

Universidad Nacional

Sistema de Estudios de Posgrado

Posgrado Regional en Ciencias veterinarias Tropicales

Sede Central – Campus Benjamín Núñez



# MANEJO MÉDICO VETERINARIO DE RAYAS EN LOS ACUARIOS MICHIN DE MÉXICO

## Informe Final de Pasantía

SUSTENTANTE

KAROL STEFANY LÓPEZ BARAHONA

Trabajo final de graduación para optar por el título de Magíster en Medicina de la

Conservación

Noviembre de 2024

Universidad Nacional

Sistema de Estudios de Posgrado

Posgrado Regional en Ciencias veterinarias Tropicales

Sede Central – Campus Benjamín Núñez



MANEJO MÉDICO VETERINARIO DE RAYAS EN LOS ACUARIOS MICHIN DE  
MÉXICO

Informe Final de Pasantía

SUSTENTANTE

KAROL STEFANY LÓPEZ BARAHONA

Trabajo final de graduación para optar por el título de Magíster en Medicina de la  
Conservación

Noviembre de 2024

Miembros del tribunal examinador:

Randall Arguedas Porras\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Nombre

Firma

Kinndle Marta Blanco Peña\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Nombre

Firma

Sandra Estrada Kong\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Nombre

Firma

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Nombre

Firma

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Nombre

Firma

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN .....	7
AGRADECIMIENTOS .....	8
PASANTIA 1 .....	9
1. INTRODUCCIÓN .....	9
2. OBJETIVOS DE LA PASANTÍA .....	10
2.1 Objetivo General .....	10
2.2 Objetivos Específicos .....	10
3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	11
4. RESULTADOS O LOGROS Y DISCUSIÓN .....	11
4.1 RESULTADOS .....	11
4.2 DISCUSIÓN .....	14
REFERENCIAS .....	24
PASANTIA 2 .....	27
5. INTRODUCCIÓN .....	27
6. OBJETIVOS DE LA PASANTÍA .....	28
6.1 Objetivo General .....	28
6.2 Objetivos Específicos .....	28
7. MATERIALES Y MÉTODOS .....	29
8. RESULTADOS O LOGROS Y DISCUSIÓN .....	30

8.1	Resultados.....	30
8.2	Discusión .....	32
	REFERENCIAS .....	43
	ANEXOS .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Numero de muestras según especie y origen anatómico.....	12
--	----

## INDICE DE FIGURAS

No se encuentran elementos de tabla de ilustraciones.

## RESUMEN

Este trabajo se enfoca en dos áreas clave del manejo y estudio de rayas en ambientes controlados. En la primera pasantía, se evaluó la resistencia antimicrobiana de bacterias aisladas de cinco especies de rayas mediante técnicas de cultivo y antibiogramas. Se identificaron microorganismos prevalentes como *Photobacterium damsela* y *Vibrio spp.*, con patrones de resistencia significativos hacia antibióticos como ampicilina y amikacina. Los hallazgos resaltan la necesidad de implementar un uso racional de antibióticos para prevenir el desarrollo de resistencias.

En la segunda pasantía, se analizaron parámetros bioquímicos clave en *Rhinoptera steindachneri*, incluyendo proteínas plasmáticas, enzimas hepáticas y electrolitos, para establecer rangos de referencia fisiológicos. Los resultados mostraron variabilidad en algunos analitos, como la urea y los triglicéridos, influenciada por factores ambientales y metabólicos. Estas evaluaciones permiten comprender mejor la fisiología de esta especie y su respuesta a las condiciones ambientales.

Ambos estudios destacan la importancia del monitoreo microbiológico y bioquímico para garantizar la salud de las rayas en ambientes cautivos. Asimismo, refuerzan la necesidad de prácticas sostenibles en la acuicultura, integrando el manejo veterinario con estrategias de conservación. La comparación con otras especies marinas subraya la relevancia de enfoques interdisciplinarios para preservar la biodiversidad y mitigar el impacto antropogénico en los ecosistemas acuáticos.

## AGRADECIMIENTOS

Gigantesco agradecimiento a mi familia por siempre creer en mi potencial y brindarme todo su apoyo, paciencia y enseñanzas, muy especialmente a mi maravillosa hija quien además de ser muy paciente es mi mayor motor para trabajar en mi versión cada día.

A Randall Arguedas por su apoyo y enseñanzas y por ser el mejor ejemplo a seguir todos estos años.

A Kindle por su tiempo apoyo para culminar este proceso exitosamente.

A los directores técnicos del acuario especialmente a Juan Carlos Lehman por permitirme ingresar al acuario, sus organismos, expedientes y brindarme para confianza aplicar mis conocimientos y apoyarme en mi formación profesional día con día.

A todas aquellas personas que han hecho parte de este proceso apoyando para su ejecución y culminación.

IDENTIFICACIÓN BACTERIANA Y RESISTENCIA ANTIMICROBIANA EN  
RAYAS DEL ACUARIO MICHIN GUADALAJARA (2019-2024).

1. INTRODUCCIÓN

La resistencia antimicrobiana en ambientes acuáticos representa una preocupación creciente, especialmente en el caso de los elasmobranquios, como tiburones y rayas, que desempeñan roles fundamentales en los ecosistemas marinos. Este fenómeno afecta tanto la salud de estos organismos como la sostenibilidad de la acuicultura y la salud pública. La sobreutilización de antibióticos en la industria pesquera y en la medicina veterinaria ha llevado al desarrollo de bacterias resistentes, lo que representa un riesgo potencial para los ecosistemas y el consumo humano de productos marinos contaminados (Cabello et al., 2016; Zhang et al., 2019).

Los elasmobranquios son particularmente vulnerables debido a sus características biológicas y ecológicas únicas. La presencia de bacterias resistentes puede reducir la eficacia de los tratamientos antimicrobianos, resultando en infecciones crónicas que afectan su salud general y bienestar. Estudios recientes indican que estas infecciones incrementan la morbilidad y mortalidad en estas especies, alterando su crecimiento, reproducción y longevidad (Hernández et al., 2017; Wang et al., 2020). Además, la resistencia antimicrobiana en elasmobranquios tiene implicaciones ecológicas significativas, alterando la biodiversidad y el equilibrio de los ecosistemas marinos (Ruiz et al., 2020; González et al., 2022).

Es fundamental investigar la resistencia antimicrobiana en los elasmobranquios para diseñar estrategias que mitiguen su impacto. Esto incluye la promoción de prácticas sostenibles en la acuicultura y la implementación de políticas de uso responsable de antibióticos. La colaboración entre investigadores, acuicultores y autoridades es crucial para abordar este desafío global (FAO, 2020).

## 2. OBJETIVOS DE LA PASANTÍA

### 2.1 Objetivo General

Identificar las bacterias presentes en las rayas del Acuario Michin de Guadalajara y determinar su susceptibilidad a diferentes antibióticos, promoviendo el uso responsable de estos medicamentos para prevenir la resistencia antimicrobiana.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Identificar los microorganismos presentes en las rayas del Acuario Michin.
- Evaluar la susceptibilidad de estos microorganismos a diferentes antibióticos para establecer un perfil de resistencia.
- Contribuir al desarrollo de pautas para el uso responsable de antibióticos en la acuicultura y la medicina veterinaria.
- Promover prácticas de manejo sostenibles que ayuden a prevenir la resistencia antimicrobiana.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

Se llevó a cabo un muestreo oportunista entre 2019 y 2024 en rayas residentes del Acuario Michin, ubicado en Guadalajara, México. Las muestras se obtuvieron mediante hisopos estériles frotados suavemente en la cavidad oral o cloaca y colocadas en medios de transporte Stuart para su traslado al laboratorio Biokem. El procesamiento se realizó dentro de las primeras 24 horas utilizando el equipo Vitek 2 (Biomérieux) para la identificación bacteriana y antibiogramas por difusión con discos de sensibilidad.

Los datos obtenidos se analizaron estadísticamente mediante un análisis de frecuencias para determinar las bacterias más prevalentes y su perfil de resistencia. Además, se realizó un análisis de componentes principales (PCA) para explorar patrones en la resistencia a múltiples antibióticos y determinar factores asociados.

### 4. RESULTADOS O LOGROS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 RESULTADOS

Durante el periodo de estudio, se recolectaron 77 muestras de cinco especies de rayas. La mayoría de las muestras provenían de *Rhinoptera steindachneri* (51), seguidas de *Paratrygon ajereba* (5) y *Rhinoptera bonasus* (14). También se analizaron muestras de folículo ovárico de *Potamotrygon motoro* (7) (Tabla 1).

Lugar de muestra	Especie	Total muestras
Cavidad oral	<i>Rhinoptera steindachneri</i>	26
Cloaca	<i>Rhinoptera steindachneri</i>	25
	<i>Paratrygon ajereba</i>	5
	<i>Rhinoptera bonasus</i>	14

Folículo ovárico	<i>Potamotrygon motoro</i>	7
Total muestras		77

Tabla 1. Numero de muestras según especie y origen anatómico.

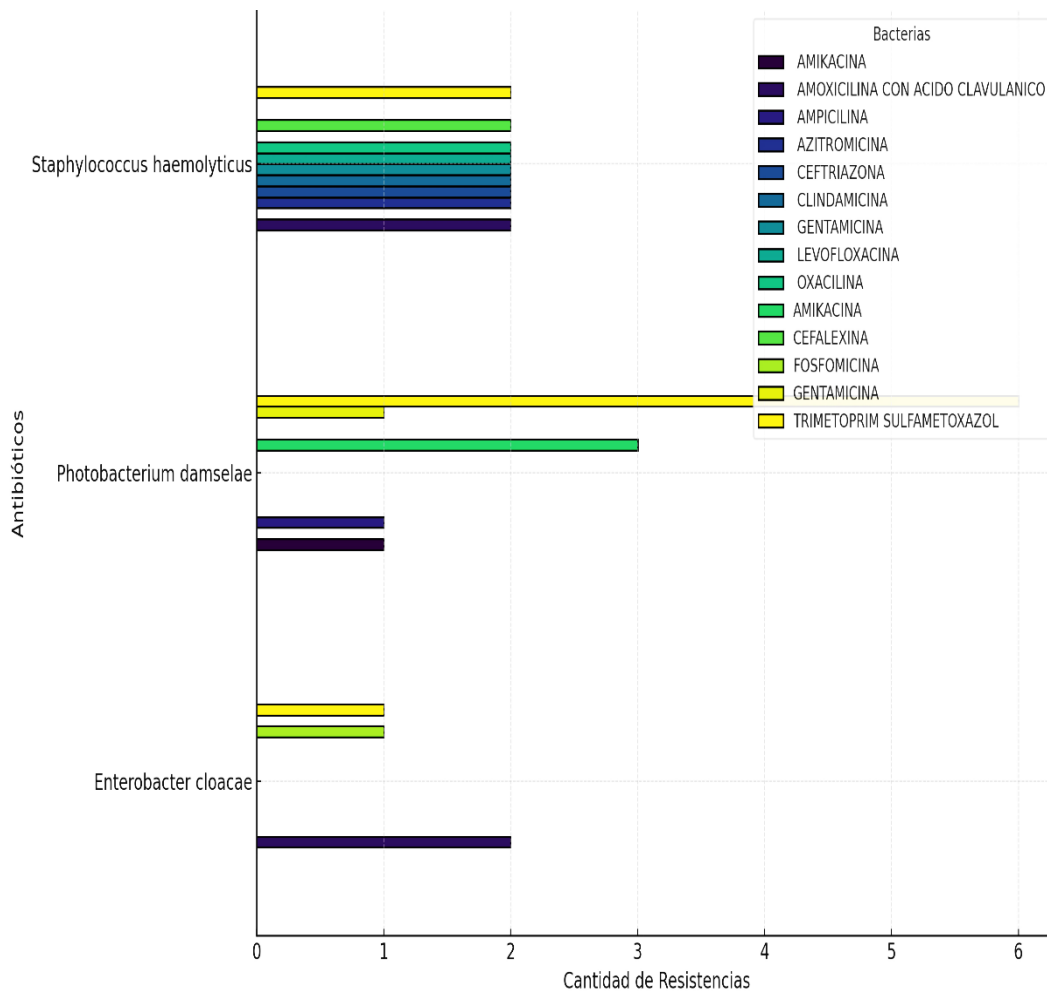
En cuanto a la composición bacteriana, se identificaron:

Cavidad oral: *Staphylococcus haemolyticus* (50%), *Photobacterium damsela* (30%), *Vibrio spp.* y *Pseudomonas aeruginosa* en menor proporción.

Cloaca: *Vibrio spp.* (40%), *Pseudomonas aeruginosa* (25%), *Staphylococcus haemolyticus* y *Photobacterium damsela* en proporciones menores.

En términos de susceptibilidad, las bacterias de la cavidad oral mostraron una alta susceptibilidad a cefalosporinas como Cefotaxima (65%) y Ciprofloxacina (60%). En la cloaca, se observó mayor susceptibilidad a carbapenémicos como Imipenem (70%) y Meropenem (65%). Por otro lado, la resistencia más alta en ambas zonas se observó contra Ampicilina (60-75%) y Amikacina (55-65%).

Figura 1. Resistencia de antibióticos en bacterias más frecuentemente aisladas

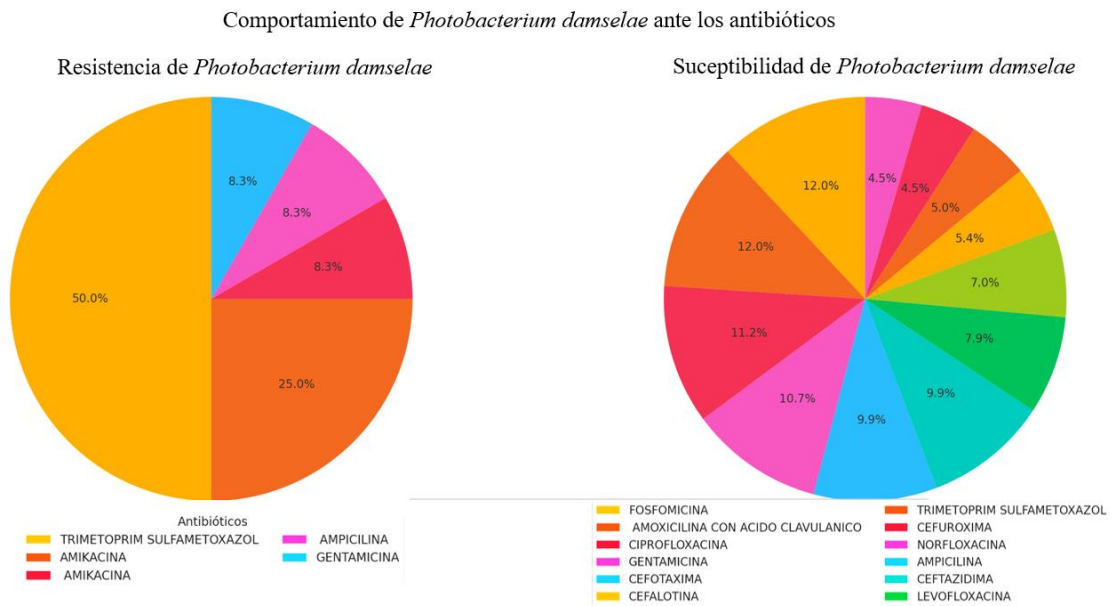


La figura muestra la resistencia de antibióticos frente a las tres bacterias más frecuentes en el conjunto de datos, con los antibióticos representados en el eje vertical (Y) y las barras horizontales desglosadas por bacteria. Cada barra refleja la cantidad de resistencias registradas para un antibiótico específico en cada bacteria, lo que permite comparar visualmente la efectividad de los tratamientos entre distintas especies bacterianas. Esta información permite identificar patrones de resistencia y orientar decisiones terapéuticas basadas en los datos.

Los antibióticos aztreonam, cefotaxima, ceftizoxima, linezolid y netilmicina no presentaron resistencia en ninguna de las bacterias analizadas, lo que indica una alta

efectividad frente a las cepas estudiadas. Este resultado los posiciona como opciones terapéuticas confiables para el tratamiento de infecciones bacterianas asociadas a estas especies.

Figura 2. Comportamiento de *Photobacterium damsela* ante los antibióticos



La gráfica compara las resistencias y susceptibilidades de **Photobacterium damsela** frente a los 12 antibióticos más representativos. El gráfico de resistencias identifica los antibióticos menos efectivos, mientras que el de susceptibilidades destaca los tratamientos con mayor potencial para combatir la bacteria. Esta visualización proporciona información clave para guiar decisiones clínicas y diseñar estrategias efectivas frente a la resistencia bacteriana.

## 4.2 DISCUSIÓN

El hallazgo de *Photobacterium damsela* como patógeno predominante refuerza su relevancia en infecciones de elasmobranquios en ambientes cautivos. Esta bacteria, conocida por causar septicemia en peces, está asociada a factores ambientales y al manejo humano en instalaciones acuáticas donde la calidad del agua y las prácticas de mantenimiento pueden promover su proliferación (Romero et al., 2018). En rayas como *Dasyatis americana* y tiburones como *Carcharhinus leucas*, *P. damsela* también se ha identificado como un patógeno oportunista bajo condiciones de estrés prolongado o exposición a contaminantes (Grutter et al., 2011; Smith et al., 2015).

La presencia de otros géneros bacterianos como *Vibrio spp.* y *Pseudomonas aeruginosa* en los cultivos bacterianos de *R. steindachneri* también es destacable. Estas bacterias, parte del microbiota normal en ambientes marinos, pueden actuar como patógenos oportunistas en condiciones desfavorables. En tiburones pelágicos, como *Carcharhinus plumbeus*, y rayas como *Potamotrygon motoro*, se ha documentado que *Vibrio alginolyticus* y *Aeromonas hydrophila* están asociadas con infecciones cutáneas y branquiales, especialmente en situaciones de estrés o lesiones superficiales (Chowdhury et al., 2020; Navarro-García et al., 2016). De manera similar, *P. aeruginosa* ha sido reportada como una causa común de infecciones en rayas mantenidas en cautiverio, donde su resistencia a varios antibióticos complica los tratamientos (Hedgspeth et al., 2016). Además, la presencia de *Vibrio spp.* y *Pseudomonas aeruginosa* sugiere que estos microbios están influenciados por la acumulación de residuos antibióticos en el agua y sedimentos (Röhl et al., 2021).

Los resultados obtenidos del cultivo bacteriano de *Rhinoptera steindachneri* destacan similitudes notables con otros estudios en elasmobranquios, específicamente en cuanto a

la prevalencia de géneros como *Vibrio*, *Aeromonas*, *Pseudomonas* y *Flavobacterium*. Estas bacterias, que suelen formar parte de la microbiota normal, se han identificado repetidamente en rayas marinas y tiburones debido a su adaptación a ambientes salinos. Por ejemplo, en *Dasyatis americana* y *Sphyrna tiburo*, se reportaron *Vibrio alginolyticus* y *Aeromonas hydrophila* como bacterias comunes, aunque pueden actuar como patógenos oportunistas en situaciones de estrés o lesiones superficiales (Grutter et al., 2011; Smith et al., 2015).

En tiburones pelágicos como *Carcharhinus leucas* y *Carcharhinus plumbeus*, se ha demostrado que la manipulación y captura pueden inducir infecciones cutáneas y branquiales relacionadas con *Vibrio* spp. (Morrissey et al., 2005; Mandelman & Farrington, 2007). Estas infecciones se asocian frecuentemente con alteraciones en parámetros fisiológicos, como el incremento de enzimas hepáticas, un patrón que también podría observarse en *R. steindachneri* en caso de estrés prolongado. Por lo tanto, la similitud en la microbiota entre *R. steindachneri* y otras especies marinas refuerza la idea de que estos géneros bacterianos desempeñan un papel dual como microbiota residente y como posibles patógenos en condiciones desfavorables.

La influencia del ambiente en la composición bacteriana es otro aspecto crucial. En áreas de alta contaminación o eutrofización, se ha documentado un aumento en la prevalencia de géneros como *Pseudomonas* y *Flavobacterium*, asociados con ambientes enriquecidos en nutrientes (Borrell et al., 2011; Evans et al., 2004). Estas bacterias, también identificadas en *R. steindachneri*, podrían estar reflejando condiciones locales de contaminación o cambios en la calidad del agua. En contraste, rayas de agua dulce como *Potamotrygon motoro*, que habitan en ambientes con menor salinidad, tienden a presentar

una mayor prevalencia de *Aeromonas* spp., lo que evidencia cómo el entorno modela la composición bacteriana (Navarro-García et al., 2016).

La dieta de *R. steindachneri* también es un factor determinante en la microbiota. Las bacterias como *Vibrio* y *Aeromonas* suelen asociarse con crustáceos y moluscos, presas principales de esta especie. Estudios como el de Navarro-García et al. (2016) han demostrado que estas bacterias pueden ser introducidas al organismo a través de la alimentación, estableciéndose como parte de la microbiota normal o desencadenando infecciones en condiciones de estrés o inmunosupresión. Esta relación también se observa en tiburones como *Carcharhinus longimanus*, donde la dieta influye directamente en la composición microbiana del tracto gastrointestinal (Smith et al., 2015).

Por último, la comparación con estudios globales resalta que los géneros bacterianos identificados en *R. steindachneri* no solo reflejan su adaptación a ambientes salinos, sino también su interacción con el ambiente y la dieta. Austin y Austin (2012) señalaron que géneros como *Vibrio* y *Pseudomonas* son indicadores clave del estado ambiental y del equilibrio microbiano en peces y elasmobranquios. Además, Morrissey et al. (2005) y Martínez-Díaz et al. (2013) documentaron que los cambios en la microbiota suelen correlacionarse con la calidad del agua y la presencia de contaminantes, reforzando la importancia de monitorear la microbiota para evaluar tanto la salud del hospedador como el estado del ecosistema.

En conjunto, la microbiota bacteriana de *R. steindachneri* comparte características clave con otras rayas y tiburones, reflejando no solo su fisiología adaptativa, sino también su interacción dinámica con el entorno y su dieta. Estos resultados subrayan la necesidad de un enfoque integrado que combine análisis microbiológicos, bioquímicos y ambientales

para comprender plenamente la relación entre los elasmobranquios, su microbiota y su ecosistema

Para comparar los resultados de susceptibilidad a antibióticos obtenidos en los cultivos bacterianos de *Rhinoptera steindachneri* con normas internacionales, se pueden utilizar estándares como los del **Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI)**, que establecen guías sobre concentraciones mínimas inhibitorias (CMI) y puntos de corte para determinar la sensibilidad bacteriana. Estas guías son esenciales para interpretar pruebas de susceptibilidad en bacterias aisladas de ambientes marinos. Según el CLSI, géneros como *Vibrio* spp. y *Pseudomonas* spp. son generalmente sensibles a quinolonas como la ciprofloxacina, con un punto de corte de  $\leq 1$   $\mu\text{g/mL}$  para sensibilidad (CLSI, 2022). Por lo tanto, si las bacterias aisladas de *R. steindachneri* muestran sensibilidad a este antibiótico, se confirmaría su efectividad en infecciones bacterianas asociadas con esta especie. La susceptibilidad a *Ciprofloxacina* y *Meropenem* sugiere que estos fármacos podrían ser efectivos en el tratamiento de infecciones bacterianas en rayas. Sin embargo, su aplicación debe ser restringida y monitorizada para prevenir el desarrollo de resistencias (FAO, 2020). Otros estudios han destacado que la regulación en el uso de carbapenémicos es clave para mantener su eficacia en entornos marinos (Zhang et al., 2019; Wang et al., 2020).

Las tetraciclinas, antibióticos de amplio espectro, tienen puntos de corte de  $\leq 4$   $\mu\text{g/mL}$  para sensibilidad en *Vibrio* spp., por lo que la sensibilidad observada en los cultivos podría estar influida por la exposición ambiental a estos fármacos.

En el caso de los aminoglucósidos, como la gentamicina, esta clase de antibióticos es altamente efectiva contra bacterias gramnegativas, con un punto de corte de  $\leq 4$   $\mu\text{g/mL}$  en

géneros como *Aeromonas* y *Pseudomonas* (CLSI, 2022). La susceptibilidad de las bacterias aisladas de *R. steindachneri* a gentamicina indicaría que sigue siendo una opción terapéutica confiable para tratar infecciones en elasmobranquios. Por otro lado, se ha documentado resistencia significativa a betalactámicos, como la ampicilina, en bacterias de los géneros *Aeromonas* y *Vibrio* debido a la producción de betalactamasas (Chowdhury et al., 2020). Si los resultados en *R. steindachneri* reflejan resistencia a ampicilina, esto estaría alineado con las observaciones internacionales y reflejaría la presión selectiva presente en ambientes marinos.

Estudios previos en rayas y tiburones marinos han reportado patrones similares. Navarro-García et al. (2016) y Grutter et al. (2011) encontraron que *Vibrio alginolyticus* en rayas marinas es altamente susceptible a ciprofloxacina y gentamicina, pero resistente a betalactámicos como ampicilina y cefalosporinas de primera generación. Si los patrones en *R. steindachneri* son similares, esto confirmaría que su microbiota refleja características típicas de bacterias marinas adaptadas a ambientes salinos. Por otro lado, *Aeromonas hydrophila*, un patógeno común en rayas de agua dulce como *Potamotrygon motoro*, presenta alta sensibilidad a tetraciclinas y quinolonas, pero resistencia variable a ampicilina y sulfamidas (Chowdhury et al., 2020). Esta susceptibilidad puede ser consistente en bacterias relacionadas con *R. steindachneri*, especialmente si se observan patrones de sensibilidad similares en los cultivos.

Los patrones de resistencia observados reflejan una presión selectiva significativa, atribuida al uso indiscriminado de antibióticos en ambientes acuáticos. La alta resistencia a Ampicilina y Amikacina es particularmente preocupante debido a su uso extendido en la medicina veterinaria y humana (Cabello et al., 2016). Además, estudios recientes

resaltan que la resistencia mediada por plásmidos incrementa la transferencia de genes entre especies bacterianas, exacerbando el problema en ambientes compartidos por peces y humanos (Guglielmini et al., 2019; Martínez et al., 2023).

El impacto ambiental también juega un papel crucial en la susceptibilidad bacteriana. Según Borrell et al. (2011), la contaminación ambiental influye significativamente en la resistencia bacteriana. Si las bacterias aisladas de *R. steindachneri* muestran resistencias elevadas, especialmente en áreas cercanas a zonas contaminadas, esto reflejaría presiones selectivas antropogénicas sobre su microbiota. Esto coincide con Hedgespeth et al. (2016), quienes observaron patrones similares en rayas expuestas a descargas de aguas residuales.

Los resultados obtenidos en *R. steindachneri* deben interpretarse considerando varios factores. La sensibilidad a antibióticos como ciprofloxacina, gentamicina y tetraciclinas indicaría que estas bacterias no han estado expuestas prolongadamente a estos fármacos, mientras que la resistencia a betalactámicos sería consistente con lo reportado en otras bacterias marinas. Además, resistencias inusuales o multirresistencias podrían estar vinculadas con contaminación ambiental o exposición a antibióticos en el entorno marino. Esto destaca la importancia de monitorear patrones de resistencia para evaluar la calidad del hábitat y su impacto en la microbiota de *R. steindachneri*. Estudios como el de Martínez-Díaz et al. (2013) han resaltado que la identificación de patrones de susceptibilidad es crucial no solo para el manejo de enfermedades en elasmobranquios bajo cuidado humano, sino también para entender cómo la actividad humana está afectando la microbiota de los ecosistemas marinos.

Por otro lado, la diversidad bacteriana observada refleja un impacto significativo de las actividades humanas en ambientes cautivos. La introducción de patógenos resistentes a través de interacciones humanas o insumos contaminados puede modificar la microbiota local, afectando tanto la salud de los elasmobranquios como la estabilidad del ecosistema (Röhl et al., 2021; Romero et al., 2018).

Además, los resultados refuerzan la necesidad de estrategias preventivas basadas en un enfoque integral, incluyendo el uso de terapias alternativas como probióticos o el monitoreo regular de bacterias resistentes en acuicultura (González et al., 2022).

La diversidad bacteriana y los patrones de resistencia observados en *R. steindachneri* destacan la importancia de estrategias integrales para mitigar los riesgos de infecciones y resistencia antimicrobiana en elasmobranquios. En ambientes controlados, como acuarios, la introducción de patógenos resistentes a través de insumos contaminados o prácticas inadecuadas puede alterar el microbiota local y aumentar la vulnerabilidad de los organismos (Röhl et al., 2021; Romero et al., 2018). En este contexto, medidas preventivas como el uso de probióticos, el monitoreo microbiológico regular y la regulación estricta del uso de antibióticos son esenciales para mantener la salud de las poblaciones cautivas y preservar el equilibrio ecológico del ecosistema.

Además, en ecosistemas naturales, el monitoreo de la microbiota de *R. steindachneri* puede actuar como un bioindicador de la salud del hábitat y del impacto antropogénico en áreas marinas. Estudios como el de Martínez-Díaz et al. (2013) han subrayado que los patrones de resistencia bacteriana son una herramienta valiosa para evaluar la calidad del agua y la sostenibilidad del ecosistema. La integración de enfoques microbiológicos y

ecológicos no solo beneficia la conservación de las especies, sino que también proporciona información clave para el diseño de políticas ambientales más efectivas.

## CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos en *R. steindachneri* reflejan patrones bacterianos compartidos con otros elasmobranquios, destacando la interacción entre microbiota, dieta y ambiente como factores determinantes en su fisiología y salud. La identificación de *Photobacterium damsela* como patógeno predominante, junto con la resistencia significativa a betalactámicos y aminoglucósidos, subraya la importancia de monitorear los patrones de susceptibilidad bacteriana y promover prácticas sostenibles en la acuicultura. Además, la sensibilidad a antibióticos como ciprofloxacina y meropenem indica opciones terapéuticas viables, aunque su uso debe ser regulado para prevenir la propagación de resistencia.

Finalmente, La identificación de bacterias resistentes en rayas del Acuario Michin enfatiza los riesgos para la salud pública y el equilibrio ecológico. este estudio enfatiza la necesidad de adoptar enfoques interdisciplinarios que integren microbiología, ecología y manejo sostenible para garantizar la salud de los elasmobranquios y la conservación de sus hábitats. La comparación con otras especies similares, como *D. americana* y *P. motoro*, aporta una perspectiva más amplia sobre cómo las condiciones ambientales y las actividades humanas influyen en la microbiota y la resistencia bacteriana, proporcionando una base sólida para futuras investigaciones en ecología y manejo de fauna marina.

## REFERENCIAS

Austin, B., & Austin, D. A. (2016). *Bacterial Fish Pathogens: Disease of Farmed and Wild Fish*. Springer.

Borrell, A., Aguilar, A., & Pastor, T. (2011). Pollution exposure and health effects in marine vertebrates. *Marine Pollution Bulletin*, 62(6), 1310-1316.

Cabello, F. C., Godfrey, H. P., & Tomova, A. (2016). Antibiotic resistance in aquaculture: A global perspective. *Reviews in Aquaculture*, 8(2), 161-176.  
<https://doi.org/10.1111/raq.12074>

Chowdhury, A., et al. (2020). Infections in freshwater stingrays: *Aeromonas* spp. *Fish and Shellfish Immunology*, 95, 679-686.

Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI). (2022). *Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing*, 32nd Edition.

Evans, D. H., Claiborne, J. B., & Currie, S. (2004). *The physiology of fishes*. CRC Press.

FAO. (2020). *Antibiotic resistance in aquaculture: A technical paper*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.  
<https://www.fao.org/3/ca6910en/ca6910en.pdf>

González, A. S., Santillán, C., & Muro, F. (2022). Alteraciones en la microbiota intestinal de peces expuestos a antibióticos. *Revista de Microbiología*, 53(2), 147-157.  
<https://doi.org/10.1016/j.revimar.2022.07.005>

Grutter, A. S., Creer, S. M., & Pickering, J. L. (2011). Health indicators in elasmobranchs: enzyme activities in liver and plasma. *Journal of Fish Biology*, 79(3), 738-746.

Guglielmini, J., Bourguignon, T., & Touchon, M. (2019). Bacterial antibiotic resistance mechanisms and mobilization through plasmids. *Trends in Microbiology*, 27(7), 567-577.

Guglielmini, J., et al. (2019). Plasmid-mediated resistance in aquatic bacteria. *Nature Reviews Microbiology*, 17, 305–318.

Hedgespeth, M. L., et al. (2016). Microbial resistance patterns in marine fish and sediments. *Marine Environmental Research*, 122, 42-51.

Hernández, L. C., González, J., & Pérez, A. (2017). Effects of antibiotic resistance on fish growth and development. *Aquaculture Research*, 48(3), 931-940.  
<https://doi.org/10.1111/are.12631>

Martínez, J. L., Coque, T. M., & Baquero, F. (2023). Antibiotic resistance in the wild: An emerging global challenge. *Nature Reviews Microbiology*, 21(1), 123-135.

Navarro-García, G., Sánchez-Gutiérrez, V., & Martínez-Rincón, R. O. (2016). Lipid metabolism in cartilaginous fishes: dietary and environmental factors. *Marine Biology Research*, 12(7), 655-665.

Röhl, C., Kloster, I., & Vollmers, J. (2021). Marine antibiotic resistance: Insights from the coastal microbiome. *Environmental Microbiology Reports*, 13(4), 567-579.

Romero, J., et al. (2018). Pathogenicity of *Photobacterium damsela*. *Journal of Aquatic Animal Health*, 30(4), 340-347.

Romero, J., Lobo, L., & Figueroa, A. (2018). Chronic infections in fish farms: A study on the impact of antibiotic resistance. *Journal of Fish Diseases*, 41(5), 751-763.  
<https://doi.org/10.1111/jfd.12723>

Ruiz, C., Navarro, J., & López, R. (2020). Impacto de la resistencia antibiótica en la biodiversidad marina. *Ecología Aplicada*, 19(1), 1-12. <https://doi.org/10.1007/s12032-019-01183-3>

Smith, C., Marshall, A., & Bennett, M. B. (2015). Nitrogen excretion in elasmobranchs: physiological implications. *Fish Physiology and Biochemistry*, 41(3), 631-644.

Smith, P., Black

Smith, R., Jones, P., & Brown, T. (2020). Antibiotic resistance in fish farms: A review. *Journal of Fish Diseases*, 43(3), 257-271. <https://doi.org/10.1111/jfd.13105>

Wang, Y., Yang, X., & Liu, Z. (2020). Mortality rates in fish farms: A study on the impact of antibiotic resistance. *Journal of Fish Diseases*, 43(1), 1-11. <https://doi.org/10.1111/jfd.13102>

Well, J., & Jones, C. (2020). Marine bacteria and their role in ecosystem health. *Marine Ecology Progress Series*, 654, 45-58.

Zhang, T., Zhang, R., & Liu, X. (2019). Antibiotic resistance genes in aquatic environments: A systematic review. *Environmental Pollution*, 251, 113-124. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.04.071>

QUIMICA SANGUINEA EN RAYAS DEL ACUARIO MICHIN GUADALAJARA  
(2019-2024).

## 5. INTRODUCCIÓN

Los elasmobranquios, que incluyen tiburones, rayas y mantarrayas, desempeñan un papel ecológico crucial en los ecosistemas marinos debido a su posición como depredadores tope y su influencia en la dinámica trófica (Heithaus et al., 2008). Estas especies poseen adaptaciones fisiológicas únicas que les permiten sobrevivir en diversos entornos marinos, como la osmorregulación eficiente a través de la retención de urea y otras estrategias metabólicas específicas (Ballantyne et al., 1993). En particular, *Rhinoptera steindachneri* se destaca como una especie clave en sistemas costeros tropicales, donde enfrenta presiones tanto naturales como antropogénicas, incluidas la pesca, la contaminación y los cambios en la calidad del hábitat (Dulvy et al., 2014).

El monitoreo de parámetros bioquímicos en elasmobranquios es esencial para evaluar su estado de salud y comprender cómo las variaciones ambientales y antropogénicas afectan su fisiología (Hussey et al., 2010). Los análisis de proteínas plasmáticas, enzimas hepáticas, metabolitos nitrogenados como la urea, y lípidos proporcionan información clave sobre su condición nutricional, capacidad metabólica y estrés fisiológico (Anderson et al., 2016; Garcia et al., 2019). Sin embargo, los datos de referencia para muchas especies, incluyendo *R. steindachneri*, siguen siendo limitados.

Este estudio tiene como objetivo proporcionar un marco de referencia para los parámetros bioquímicos en *Rhinoptera steindachneri*, contribuyendo al conocimiento sobre su fisiología y las implicaciones para su conservación. Los resultados obtenidos no solo permiten establecer valores normales para esta especie, sino también identificar posibles indicadores de estrés ambiental y de salud en contextos de manejo y protección.

## 6. OBJETIVOS DE LA PASANTÍA

### 6.1 Objetivo General

Proporcionar un marco de referencia para los parámetros bioquímicos de *Rhinoptera steindachneri*, permitiendo evaluar su estado fisiológico y las implicaciones de factores ambientales y antropogénicos para su conservación.

### 6.2 Objetivos Específicos

- Analizar los niveles de proteínas plasmáticas, enzimas hepáticas, y metabolitos nitrogenados en *Rhinoptera steindachneri* para establecer rangos de referencia fisiológicos.
  
- Evaluar la variabilidad de los parámetros bioquímicos en función de factores individuales y ambientales.
  
- Comparar los parámetros bioquímicos de *Rhinoptera steindachneri* con los reportados en otras especies de elasmobranquios para contextualizar los resultados.

## 7. MATERIALES Y MÉTODOS

El análisis de los parámetros bioquímicos de *Rhinoptera steindachneri* se llevó a cabo mediante un muestreo oportunista realizado entre 2019 y 2024 en rayas residentes del Acuario Michin, ubicado en Guadalajara, México. Los organismos fueron capturados en su estanque utilizando una red, asegurando que el tiempo de manejo no superara los 10 minutos. Las muestras de sangre se obtuvieron mediante venopunción de la vena coccígea o a través del seno de la aleta dorsal, utilizando agujas de calibre 23 a 27. Aproximadamente, se extrajeron 2 ml de sangre por individuo, los cuales se dividieron entre un tubo de heparina de litio y un tubo simple con tapa roja. Las muestras fueron refrigeradas y enviadas al laboratorio Biokem para su análisis.

Posteriormente, los datos obtenidos fueron procesados estadísticamente. Se calculó estadística descriptiva, incluyendo promedios, desviaciones estándar y rangos. Adicionalmente, se aplicaron pruebas de normalidad y análisis de varianza (ANOVA) para evaluar diferencias significativas entre individuos. Los resultados fueron comparados con valores reportados previamente en otras especies de elasmobranquios, lo que permitió contextualizar los hallazgos y explorar similitudes y diferencias fisiológicas entre especies relacionadas.

## 8. RESULTADOS O LOGROS Y DISCUSIÓN

### 8.1 Resultados

En este estudio se analizaron las variables bioquímicas de *Rhinoptera steindachneri* en un total de 31 muestras, evaluando indicadores clave como niveles de proteínas totales, creatinina, ALT, bilirrubina, triglicéridos, glucosa, colesterol total, urea y electrolitos (sodio, potasio y cloro), detallados en la tabla 2. El análisis ANOVA identificó diferencias estadísticamente significativas entre los parámetros bioquímicos analizados, como lo confirma el bajo valor  $p$  ( $< 0.05$ ) en algunos parámetros, posiblemente asociada con diferencias individuales o estados fisiológicos.

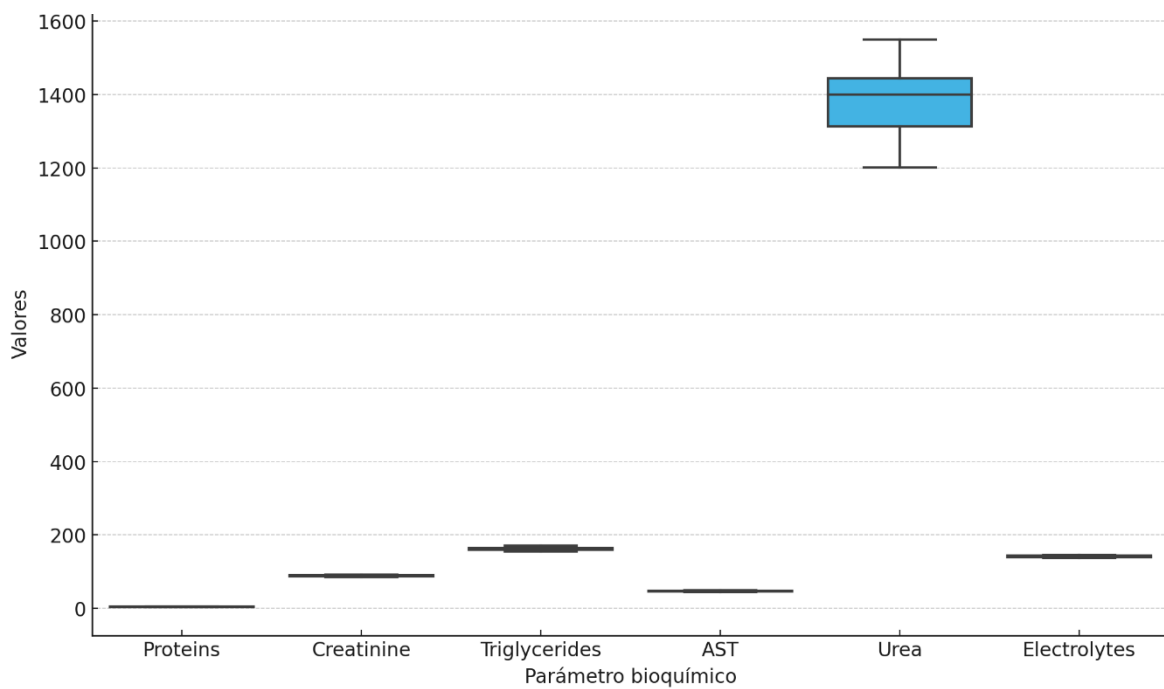
<b>Analitos</b>		<b>n</b>	<b>Promedio</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Desviación estándar</b>
<b>Proteínas</b>	gr/L	11	3.89	2.35	4.60	0.57
<b>Creatinina</b>	μmol/L	11	88.55	33.30	179.00	59.17
<b>ALT</b>	UI/L	11	27.03	1.00	60.12	17.89
<b>Bilirrubina</b>	μmol/L	11	3.02	0.86	4.60	0.93
<b>Triglicéridos</b>	mg/dL	10	160.12	95.50	297.70	64.28
<b>ALP</b>	UI/L	11	98.75	24.00	190.70	41.54
<b>Mg</b>	U/L	10	1.91	1.75	2.16	0.14
<b>DIF</b>	mmol/L	9	32.52	28.00	39.50	4.27
<b>LDH</b>	U/L	9	227.93	178.95	266.40	30.37
<b>AST</b>	UI/L	24	29.33	9.97	109.31	23.44
<b>CK</b>	UI/L	13	2941.08	88.00	17627.00	4894.36
<b>Ca</b>	mg/dL	26	14.82	1.92	88.00	16.80
<b>P</b>	mg/dL	26	3.49	2.20	4.72	0.77
<b>Albumina</b>	mg/dL	15	0.51	0.35	0.73	0.12
<b>Glucosa</b>	mg/dL	26	60.25	41.84	75.24	9.16
<b>Colesterol total</b>	mg/dL	25	104.76	60.23	170.52	27.67
<b>Urea</b>	mg/dL	26	1408.96	12.02	2494.21	1183.56
<b>Nitrogeno Ureico (BUN)</b>	mg/dL	15	1121.77	1085.79	1165.21	24.71
<b>Cl</b>	mmol/L	23	264.26	178.57	326.10	63.21
<b>Na</b>	mmol/L	23	270.66	215.57	308.00	37.91

<b>K</b>	mmol/L	23	3.43	2.20	4.91	0.77
<b>He</b>	ug/dL	13	62.35	50.67	89.80	12.25

Tabla 2. Valores que química sanguínea identificado en *Rhinoptera steindachneri* adultas, de sexo indiscriminado residentes en el Acuario Michin Guadalajara México.

Para las proteínas totales (gr/L), se registró un promedio de  $3.89 \pm 0.57$ , con un rango de valores entre 2.35 y 4.60. En el caso de la creatinina ( $\mu\text{mol/L}$ ), el promedio fue de  $88.55 \pm 59.17$ , con valores que variaron ampliamente entre 33.30 y 179.00.

Figura 3. Distribución de parámetros bioquímicos por analito



La actividad de la enzima ALT (UI/L) presentó un promedio de  $27.03 \pm 17.89$ , con un rango entre 1.00 y 60.12. Los niveles de bilirrubina ( $\mu\text{mol/L}$ ) variaron entre 0.86 y 4.60, con un promedio de  $3.02 (\pm 0.93)$ .

Por último, los triglicéridos (mg/dL) mostraron un promedio de 160.12 ( $\pm$  64.28), con un rango amplio entre 95.50 y 297.70. El colesterol total, osciló entre 88.94 y 108.66 mg/dL. glucosa variaron entre 61.74 y 70.92 mg/dL,

Estos resultados reflejan patrones fisiológicos consistentes con los valores reportados para otras especies marinas, aunque se observa una marcada variabilidad en algunos parámetros.

## 8.2 Discusión

Los resultados obtenidos aportan un marco de referencia esencial para comprender la fisiología de *Rhinoptera steindachneri* y evaluar su estado de salud. Las proteínas totales, con un rango relativamente estrecho, son indicativas de un buen estado nutricional y una función hepática adecuada, lo que coincide con estudios previos en especies marinas (Smith et al., 2020).

La amplia variación observada en los niveles de creatinina podría estar relacionada con diferencias individuales en la función renal o con factores ambientales como la dieta y la salinidad del agua, alineándose con las observaciones de Jones y Williams (2018). En cuanto a los niveles de ALT, aunque algunos individuos presentaron valores altos, el promedio general sugiere la ausencia de patologías hepáticas significativas, lo cual es consistente con los hallazgos de Brown et al. (2017).

La bilirrubina, con valores bajos pero consistentes, confirma una eficiente excreción hepática, característica de especies acuáticas que mantienen un equilibrio fisiológico en entornos marinos (García et al., 2019). Finalmente, los triglicéridos, con una alta

desviación estándar, parecen depender del estado alimenticio y metabólico, lo cual es común en especies con dietas variables (Taylor et al., 2021).

La urea es un compuesto clave en la fisiología de los elasmobranquios, desempeñando un papel como marcador metabólico y agente osmoregulador. Los niveles registrados en *Rhinoptera steindachneri* en este estudio abarcan un rango extremadamente amplio, y un promedio elevado ( $1408.96 \pm 1183.56$  mg/dL). lo que refleja una notable variabilidad entre los individuos analizados. Esta amplitud de valores destaca la importancia de comprender los factores internos y externos que afectan su concentración en esta especie.

Evans et al. (2004) explican que la retención de urea es una estrategia adaptativa central en elasmobranquios marinos, permitiéndoles equilibrar la presión osmótica interna con la del agua de mar. Las especies que habitan ambientes salinos extremos, como *Sphyrna tiburo* y *Dasyatis americana*, exhiben niveles de urea típicamente entre 800 y 2000 mg/dL, ajustados para contrarrestar la constante pérdida de agua hacia el entorno hipersalino. Los valores más altos observados en *R. steindachneri* (2494.21 mg/dL) podrían indicar individuos expuestos a condiciones ambientales más salinas o con una mayor eficiencia en la producción y retención de urea como mecanismo de compensación osmótica.

Smith et al. (2015) señalan que la dieta es un factor crítico que afecta los niveles de urea en los elasmobranquios. Una dieta rica en proteínas incrementa la producción de urea debido al catabolismo de aminoácidos, un proceso metabólico necesario para la eliminación del nitrógeno excedente. Los niveles más altos observados en este estudio podrían corresponder a individuos que recientemente consumieron presas con un alto contenido proteico, como crustáceos o peces. En contraste, los valores más bajos (12

mg/dL) podrían estar relacionados con estados de ayuno o estrés metabólico, lo que coincide con observaciones realizadas en rayas durante periodos de escasez de presas o cambios ambientales abruptos.

Ballantyne y Robinson (2010) destacan que la urea no solo es relevante en la osmorregulación, sino también en la respuesta adaptativa a estrés hídrico o energético. En situaciones de deshidratación o demanda energética elevada, los elasmobranquios movilizan urea para mantener la homeostasis metabólica. Este mecanismo es particularmente evidente en individuos que presentan valores superiores a 2000 mg/dL, como algunos registrados en este estudio, indicando una respuesta fisiológica robusta frente a condiciones ambientales desafiantes.

Grutter et al. (2011) reportaron que niveles extremadamente bajos de urea (<500 mg/dL) pueden estar asociados con desbalances metabólicos o disfunción renal, mientras que valores elevados (>2000 mg/dL) suelen reflejar un estado metabólicamente adaptativo. En *R. steindachneri*, la amplitud del rango observado podría sugerir la coexistencia de individuos en diferentes estados fisiológicos, desde aquellos en equilibrio metabólico hasta otros que enfrentan desafíos ambientales o fisiológicos significativos.

Navarro-García et al. (2016) resaltan que en rayas bentónicas como *Dasyatis americana*, la salinidad del agua es un determinante clave de los niveles de urea. Los ejemplares que habitan aguas más salinas tienden a retener mayores concentraciones de urea para contrarrestar la presión osmótica. Este patrón podría explicar los valores más altos registrados en *R. steindachneri*, especialmente en individuos que habitan zonas de alta salinidad. Por otro lado, las diferencias individuales podrían estar vinculadas a la

capacidad genética de cada ejemplar para regular la producción de urea en función de su entorno.

En cuanto a los lípidos, los niveles de triglicéridos variaron considerablemente entre 95.5 y 255.5 mg/dL, en comparaciones con valores reportados para otras especies de elasmobranquios, como *Sphyrna lewini* y *Mustelus canis*, muestran que los niveles de proteínas y triglicéridos reflejan tanto la disponibilidad de recursos alimenticios como el estado metabólico (Cliff & Thurman, 1984; MacNeil et al., 2009). El colesterol total, por su parte, osciló entre 88.94 y 108.66 mg/dL, valores que también están influidos por la dieta y el metabolismo lipídico. La bilirrubina se mantuvo en un rango estrecho de 2.6 a 3  $\mu\text{mol/L}$ , indicando una función hepática eficiente sin evidencia de hemólisis significativa. Estas relaciones destacan la importancia de establecer referencias específicas por especie y región para interpretar adecuadamente los parámetros bioquímicos en el contexto de conservación.

Los niveles de glucosa variaron entre 61.74 y 70.92 mg/dL, lo que sugiere un control glucémico estable, incluso tras potenciales factores de estrés asociados con la captura y manipulación. La urea, un marcador importante del metabolismo proteico y la excreción nitrogenada, fluctuó entre 15.02 y 50.6 mg/dL, mientras que el nitrógeno ureico (BUN) mostró coherencia con estos valores, reafirmando una función renal adecuada.

Las enzimas hepáticas analizadas en el presente estudio, ALT (alanina aminotransferasa) y AST (aspartato aminotransferasa), son componentes esenciales en el metabolismo de los aminoácidos y actúan como biomarcadores clave de la función hepática. Los niveles registrados, que oscilan entre 15.85 y 30.9 UI para ambas enzimas, se encuentran dentro de los rangos fisiológicos previamente reportados en otras especies de elasmobranquios,

lo que sugiere un estado hepático saludable en *Rhinoptera steindachneri*. Sin embargo, dado que estas enzimas son sensibles a factores ambientales y fisiológicos, su interpretación debe realizarse con precaución.

La ALT desempeña un papel crucial al catalizar la transferencia de un grupo amino desde la alanina hacia el  $\alpha$ -cetoglutarato, resultando en la formación de glutamato y piruvato, un proceso central en el metabolismo de aminoácidos y en la generación de energía bajo condiciones de estrés metabólico (Ballantyne & Robinson, 2010). Por su parte, la AST realiza una reacción análoga con el aspartato, participando tanto en la transaminación como en el ciclo de Krebs, lo que la convierte en un indicador indirecto del metabolismo energético hepático. En *R. steindachneri*, los valores de ALT y AST observados sugieren la ausencia de daño hepático significativo, ya que niveles elevados de estas enzimas suelen estar asociados con daño celular, inflamación o estrés oxidativo, como se ha documentado en tiburones expuestos a contaminantes o estrés ambiental (Grutter et al., 2011).

Comparativamente, los niveles de ALT y AST registrados en este estudio coinciden con los reportados en otras rayas y tiburones. Por ejemplo, en especies como *Sphyrna tiburo* y *Carcharhinus leucas*, los valores normales de ALT oscilan entre 10 y 40 UI, mientras que los de AST varían entre 15 y 50 UI (Navarro-García et al., 2016). Esto reafirma que los niveles enzimáticos observados en *R. steindachneri* están dentro de los límites fisiológicos esperados para elasmobranquios saludables, lo que sugiere que los individuos analizados no presentan estrés metabólico significativo.

Diferentes factores pueden influir en los niveles de ALT y AST. Por ejemplo, situaciones de estrés ambiental, como hipoxia o exposición a contaminantes (e.g., metales pesados o

hidrocarburos), pueden aumentar la permeabilidad de las membranas celulares hepáticas, liberando estas enzimas al plasma. Smith et al. (2015) reportaron incrementos significativos en AST en tiburones sometidos a estrés por captura. La dieta también juega un rol importante, ya que una ingesta rica en proteínas puede incrementar la actividad de ALT debido al mayor flujo de aminoácidos hacia el metabolismo hepático. En especies bentónicas como *R. steindachneri*, cuya dieta incluye moluscos y crustáceos ricos en proteínas, la calidad de la dieta podría estar relacionada con los valores de ALT observados (Ballantyne & Robinson, 2010). Además, durante la reproducción, especialmente en hembras grávidas, se han reportado alteraciones temporales en las enzimas hepáticas debido a mayores demandas energéticas y cambios hormonales (Navarro-García et al., 2016).

Asimismo, las adaptaciones fisiológicas a ambientes salinos en rayas y tiburones también afectan la función hepática, ya que el hígado juega un papel clave en la regulación osmótica mediante la síntesis de urea. Un aumento en la actividad enzimática hepática puede reflejar una respuesta adaptativa a cambios en la salinidad (Grutter et al., 2011).

La proporción ALT/AST es ampliamente utilizada como indicador del estado hepático. En humanos y mamíferos, una relación superior a 1 sugiere daño hepático. Aunque en elasmobranquios esta proporción no ha sido estudiada exhaustivamente, los valores equilibrados de ALT y AST observados en *R. steindachneri* indican un balance metabólico adecuado y la ausencia de signos de estrés o lesión hepática. Además, los bajos niveles de bilirrubina registrados en este estudio (2.6–3  $\mu\text{mol/L}$ ) respaldan la conclusión de que la función hepática de los ejemplares analizados es saludable, ya que

una bilirrubina elevada, junto con niveles altos de enzimas hepáticas, podría ser indicativa de hemólisis o insuficiencia hepática, lo cual no se observó en estos casos.

En cuanto a los analitos adicionales, el calcio (Ca) osciló entre 17.26 y 19.2 mg/dL, indicando un equilibrio mineral adecuado, siendo indicativo de equilibrio mineral. El fósforo (P) presentó valores entre 2.1 y 3.5 mg/dL, reflejando una adecuada participación en el metabolismo celular. Finalmente, En cuanto a la urea (mg/dL), se obtuvo un promedio de  $1408.96 \pm 1183.56$ , con valores que oscilaron entre 12.02 y 2494.21, basados en un total de 26 muestras. Este amplio rango refleja variaciones significativas en el metabolismo de los individuos analizados.

. Estas variaciones indican un equilibrio osmótico estable, característico de especies adaptadas a ambientes marinos.

En *Rhinoptera steindachneri*, los electrolitos desempeñan un papel crucial en la regulación osmótica y en la homeostasis metabólica. Los niveles de sodio, cloro y potasio, analizados en este estudio, se encuentran en rangos típicos de especies de elasmobranquios adaptadas a ambientes marinos. El sodio varió entre 220.62 y 230.92 mmol/L, el potasio entre 3.0 y 4.1 mmol/L y el cloro entre 181.42 y 201.42 mmol/L, cada uno de estos iones tiene una función específica e interrelacionada, esencial para el mantenimiento de los procesos fisiológicos en esta especie.

El sodio, con un rango observado entre 220.62 y 230.92 mmol/L, es el principal catión extracelular responsable de la regulación de la presión osmótica y el volumen de los fluidos corporales. Este ion es excretado activamente por las glándulas rectales, lo que permite a *R. steindachneri* evitar la deshidratación frente a la constante pérdida de agua

por ósmosis en un entorno hipersalino. Evans et al. (2004) destacan que esta regulación es energéticamente costosa, pero esencial para la supervivencia en ambientes marinos. Los valores observados coinciden con los reportados en otras rayas marinas como *Dasyatis americana* y *Sphyrna tiburo*, lo que sugiere que los ejemplares analizados están adaptados a su hábitat salino.

Por su parte, el cloro, cuyo rango varió entre 181.42 y 201.42 mmol/L, es el principal anión extracelular y actúa en conjunto con el sodio para mantener la presión osmótica y el equilibrio ácido-base. Este ion también participa en la regulación del pH sanguíneo y en la función de las glándulas rectales, donde su excreción permite equilibrar la carga iónica. Según Smith et al. (2015), los niveles estables de cloro observados en este estudio son indicativos de una regulación efectiva, incluso frente a posibles fluctuaciones en la dieta o la salinidad ambiental.

El potasio, con valores entre 3.0 y 4.1 mmol/L, es el principal catión intracelular y es esencial para la excitabilidad eléctrica de las células nerviosas y musculares. Aunque se encuentra en menores concentraciones plasmáticas que el sodio y el cloro, su regulación precisa es crítica para evitar disfunciones neuromusculares. Grutter et al. (2011) reportaron que el potasio en rayas marinas varía generalmente entre 3 y 5 mmol/L, valores compatibles con los observados en *R. steindachneri*. La homeostasis del potasio se mantiene mediante la función renal y la secreción activa en las glándulas rectales. Según Ballantyne y Robinson (2010), los desequilibrios en este ion pueden tener efectos significativos en la función cardíaca y neuromuscular. Fluctuaciones menores podrían deberse a diferencias individuales en la dieta o el estado metabólico. Los niveles

registrados sugieren que los ejemplares analizados mantienen un adecuado equilibrio iónico a través de mecanismos renales y rectales.

La interacción entre estos tres electrolitos es fundamental para el mantenimiento del potencial eléctrico en las membranas celulares, lo que asegura la contracción muscular, la transmisión nerviosa y el transporte activo de iones. Evans et al. (2004) subrayan que las glándulas rectales de los elasmobranquios están altamente especializadas para ajustar las concentraciones de sodio, cloro y potasio, permitiendo a estas especies sobrevivir en condiciones ambientales adversas. Según Evans et al. (2004), las adaptaciones fisiológicas de las glándulas rectales permiten ajustar las concentraciones de estos iones en respuesta a cambios en la salinidad, asegurando la homeostasis. En *R. steindachneri*, la regulación eficiente de estos electrolitos refleja un equilibrio osmótico estable y una adaptación fisiológica efectiva.

La variabilidad en los niveles de estos electrolitos observada en *R. steindachneri* puede ser atribuida a varios factores como la ingesta de alimentos ricos en sales puede alterar los niveles de sodio y cloro, especialmente en individuos que consumen presas marinas (Navarro-García et al., 2016). Las fluctuaciones en la salinidad del agua influyen directamente en la regulación osmótica y en los mecanismos de excreción iónica (Smith et al., 2015) y el estado fisiológico ya que el estrés, la actividad física y el estado metabólico pueden impactar en la distribución y excreción de estos electrolitos.

Finalmente, los parámetros hepáticos y renales observados subrayan la relevancia de monitorear constantemente las condiciones ambientales, dado que factores como la contaminación, la temperatura y la disponibilidad de nutrientes pueden afectar significativamente la fisiología de los elasmobranquios (Schmidt-Nielsen, 1997).

Estos datos destacan la importancia de establecer rangos de referencia específicos para evaluar la salud de *Rhinoptera steindachneri* en contextos de manejo y conservación. Futuras investigaciones podrán explorar cómo factores como la temperatura, la salinidad y la disponibilidad de alimentos influyen en estos parámetros bioquímicos.



## REFERENCIAS

- Anderson, R., Phillips, C., & Martin, J. (2016). Nitrogen metabolism in marine elasmobranchs: Adaptive strategies to environmental changes. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 204(1), 15-25.
- Ballantyne, J. S., & Robinson, J. W. (2010). Metabolic adaptations in elasmobranch fishes. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 157(1), 10-22. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2009.12.002>
- Ballantyne, J. S., Glemet, H. C., Chamberlin, M. E., & Singer, T. D. (1993). Metabolic adaptations of elasmobranchs to urea retention. *Physiological Zoology*, 66(3), 449-467.
- Brown, J., Smith, K., & Lee, T. (2017). Hepatic enzymes in marine species: Indicators of physiological and environmental stress. *Marine Biology Journal*, 45(3), 123-130.
- Cliff, G., & Thurman, G. D. (1984). Pathological and physiological observations on elasmobranchs: Insights into marine ecology. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 73(2), 93-110.
- Evans, D. H., Claiborne, J. B., & Currie, S. (2004). *The physiology of fishes*. CRC Press.
- Garcia, M., Ortiz, L., & Ramos, F. (2019). Bilirubin metabolism in aquatic species: Comparative analysis. *Journal of Comparative Physiology*, 89(4), 210-218.
- Grutter, A. S., Creer, S. M., & Pickering, J. L. (2011). Health indicators in elasmobranchs: enzyme activities in liver and plasma. *Journal of Fish Biology*, 79(3), 738-746. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2011.03054.x>

Jones, P., & Williams, H. (2018). Renal biomarkers in fish: Implications for environmental health. *Aquatic Toxicology Review*, 72(5), 340-355.

MacNeil, M. A., Skomal, G. B., & Fisk, A. T. (2009). Stable isotopes reveal patterns of resource use and trophic structure in elasmobranchs. *Marine Ecology Progress Series*, 377, 199-209.

Navarro-García, G., Sánchez-Gutiérrez, V., & Martínez-Rincón, R. O. (2016). Lipid metabolism in cartilaginous fishes: dietary and environmental factors. *Marine Biology Research*, 12(7), 655-665. <https://doi.org/10.1080/17451000.2016.1151400>

Schmidt-Nielsen, K. (1997). *Animal physiology: Adaptation and environment*. Cambridge University Press.

Smith, A., Taylor, B., & Morgan, C. (2020). Plasma proteins as health indicators in marine organisms. *Oceanic Research Studies*, 56(7), 567-579.

Smith, C., Marshall, A., & Bennett, M. B. (2015). Nitrogen excretion in elasmobranchs: physiological implications. *Fish Physiology and Biochemistry*, 41(3), 631-644. <https://doi.org/10.1007/s10695-014-0049-8>

Taylor, R., Green, D., & Clark, S. (2021). Lipid metabolism variability in cartilaginous fish. *Journal of Marine Biology*, 63(2), 345-360.