facilitar sus actividades académicas y promover la difusión de la investigación.

4. Objetivo de las actividades realizadas

Objetivo General

Determinar la resistencia y producción de biopelículas de bacterias asociadas al mangle rojo *Rhizophora mangle* de Tecolutla, Veracruz.

Objetivos Particulares

- Recolectar muestras de agua en diferentes puntos del manglar.
- Aislar y purificar las colonias bacterianas obtenidas en diferentes medios de

cultivo.

- Caracterizar morfológica y microscópicamente las colonias bacterianas mediante tinciones.
- Identificar los géneros y especies de las bacterias.
- Determinar el perfil de resistencia a antibióticos de las bacterias aisladas mediante pruebas de susceptibilidad.
- Comparar los perfiles de resistencia entre las bacterias de las diferentes zonas de muestreo.
- Determinar la producción de biopelículas de las bacterias aisladas.

5. Descripción específica de las actividades realizadas

a) Recolección de muestras.

Se realizó un muestreo en los manglares de Tecolutla, Veracruz, se tomaron diez muestras de los siguientes sitios:

- Zona De Aves
- Manglar Del Silencio
- Embarcadero
- Brazo De Río
- Estero De La Mojarra
- Cueva Del Pirata
- Zacatal

b) Cultivos bacteriológicos

Primero se realizó un preenriquecimiento colocando las muestras de agua en caldo nutritivo y agua peptonada para transportarlas al laboratorio y se realizó en diferentes medios de cultivo de acuerdo con (Cappuccino y Welsh, 2017) tales como:

- ✓ Agar Soya Trypticaseína (medio general).
- ✓ Agar MacConkey para Enterobacterias.

✓ Agar Eosina Azul de Metileno (EMB) para Enterobacterias.

✓ Agar Tiosulfato Citrato Bilis Sacarosa (TCBS) para Vibrios

Una vez que hubo crecimiento, se utilizaron medios diferenciales para poder realizar la identificación, dichos medios fueron los siguientes:

✓ Agar KF para Estreptococos

✓ Agar Salmonella-Shigella para diferenciar especies de Salmonella o Shigella.

c) Tinciones

Una vez que se obtuvo el crecimiento de las diferentes colonias en los cultivos se procedió a realizar tinciones con el objeto de continuar con la identificación. En el caso de diferenciar las bacterias Gram positivas de las Gram negativas se hizo la Tinción de Gram y para la identificación de bacterias esporuladas se utilizó la Tinción de Schaeffer-Fulton (Willey, Sherwood y Woolveton, 2020).

d) Identificación de las bacterias

Para la identificación de las bacterias se utilizaron pruebas bioquímicas tales como: SIM (indol, movilidad y producción de H₂S), Rojo de Metilo, Vogues Proskauer, Citrato, Triple Hierro y Azúcar, además de las pruebas de oxidasa y catalasa (Martinez-Castañeda et al., 2022).

Se identificaron 12 cepas bacterianas pertenecientes a los géneros *Citrobacter*, *Salmonella*, *Serratia*, *Pseudomonas*, *Klebsiella*, *Enterococcus* y *Proteus* (Tabla 1).

Tabla 1. Bacterias identificadas.

<i>Citrobacter freundii</i>
<i>Citrobacter braakii</i>
<i>Salmonella entérica arizonae</i>
<i>Serratia marcescens</i>
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
<i>Klebsiella pneumoniae</i>
<i>Enterococcus</i> sp
<i>Salmonella</i> sp
<i>Citrobacter freundii</i>
<i>Enterococcus</i> sp
<i>Proteus mirabilis</i>
<i>Proteus</i> sp

e) Prueba de resistencia a antibióticos

La evaluación de la susceptibilidad antimicrobiana se realizó mediante la técnica de difusión en disco de Kirby-Bauer sobre agar Mueller Hinton (Hudzicki, 2009).

Para estas pruebas, se colocaron 100 µL de inóculo de cada una de las cepas bacterianas en caldo soya tripticaseína, y se incubaron durante 24 horas. Posteriormente se realizó la estandarización de los inóculos con solución salina utilizando el patrón de turbidez McFarland de 0.5. (Arzate-Contreras et al., 2020)

Una vez que se obtuvieron las estandarizaciones, se inoculó uniformemente la suspensión bacteriana sobre la superficie del agar y se colocaron los sensidiscos de la marca IDLAB impregnados de diferentes antimicrobianos, una vez realizada la prueba se dejaron incubar a 37 °C durante 24 horas. Después de la incubación correspondiente, se registraron diámetros de los halos de inhibición y se clasificó la respuesta de cada cepa frente a los antibióticos evaluados (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados de susceptibilidad antimicrobiana en cepas bacterianas asociadas a los manglares.

Bacteria	Antibiótico/Halo de inhibición																							
	N F	m m	A M	m m	C B	m m	C F	m m	CF X	m m	CP F	m m	C L	m m	A K	m m	G E	m m	NE T	m m	NO F	m m	SX T	m m
<i>Citrobacter freundii</i>	S	1	S	8	S	1	S	16	S	7	S	8	S	1	S	7	S	8	S	1	S	5	S	1
<i>Citrobacter braakii</i>	S	6	R		S	11	R		S	12	S	12	S	1	S	3	S	4	S	5	S	4	S	7
<i>Salmonella entérica arizonae</i>	S	6	R		R		S	4	R		S	8	S	6	S	5	S	6	S	7	S	9	S	8
<i>Serratia marcescens</i>	R		R		S	8	R		S	11	S	9	S	5	S	4	S	4	S	7	S	6	S	7
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	S	11	S	6	S	7	S	4	R		S	7	S	7	R		R		S	3	S	8	S	11
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	S	5	R		R		S	9	S	12	S	1	S	9	S	7	S	5	S	6	S	8	S	7
<i>Enterococcus sp</i>	S	7	S	5	S	6	S	3	R		S	3	S	6	R		R		S	2	S	4	S	8
<i>Salmonella sp</i>	S	7	R		R		R		S	8	S	9	S	7	S	6	S	2	S	3	S	8	R	
<i>Citrobacter freundii</i>	S	6	R		S	6	S	3	S	3	S	8	S	5	S	6	S	5	S	7	S	9	S	9
<i>Enterococcus sp</i>	S	7	S	5	S	6	S	3	R		S	3	S	6	R		R		S	2	S	4	S	8
<i>Proteus mirabilis</i>	S	1	S	4	S	1	R		R		S	7	S	5	R		R		S	8	S	1	S	1
<i>Proteus sp</i>	R		R		I	1	R		S	4	S	5	R		S	1	S	1	S	1	S	1	R	

NF= Nitrofurantoina, AM= Ampicilina, CB= Carbenicilina, CF= Cefalotina, CFX= Cefotaxima, CPF= Ciprofloxacino, CL= Cloranfenicol, AK= Amikacina, GE= Gentamicida, NET=Netilmicina, NOF= Norfloxacino, SXT= Sulfametoxazol/Trimetoprim, S (Susceptible), R (Resistente) e I (Intermedio, halo de inhibición (mm)).

Los resultados de las pruebas de susceptibilidad antimicrobiana mostraron que las doce cepas bacterianas aisladas del manglar presentaron perfiles de resistencia variables frente a los doce antibióticos evaluados (Tabla 2). De manera complementaria, la figura 2 resume la frecuencia de resistencia observada para cada antibiótico, permitiendo visualizar que la resistencia no se distribuyó de manera uniforme entre los antibióticos analizados.

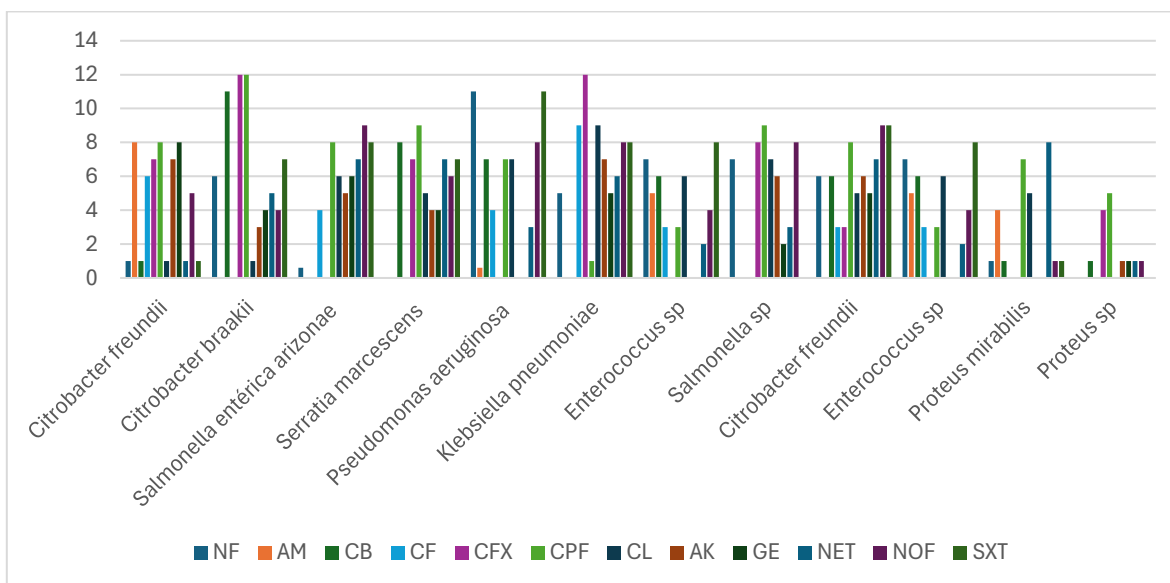


Figura 2. Porcentaje de cepas bacterianas resistentes a cada uno de los antibióticos evaluados. Los valores representan la proporción de cepas clasificadas como resistentes o sensibles, de acuerdo con los criterios del Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI,2008).

Como se observa en la figura 2, la resistencia bacteriana no fue uniforme entre los antibióticos evaluados. La mayor frecuencia de resistencia se presentó frente a ampicilina (AM), seguida de cefalotina (CF) y cefotaxima (CFX), mientras que ciprofloxacino (CPF), cloranfenicol (CL), netilmicina (NET) y norfloxacino (NOF) mostraron actividad inhibitoria frente a todas las cepas analizadas. Cepas como *Serratia marcescens*, *Proteus sp.*, *Salmonella sp.*, *Klebsiella pneumoniae*, *Citrobacter braakii* y *Salmonella entérica arizonae* presentaron resistencia a uno o más de estos antibióticos. Este comportamiento coincide con lo que se menciona en la investigación de Troncoso et al. (2017), quienes señalan que la resistencia a antibióticos β -lactámicos se encuentra distribuida entre bacterias ambientales debido a la producción de β -lactamasas, ya que producen modificaciones en la que la

permeabilidad de la membrana y sistemas de expulsión activa los compuestos antimicrobianos.

La resistencia observada frente a ampicilina resulta importante ya que este antibiótico es perteneciente al grupo de los β -lactámicos, una de las familias más utilizadas en la medicina. Estudios han demostrado que la exposición continua de las bacterias a residuos de antibióticos presentes en ambientes acuáticos favorece la selección de microorganismos resistentes (Rodríguez y Jiménez-Quinceno, 2023).

Antibióticos como Ciprofloxacino (CPF), Norfloxacino (NOF), Netilmicina (NET) y Sulfametoxazol/Trimetoprim (SXT) mostraron actividad inhibitoria frente a la mayoría de las cepas evaluadas, lo que puede representar que dichos antibióticos aún conservan eficacia ante microorganismos del manglar.

La cepa *Enterococcus sp.* presentó uno de los perfiles de resistencia más amplios al igual que *Serratia marcescens* y *Proteus sp.*, en contraste, *Citrobacter freundii* presentó sensibilidad frente a todos los antibióticos que se evaluaron.

Palacios et al. (2021), documentaron la presencia de bacterias multirresistentes y genes de resistencia antimicrobianas en ecosistemas de manglar. Sugieren que este ambiente puede actuar como reservorio natural de bacterias resistentes debido a la influencia de descargas de aguas residuales y actividades urbanas provenientes de zonas adyacentes.

En conjunto, los resultados obtenidos evidencian que las bacterias asociadas al manglar de Tecolutla Veracruz presentan perfiles de susceptibilidad heterogéneos, coexistiendo cepas completamente susceptibles con otras que muestran resistencia a diferentes familias de antibióticos. La información presentada en la Figura 2 permite identificar de manera clara la distribución de la resistencia a diferentes familias de antibióticos evaluados, mientras que la tabla 2 muestra las diferencias existentes entre las bacterias aisladas. Estos hallazgos resaltan la importancia de continuar monitoreando la resistencia antimicrobiana en ecosistemas de manglar, ya que estos ambientes pueden actuar como reservorios de bacterias resistentes y de genes de resistencia con posible impacto en la salud ambiental y la salud pública.

f) Ensayo de formación de biopelículas mediante ensayo en placa de microtitulación

El ensayo de formación de biopelículas mediante placa de microtitulación es una técnica ampliamente utilizada para evaluar la capacidad de los microorganismos de adherirse a superficies y formar biopelículas. El método consiste en inocular una suspensión bacteriana en una placa de 96 pozos e incubarla durante un periodo determinado para permitir la adhesión y el desarrollo de biopelículas. Posteriormente, las células no adheridas se eliminan mediante lavados, mientras que la biopelícula restante se tiñe con cristal violeta. Finalmente, el colorante retenido se cuantifica mediante un lector de microplacas, donde la absorbancia obtenida será proporcional a la biomasa de las biopelículas formadas (O'Toole, 2011).

Para llevar a cabo esta técnica, se prepararon inóculos de las cepas bacterianas en caldo de soya tripticaseína se dejaron incubar por 24 horas. Posteriormente los tubos se diluyeron con solución salina hasta obtener un patrón de 0.5 McFarland, luego se transfirieron 200 µL de la mezcla a un pocillo de microplaca de 96 pozos de poliestireno de fondo plano, la inoculación se realizó por triplicado para cada una de las cepas, se incluyó como control positivo una cepa de *Pseudomonas aeruginosa* y para el control negativo se utilizó solución salina.

Las muestras fueron sometidas a un proceso de lavado 3 veces con agua destilada para eliminar las bacterias no adherentes, después se agregó metanol para poder fijar las biopelículas, se tiñó con 200 µL de cristal violeta al 0.1 % y se dejaron reposar las placas durante 10 minutos para finalmente agregar 100 µL de solución etanol-cetona y proceder a la lectura de la densidad óptica a 595 nm en un lector ELISA (BioTek Instruments, Inc., Winooski, VT).

Para el análisis comparativo de los resultados de la prueba, se utilizó la clasificación empleada por Stepanović et al. (2000) (Tabla 3)

Tabla 3. Clasificación de la capacidad de formación de biopelículas por el método de placa de microtitulación.

Cálculo del valor	Media de los valores de OD	Capacidad de formación de biopelículas
$OD > 4XOD_c$	> 0.252	Alto
$2XOD_c < OD \leq 4XOD_c$	$0.126-0.252$	Moderada
$OD_c < OD \leq 2XOD_c$	$0.063-0.126$	Débil
$OD \leq 0.063$	< 0.063	Ninguna

Los hallazgos mostraron que las doce cepas bacterianas evaluadas fueron clasificadas como fuertes productoras de biopelículas, ya que todas presentaron valores de densidad óptica superiores al punto establecido por Stepanovié et al (2000). Con valores comprendidos entre 0.267 y 0.996 de absorbancia. Aunque todas las cepas fueron incluidas dentro de la misma categoría, se observaron diferencias en la cantidad de biomasa producida, lo que indica que algunas desarrollan biopelículas de mayor densidad que otras (Tabla 4).

Tabla 4. Formación de biopelículas en las cepas bacterianas de los manglares de Tecolutla Veracruz

Muestra	Densidad óptica	Producción de biopelícula
Control negativo	0.153	
Control positivo	1.677	
<i>Citrobacter freundii</i>	0.277	Alto
<i>Citrobacter braakii</i>	0.267	Alto
<i>Salmonella entérica arizonae</i>	0.381	Alto
<i>Serratia marcescens</i>	0.913	Alto
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	1.032	Alto
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	0.709	Alto
<i>Enterococcus sp.</i>	0.813	Alto
<i>Salmonella sp.</i>	0.359	Alto
<i>Citrobacter freundii</i>	0.502	Alto
<i>Enterococcus sp.</i>	0.424	Alto
<i>Proteus mirabilis</i>	0.593	Alto
<i>Proteus sp.</i>	0.323	Alto

En la figura 3 y tabla 4 se observa que los mayores niveles de absorbancia se registraron en *Salmonella sp.* (0.996) siendo el mayor valor registrado, lo que evidencia diferencias importantes en la cantidad de biomasa producida, *Serratia marcescens* (0.913), *Enterococcus sp.* (0.883) y *Pseudomonas aeruginosa* (0.862), lo que sugiere una mayor capacidad de adherencia y producción de matriz extracelular. En contraste *Citrobacter braakii* (0.267) y *Citrobacter freundii* (0.277) presentaron los valores más bajos de absorbancia, estas últimas continuaron clasificándose como altos productores, pero es posible que desarrollen biopelículas de menor densidad, lo que refleja la variabilidad existente entre las especies de bacterias aisladas.

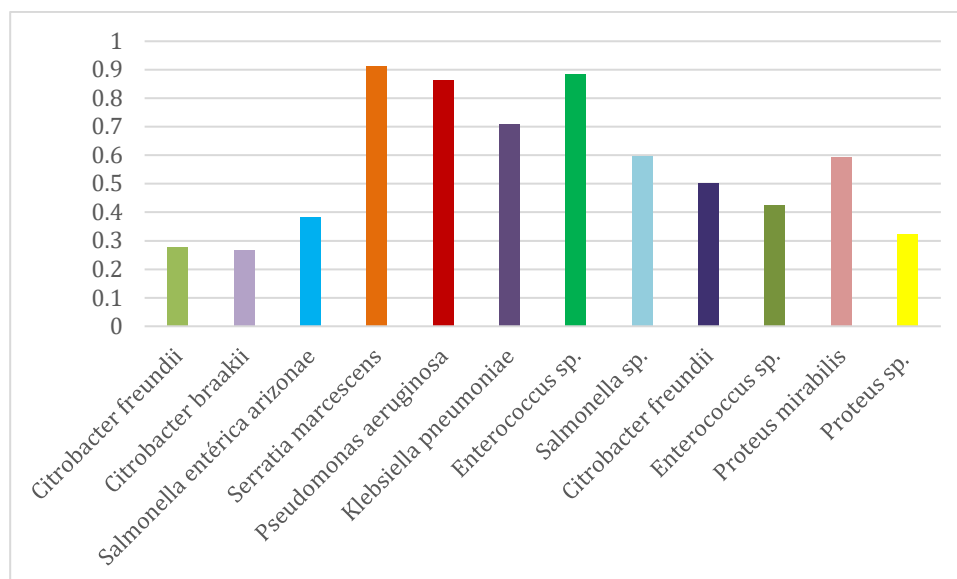


Figura 3. Valores de densidad óptica, obtenidos en el ensayo de formación de biopelículas de las cepas bacterianas aisladas del manglar.

La formación de biopelículas constituye una de las estrategias de crecimiento bacteriano frecuente en la naturaleza. Nazar (2007) señala que las biopelículas corresponden a comunidades microbianas adheridas a una superficie e inmersas en una matriz extracelular sintetizada por los propios microorganismos. Esta forma de organización permite a las bacterias establecer asociaciones estables con diferentes sustratos lo que favorece la permanencia de las poblaciones microbianas en diversos ambientes. La capacidad de todas las cepas aisladas de los manglares sugiere que la formación de biopelículas constituye una característica ampliamente distribuida entre los microorganismos presentes en el ecosistema estudiado (Nazar, 2007).

Por otra parte, Ortega Peña y Hernández Zamora (2018), mencionan que la matriz extracelular de las biopelículas está compuesta principalmente por polisacáridos, proteínas y ADN extracelular. Estos elementos proporcionan estabilidad estructural a la comunidad bacteriana. Además, indican que esto favorece la adhesión a superficies lo que contribuye a una organización estructural de los microorganismos.

Considerando que todas las cepas evaluadas fueron clasificadas como altos productores de biopelículas, indican que tienen gran capacidad para desarrollar este

tipo de estructuras organizadas, lo que refleja un importante potencial de colonización sobre diferentes superficies presentes en el manglar.

Las biopelículas desempeñan un papel fundamental en ecosistemas asociados a plantas debido a que favorecen la colonización de superficies y permiten la interacción con los microorganismos. Estas estructuras contribuyen al mantenimiento de comunidades microbianas (Loera Muro y Caamal Chan, 2023). Considerando que las cepas estudiadas fueron aisladas de un ambiente asociado a los manglares, la elevada capacidad de formación de biopelículas podría estar relacionada con la necesidad de los microorganismos de mantenerse adheridos a los sustratos disponibles dentro del manglar.

Nazar (2007) menciona que la formación de biopelículas representa una ventaja para las bacterias debido a que la matriz extracelular funciona como un entorno organizado donde los microorganismos pueden desarrollarse colectivamente. Por otra parte, Ortega Peña y Hernández Zamora (2018) mencionan que las biopelículas constituyen estructuras dinámicas capaces de favorecer la permanencia de las poblaciones bacterianas en distintos ambientes. Los resultados obtenidos permiten demostrar que la capacidad de formar biopelículas constituye un mecanismo importante para la persistencia de las bacterias asociadas a los manglares (Nazar, 2007; Ortega Peña y Hernández Zamora, 2018).

Al comparar los resultados obtenidos en ambas pruebas, se observó que cepas como *Serratia marcescens*, *Proteus* sp. y *Enterococcus* sp. presentaron tanto resistencia frente a diversos antibióticos como una elevada formación de biopelículas. Aunque en el presente trabajo no se realizó un análisis donde se represente una asociación entre ambas variables, esta coincidencia resulta relevante. La literatura ha descrito que las biopelículas pueden favorecer la tolerancia bacteriana frente a antibióticos (Ortega-Peña y Hernández-Zamora, 2018). Lo que resalta la importancia ecológica de estos microorganismos, los resultados obtenidos constituyen una base para comprender los mecanismos de las bacterias de los ecosistemas de manglar.

6. Descripción del vínculo de las actividades desarrolladas con los objetivos de formación del plan de estudios

Los manglares son ecosistemas estratégicos que brindan múltiples servicios ecosistémicos, como la protección costera, regulación climática y provisión de recursos para comunidades locales. Sin embargo, su conservación depende en gran medida de la comprensión de los procesos microbianos que mantienen su funcionamiento. Investigaciones han demostrado que el microbiota de los manglares cumple funciones esenciales en los ciclos de carbono, nitrógeno y fósforo, además de participar en la degradación de compuestos orgánicos y en la resiliencia del ecosistema (Santana et al., 2021). Representa una contribución significativa para la conservación ambiental y el bienestar social. Asimismo, se ha documentado que la actividad metabólica de bacterias en estos ecosistemas influye en la calidad del carbono, reforzando su papel en la regulación climática y ecológica (Roy et al., 2021). El análisis del microbiota en manglares no solo permite comprender su papel ecológico, sino también identificar bacterias con potencial resistencia a antibióticos. Esta información es de gran valor social, ya que la resistencia antimicrobiana representa una amenaza para la salud.

7. Referencias

- Arzate-Contreras, G.A., López-Hernández, K.M., Osuna-Ruiz, I., Vega-Sánchez, V. y Castro-Escarpulli, G., 2020. Caracterización fenotípica y susceptibilidad a antimicrobianos de *Aeromonas* spp. aisladas de tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Abanico Veterinario*, 10, e128. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/av/v10/2448-6132-av-10-e128.pdf>
- Cappuccino, J.G. y Welsh, C.T., 2017. *Microbiology: A Laboratory Manual*. 11th ed. New York: Pearson
- Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI), 2008. *Performance standards for antimicrobial disk and dilution susceptibility tests for bacteria isolated from animals: Approved standard*. 3rd ed. Document M31-A3. Wayne, PA: CLSI.
- Hudzicki, J., 2009. *Kirby-Bauer Disk Diffusion Susceptibility Test Protocol*. Washington, D.C.: American Society for Microbiology. Disponible en: <https://asm.org/protocols/kirby-bauer-disk-diffusion-susceptibility-test-pro> [Consultado: 30 mayo 2026].
- Loera-Muro, A. y Caamal-Chan, M.G., 2023. *Biopelículas en la rizósfera y su papel en la producción de compuestos antimicrobiales en el suelo*. *Terra Latinoamericana*, 41, e1733.
- Martínez-Castañeda, J.S., et al., 2022. Identificación y resistencia antimicrobiana de bacterias de tráquea de gallinas ponedoras. *Abanico Veterinario*, 12. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2448-61322022000100115&script=sci_arttext
- Nazar, J.C., 2007. *Biopelículas bacterianas*. *Revista de Otorrinolaringología y Cirugía de Cabeza y Cuello*.
- O'Toole, G.A., 2011. *Microtiter Dish Biofilm Formation Assay*. *Journal of Visualized Experiments*, 47, e2437. <https://doi.org/10.3791/2437>
- Ortega-Peña, S. y Hernández-Zamora, E., 2018. *Biopelículas microbianas y su impacto en áreas médicas*. *Acta Pediátrica de México*. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1665-11462018000200079&script=sci_arttext [Consultado: 29 mayo 2026].
- Palacios, O.A., Adame-Gallegos, J.R., Rivera-Chavira, B.E. y Nevarez-Moorillon, G.V., 2021. *Antibiotics, multidrug-resistant bacteria, and antibiotic resistance genes: Indicators of contamination in mangroves*. *Antibiotics*. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/antibiotics10091103>

- Rodríguez, E.A. y Jiménez-Quiceno, J.N., 2023. *Resistencia bacteriana a antibióticos en ambientes acuáticos: origen e implicaciones para la salud pública*. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*. Disponible en: https://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-386X2023000300003&script=sci_arttext [Consultado: 29 mayo 2026].
- Rodríguez, M. y Gómez, I., 2016. *Actividad microbiana en sedimentos superficiales del bosque de manglar (Rhizophora mangle) de la Bahía de Pertigalete (Anzoátegui, Venezuela), durante los períodos de surgencia y transición*. *Saber*, 28(3). Disponible en: https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1315-01622016000300008&script=sci_arttext [Consultado: 29 mayo 2026].
- Roy, S., Zhou, S., Wainaina, J.M., Liu, X. y Dai, Z., 2021. Microbial community structure and functions in mangrove sediments: Implications for carbon cycling and ecosystem functioning. *Science of the Total Environment*, 780, p.146597. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146597>
- Santana, C.O., Spealman, P., Melo, V.M.M., Gresham, D., de Jesus, T.B. y Chinalia, F.A., 2021. *Effects of tidal influence on the structure and function of prokaryotic communities in the sediments of a pristine Brazilian mangrove*. *Biogeosciences*. Disponible en: <https://doi.org/10.5194/bg-18-2259-2021>
- Stepanović, S., Vuković, D., Dakić, I., Savić, B. y Švabić-Vlahović, M., 2000. A modified microtiter-plate test for quantification of staphylococcal biofilm formation. *Journal of Microbiological Methods*, 40(2), pp.175–179. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0167-7012\(00\)00122-6](https://doi.org/10.1016/S0167-7012(00)00122-6)
- Troncoso, C., Pavez, M., Santos, A., Salazar, R. y Barrientos, L., 2017. *Implicancias estructurales y fisiológicas de la célula bacteriana en los mecanismos de resistencia antibiótica*. *International Journal of Morphology*. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-95022017000401214&script=sci_arttext [Consultado: 29 mayo 2026].
- Willey, J.M., Sherwood, L.M. y Woolverton, C.J., 2020. *Prescott's Microbiology*. 11th ed. New York: McGraw-Hill Education.

8. Anexo fotográfico

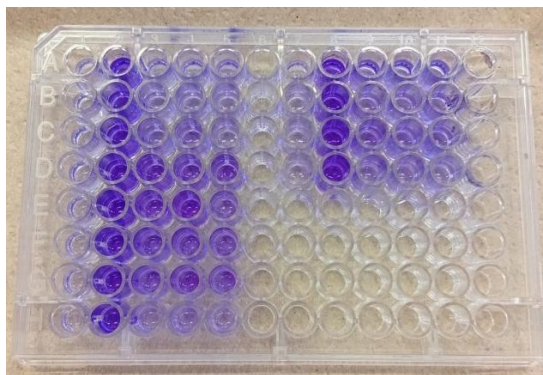
Anexo A. Prueba de sensibilidad antimicrobiana por difusión en disco (Kirby-Bahuer) utilizado para evaluar la sensibilidad de las cepas bacterianas ante los diferentes antibióticos.

Cepas	Registro fotográfico		
<i>Citrobacter freundii</i>			
<i>Citrobacter braakii</i>			
<i>Salmonella entérica arizonae</i>			
<i>Serratia marcescens</i>			
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>			
<i>Klebsiella pneumoniae</i>			
<i>Enterococcus sp.</i>			

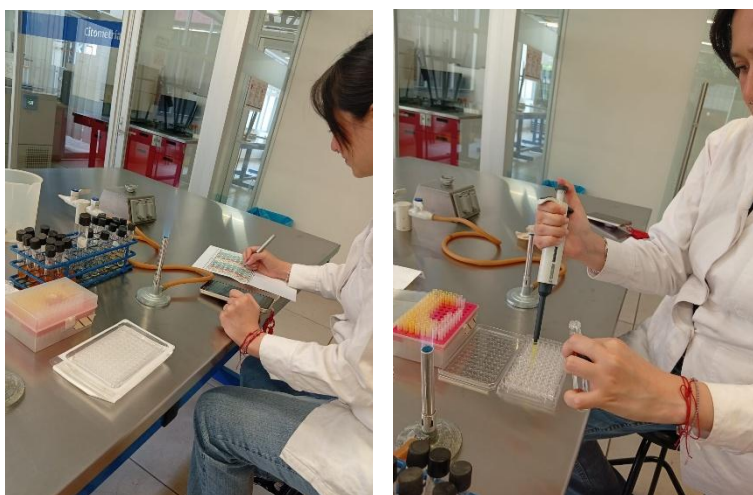
<i>Salmonella sp.</i>			
<i>Citrobacter freundii</i>			
<i>Enterococcus sp.</i>			
<i>Proteus mirabilis</i>			
<i>Proteus sp.</i>			



Anexo B. Disco de antibióticos utilizados en la prueba de susceptibilidad

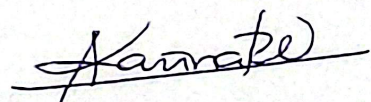


Anexo C. Ensayo de formación de biopelículas en microplaca de 96 pozos mediante tinción con cristal violeta.



Anexo D. Desarrollo del proceso experimental en laboratorio para la cuantificación de biopelículas mediante el método de placa de microtitulación.

Vo. Bo.



Dra. Ana Karina Rodríguez Vicente

No. Económico 34395

Departamento El Hombre y su Ambiente

Vo. Bo.



Dra. Martha Rodríguez Gutiérrez

No. económico 3059

Departamento El Hombre y su Ambiente