

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historial del artículo:

Recibido 03 de junio de 2024

Aceptado 20 de enero de 2025

Publicado 7 de abril de 2025

READ IN ENGLISH:

<https://doi.org/10.7773/cm.v2025.3493>

AUTOR DE CORRESPONDENCIA

* E-mail: abigaillester24@gmail.com

¹ Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad de Panamá, Ciudad de Panamá, Panamá.² Instituto Conmemorativo Gorgas de Estudios de la Salud, Ciudad de Panamá, Panamá.³ Facultad de Ciencias Naturales, Ciencias Exactas y Tecnología, Departamento de Genética y Biología Molecular, Universidad de Panamá, Ciudad de Panamá, Panamá.⁴ Facultad de Ciencias de la Salud, Escuela de Biotecnología, Universidad Latina de Panamá, Ciudad de Panamá, Panamá.⁵ Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Americana, Ciudad de Panamá, Panamá.⁶ Shark Defenders, Ciudad de Panamá, Panamá.

Medición del lactato como indicador de estrés en los tiburones *Rhizoprionodon longurio* y *Sphyrna lewini* durante el proceso de marcaje

Abigail Prieto^{1*}, Angelina Quintero¹, Jacinto A Pérez^{2,3,4,5}, Yehudi Rodríguez Arriatti⁶

RESUMEN. El lactato es considerado uno de los principales metabolitos indicadores del estrés en tiburones, debido a que este se encuentra estrechamente relacionado con el metabolismo anaeróbico que ocurre durante el ejercicio exhaustivo. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la técnica de marcaje mediante la medición de los niveles de lactato en la sangre en 2 especies de tiburones. Se midieron los niveles de lactato en la sangre de 17 tiburones juveniles de *Rhizoprionodon longurio* ($n = 8$) y *Sphyrna lewini* ($n = 9$), los cuales fueron capturados de manera incidental con redes de cerco para pequeños pelágicos. Los resultados mostraron que tanto el tiempo de manejo ($P = 0.0012$) como la especie ($P = 0.022$) afectaron significativamente los niveles de lactato en la sangre, según el modelo lineal generalizado. Por otro lado, las diferencias entre especies se explicaron por la mayor sensibilidad de *R. longurio*, que presentó una mayor tendencia a valores elevados de lactato en comparación con *S. lewini* ($P = 0.0088$). Para ambas especies, el tiempo de manejo debe mantenerse entre 15 y 25 min, desde la captura durante el cierre del cerco hasta su liberación, para reducir la probabilidad de mortalidad. Este estudio ha corroborado que la técnica de marcaje en tiburones provoca altos niveles de lactato en sangre en función del tiempo de manejo y la especie. Sin embargo, se recomienda que en futuros estudios se utilice una muestra más grande, junto con vigilancia posterior a la captura, con el fin de establecer de manera contundente que el lactato es un indicador de bienestar animal en relación con el tiempo de manipulación y la especie.

Palabras clave: ecosistemas marinos, conservación marina, gestión pesquera, tiburón, vulnerabilidad, fisiología, captura, marcaje.

INTRODUCCIÓN

El marcado de tiburones, como el marcaje acústico (Espinoza et al. 2015, Madrigal-Mora et al. 2024), satelital (Elliott et al. 2022) y convencional (Bartes et al. 2021), ha sido una herramienta útil para fines de conservación en sus distintas modalidades. El marcado de peces representa un estrés físico causado por el manejo y captura, el cual provoca una respuesta fisiológica adaptativa de una posible huida o enfrentamiento que activa el eje hipotálamo-pituitario-interrenal (De los Santos 2017). Primero, se demuestra una respuesta primaria que incluye la liberación de cortisol, lo que provoca una respuesta secundaria con incrementos de

lactato debido a la alteración del metabolismo. Generalmente, esta respuesta secundaria puede aparecer en minutos o hasta una hora después de la exposición al estrés. Como última fase, la respuesta secundaria puede activar una respuesta terciaria relacionada al estrés crónico. Esta se desencadena cuando el animal no es capaz de alcanzar la homeostasis, lo que puede llegar a afectar el crecimiento, la reproducción y el sistema inmune, e incluso, puede provocar la muerte del animal (Aguilar 2018). Durante una situación de estrés agudo, aumenta el consumo de oxígeno y el metabolismo anaerobio, lo que resulta en la hiperlactatemia en plasma. Esto se debe a que el lactato se forma como subproducto de la glucólisis (Murray et al. 2015, Aguilar 2018). El valor basal de lactato

Acceso abierto

En línea ISSN: 2395-9053

Verificado con Similarity Check impulsado por iThenticate

<https://doi.org/10.7773/cm.v2025.3493>

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), que permite compartir y adaptar el trabajo, siempre y cuando se dé el crédito apropiado a los autores originales y la fuente, proporcione un enlace a la licencia Creative Commons e indique si se realizaron cambios. Las figuras, tablas y otros elementos del artículo están incluidos en la licencia CC BY 4.0 del artículo, a menos que se indique lo contrario. Debe solicitar permiso al titular de los derechos de autor para utilizar material no cubierto por esta licencia. El título de la revista está protegido por derechos de autor propiedad de la Universidad Autónoma de Baja California, y el título y el logotipo de la revista no están sujetos a esta licencia.

señalado por Brooks et al. (2012) y Gallagher et al. (2014) en tiburones no estresados varía entre 0 y 1 mmol·L⁻¹.

Las investigaciones enfocadas en el marcaje de tiburones son recientes en Panamá; para *Rhincodon typus* se han empleado marcas satelitales (Guzman et al. 2018, Guzman et al. 2022) y marcas convencionales tipo espagueti en tiburones juveniles y rayas (Rodríguez-Arriatti 2023). En Panamá son pocos los estudios enfocados a conocer el impacto de la actividad pesquera sobre las poblaciones de tiburones, a pesar de que las capturas obtenidas con distintas artes de pesca incluyan principalmente tallas juveniles (Vega et al. 2008, Rodríguez-Arriatti et al. 2021). Los estudios de marcaje en las costas pacíficas panameñas se han enfocado en determinar los patrones de movimiento y el tiempo de permanencia de tiburones en distintos sitios, sentando las bases para su conservación. En particular, en este estudio se ha pretendido proporcionar información sobre los tiburones de gran importancia ecológica y en estado crítico de conservación capturados en el Pacífico Oriental Tropical (POT) mediante redes de cerco, debido a la falta de información disponible con respecto a este arte de pesca y las especies involucradas.

Si el estrés provocado por el manejo durante el marcado se prolonga, y el organismo tiene una baja capacidad homeostática, se podría desencadenar un evento letal para el elasmobranchio (De los Santos 2017). La mortalidad de ciertas especies de tiburones puede verse influenciada por el tiempo de manejo y la susceptibilidad específica de la especie. Según Gallagher et al. (2014), cada especie presenta un grado particular de respuesta al estrés, siendo algunas más vulnerables al impacto del manejo. Por ejemplo, el tiburón martillo (*Sphyrna mokarran*) es notablemente más sensible ante el estrés que el tiburón punta negra (*Carcharhinus limbatus*) o el tiburón toro (*Carcharhinus leucas*), lo que dificulta sus recapturas y pone en riesgo a estos animales, que están en peligro de extinción (Gallagher et al. 2014). Hoolihan et al. (2011) concluyeron que el tiburón azul (*Prionace glauca*) experimenta cambios en su comportamiento posterior al marcaje debido al trauma de la captura y manejo, al procedimiento de marcado y por portar las marcas. En un estudio posterior, Hays et al. (2016) resaltaron la necesidad de adicionar regulaciones éticas para especies vulnerables de la megafauna que podrían ser sensibles al estrés asociado a los procesos de captura, manipulación y marcaje. Por lo tanto, es imperativo investigar el bienestar de los tiburones durante el procedimiento de marcaje.

En su estudio con tiburones mako (*Isurus oxyrinchus*), Marshall et al. (2012) encontraron que el lactato podría ser un indicador potencial de la mortalidad en el 16-20% de los casos, en comparación con otros marcadores sanguíneos (Na⁺, Ca²⁺, Cl⁻, Mg²⁺ y glucosa). Mohan et al. (2020) señalaron que en las muertes inmediatas observadas en *C. limbatus*, se registraba un aumento significativo en el lactato (mediana de 2.8 mmol·L⁻¹ en sobrevivientes y 5.9 mmol·L⁻¹ en individuos en los que se observó la mortalidad inmediata). Por consiguiente, a través de este biomarcador, es posible evaluar el impacto de eventos considerados hostiles, como la captura, e identificar posibles factores que influyen en el estrés (e.g., tiempo o especie), lo que

puede ayudarnos a evaluar la probabilidad de supervivencia, capacidad de recuperación o riesgo de deceso del animal (Jerome et al. 2017, Aguilar 2018). Además, se debe tomar en consideración que todo estudio científico debe velar por el refinamiento de las técnicas para reducir el estrés asociado al manejo y la captura. En este contexto, los objetivos del estudio fueron medir los niveles de lactato en sangre después del manejo en 2 especies de tiburones (*Rhizoprionodon longurio* y *Sphyrna lewini*), y comparar estos niveles de lactato según el tiempo de manejo y la especie.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Los muestreos se realizaron en diversos puntos a lo largo de la costa del POT (Tabla 1) durante octubre del 2022. Esta época se caracteriza por ser la estación lluviosa con temperaturas atmosféricas cálidas alrededor de los 27.5 °C (González y D'Croz 2007).

Recolección de datos

Se recolectaron 17 individuos de *R. longurio* ($n = 8$) y *S. lewini* ($n = 9$), incluyendo tanto hembras como machos. Los tiburones fueron capturados incidentalmente durante la pesca de cerco de pequeños pelágicos, en la cual las especies objetivo son *Opisthonema libertate* y *Cetengraulis mysticetus*. Estos barcos industriales poseen una red de cerco de 627.9 m de largo por 54.6 m de alto, con una abertura de malla de 2.54 cm. Cada tiburón fue marcado utilizando marcas tipo espagueti (T-Bar FD-68B FF, Floy Tag & Mfg., Inc., Seattle, EE. UU.).

A cada tiburón se le tomó una muestra de sangre por punción en el pedúnculo caudal con jeringuillas de un 1 mL y agujas de calibre 25 G. La medición del lactato se realizó con un medidor portátil Accutrend Plus (Roche Diagnostics, Basilea, Suiza). El tiempo de manejo varió entre 10 a 35 min. Este tiempo comenzó cuando el tiburón fue avistado en la red de cerco y terminó cuando el tiburón fue liberado al mar, incluyendo el tiempo durante el cual fue capturado con una pequeña red y subido a bordo. Durante su permanencia a bordo, se registraron los siguientes datos: especie, longitud total (LT), sexo, estado de madurez y las coordenadas de captura mediante un GPS W84 (Garmin, Ltd., Olathe, EE.UU.).

Cuando el tiburón estuvo a bordo, se colocó la marca convencional y se recolectó la muestra de sangre. El tiempo promedio de manipulación fue de 4 min. Por otro lado, el tiempo de pelea, que se refiere al intervalo desde el avistamiento cercano al cierre total del cerco, varió entre 5 y 30 min. Es importante recalcar que el porcentaje de encierro fue aproximadamente del 90% y, durante esta fase, la red (el bolso) se encontraba saturada de organismos que confirmaban la captura. Esta definición del tiempo de pelea difiere de lo descrito por Brownscombe et al. (2016), quienes basaron sus observaciones en peces capturados con artes de pesca con anzuelos y definieron el tiempo de

pelea como el intervalo transcurrido entre el momento en que un tiburón mordía el anzuelo y cuando fue inmovilizado físicamente. Finalmente, el tiempo de remojo de la red fue aproximadamente de 40 min a 120 min.

Análisis estadístico

La normalidad y homocedasticidad de las variables tiempo de manejo (minutos), medición corporal (cm) y concentración de lactato en sangre ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$) se analizaron por medio de las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente. La relación entre la concentración de lactato para cada especie de tiburón en función de su tamaño y tiempo de manejo se determinó mediante un modelo lineal generalizado (MLG) univariante (considerando la especie, el sexo, el tamaño y el tiempo de manejo por la concentración de lactato) y multivariante con distribución logarítmica (la concentración de lactato por especie y el tiempo de manejo), junto con los valores del Pseudo- R^2 de McFadden (R^2_{MF}), que se calcularon con los paquetes 'MASS' y 'Performance' y el perfilador de predicción de la tendencia del MLG.

Se utilizó el método de Kaplan-Meier para determinar el rango de tiempo de manipulación que podría causar un

aumento de lactato mortal en ambas especies. Según IBM Corporation (2024), este método emplea un cálculo basado en tablas de mortalidad para estimar la función de riesgo o supervivencia en los momentos en que ocurren los eventos. Este modelo se fundamenta en calcular las probabilidades condicionales asociadas a cada instante temporal y utilizar el producto acumulado de estas probabilidades para determinar la tasa de supervivencia en cada punto del tiempo. Las diferencias estadísticas entre la concentración de lactato por especie y el tiempo de manejo fueron determinadas con las pruebas de Wilcoxon, Chi cuadrado de Pearson y Chi cuadrado de Wald. Las diferencias significativas se evaluaron con un valor de $P < 0.05$. Todos los análisis se realizaron en Jump Pro v. 14.0, R. v. 4.4.0. (R Core Team 2024) y RStudio v. 2024.09.1+394 (Posit Team 2024).

RESULTADOS

Se recolectó un total de 17 muestras de sangre periférica de tiburones juveniles de *R. longurio* ($n = 8$) y *S. lewini* ($n = 9$) capturados. La población en estudio tuvo una mediana en LT de 54 cm. La concentración mediana de lactato fue de $3.10 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ para *S. lewini* y de $4.85 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ para

Tabla 1. Información sobre las capturas de pesca muestreadas durante octubre de 2022 en Puerto Caimito.

Zona de pesca	Latitud (N)	Longitud (O)	Especie	Sexo
Cerro Tigre	8°29'37.7406"	79°44'17.2788"	<i>Sphyrna lewini</i>	Hembra
Cerro Tigre	8°29'37.7406"	79°44'17.2788"	<i>Sphyrna lewini</i>	Hembra
Isla Chaman	8°45'0.5394"	79°36'16.9806"	<i>Rhizoprionodon longurio</i>	Hembra
Isla Verde	8°44'44.6994"	79°40'30.6012"	<i>Rhizoprionodon longurio</i>	Macho
Isla Chaman	8°46'38.28"	79°36'22.2006"	<i>Rhizoprionodon longurio</i>	Macho
Isla Chaman	8°46'38.28"	79°36'22.2006"	<i>Rhizoprionodon longurio</i>	Hembra
Isla Chaman	8°46'38.28"	79°36'22.2006"	<i>Rhizoprionodon longurio</i>	Macho
Isla Chaman	8°46'38.28"	79°36'22.2006"	<i>Sphyrna lewini</i>	Hembra
Isla Chaman	8°46'38.28"	79°36'22.2006"	<i>Sphyrna lewini</i>	Hembra
Isla Chaman	8°46'38.28"	79°36'22.2006"	<i>Rhizoprionodon longurio</i>	Hembra
Isla Chaman	8°46'38.28"	79°36'22.2006"	<i>Rhizoprionodon longurio</i>	Hembra
Isla Chaman	8°46'38.28"	79°36'22.2006"	<i>Rhizoprionodon longurio</i>	Macho
Isla Chaman	8°43'14.0412"	79°39'6.3612"	<i>Sphyrna lewini</i>	Hembra
Isla Chaman	8°43'14.0412"	79°39'6.3612"	<i>Sphyrna lewini</i>	Hembra
Isla Chaman	8°43'14.0412"	79°39'6.3612"	<i>Sphyrna lewini</i>	Macho
Isla Chaman	8°43'14.0412"	79°39'6.3612"	<i>Sphyrna lewini</i>	Hembra
Chame	8°39'54.18"	79°38'13.8582"	<i>Sphyrna lewini</i>	Hembra

Tabla 2. Características generales de la población de tiburones en estudio. Entre paréntesis se presenta el porcentaje de n . $\bar{x}$: media; Me: mediana; DE: desviación estándar; $S\bar{x}$: error estándar; RIC: rango intercuartil. Todos los individuos capturados eran juveniles.

Características generales	<i>Sphyrna lewini</i> n = 9 (%)	<i>Rhizoprionodon longurio</i> n = 8 (%)	Total N = 17 (%)
Sexo			
Macho	1 (11.11)	4 (50.00)	5 (29.41)
Hembra	8 (88.89)	4 (50.00)	12 (70.59)
Longitud total (LT) (cm)			
45-49	0 (0.00)	5 (62.50)	5 (29.41)
50-54	2 (22.22)	3 (37.50)	5 (29.41)
55-59	3 (33.33)	0 (0.00)	3 (17.65)
60-64	3 (33.33)	0 (0.00)	3 (17.65)
65-69	1 (11.12)	0 (0.00)	1 (5.88)
$\bar{x}$ ($\pm$ DE)	58.39 (4.34)	49.62 (1.38)	54.26 (5.53)
$S\bar{x}$	1.44	0.49	1.34
Me (RIC)	56.00 (54.75-62.25)	49.00 (48.62-50.88)	54.00 (49.00-58.00)
Concentración de lactato (mmol·L ⁻¹)			
1.0-2.9	4 (44.44)	2 (25.00)	6 (35.29)
3.0-4.9	5 (55.56)	2 (25.00)	7 (41.18)
5.0-6.9	0 (0.00)	1 (12.50)	1 (5.88)
7.0-8.9	0 (0.00)	2 (25.00)	2 (11.77)
>9.0	0 (0.00)	1 (12.50)	1 (5.88)
$\bar{x}$ ($\pm$ DE)	2.88 (0.99)	5.11 (3.05)	3.93 (2.42)
$S\bar{x}$	0.33	1.08	0.59
Me (RIC)	3.10 (2.25-3.35)	4.85 (2.12-8.20)	3.10 (2.25-5.60)
Tiempo de manejo (min)			
Bajo ($\leq$ 10)	1 (11.11)	1 (12.50)	2 (11.76)
Medio (10.1-19.9)	2 (22.22)	2 (25.00)	4 (23.53)
Alto ($\geq$ 20)	6 (66.67)	5 (62.50)	11 (64.71)
$\bar{x}$ ($\pm$ DE)	21.33 (5.85)	21.12 (8.77)	21.23 (7.13)
$S\bar{x}$	1.95	3.10	1.73
Me (RIC)	21.00 (17.50-5.00)	20.00 (12.75-29.50)	21.00 (16.00-26.50)

R. longurio. Solo en un ejemplar de *S. lewini* se reportó un valor de lactato de $1 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$. La mayoría de los tiburones (65%) tuvo un tiempo de manejo alto, con una mediana de 21 min para ambas especies (Tabla 2). Los valores de tiempo y las mediciones corporales presentaron distribuciones normales y varianzas homogéneas ($P > 0.05$) según las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente. En contraste, los valores de la concentración de lactato mostraron un comportamiento no paramétrico, con distribución no normal ($P = 0.0097$). La correlación de la concentración de lactato con las variables de especie, sexo, tamaño corporal y tiempo de manipulación mostró un valor de R^2_{MF} de 0.608 ($P = 0.0031$), indicando que el 61% de la variabilidad en la concentración del lactato en sangre fue explicado por las variables. El MLG univariante mostró dependencia significativa de la concentración de lactato con respecto a la especie de tiburón ($R^2_{\text{MF}} = 0.272$, $P = 0.022$) y tiempo de manipulación ($R^2_{\text{MF}} = 0.474$, $P = 0.0012$). La relación con el tamaño del animal fue marginalmente significativa ($R^2_{\text{MF}} = 0.216$, $P = 0.0497$), y no se encontró una relación significativa con el sexo ($R^2_{\text{MF}} = 0.081$, $P = 0.223$). El modelo multivariante mostró que el tiempo es la variable que mayormente aporta ($P = 0.0015$) a la concentración de lactato en la sangre (Fig. 1).

La mediana en el tiempo de manejo, cuando se observó el incremento en los niveles de lactato en sangre, fue de 21 min (intervalo de 15-25 min) para ambas especies. Es decir, al superar este umbral de tiempo de manejo, aumentaron los niveles de lactato, lo cual incrementó la probabilidad de mortalidad en el animal. De acuerdo al análisis de Kaplan-Meier, no hubo diferencia en la mediana del tiempo de manejo ($\chi^2 = 0.037$, $P = 0.84$) para ambas especies de tiburón (Fig. 2). En cuanto a la evaluación de los niveles de lactato en sangre por

especie, se observó que *R. longurio* tendió a presentar niveles de lactato más elevados que los de *S. lewini* ($\chi^2 = 6.86$, $P = 0.0088$) en diferentes tiempos de manejo (Fig. 3).

DISCUSIÓN

En este trabajo se pudo confirmar que, al aumentar el tiempo de manejo de los tiburones durante el proceso de marcaje, los niveles de lactato en sangre aumentaron (Fig. 1). Para evitar reducir las posibilidades de supervivencia en ambas especies analizadas, los límites del tiempo de manejo deben variar entre los 15 min y 25 min, considerando el tiempo desde que los animales son avistados en la red hasta su liberación. Un tiempo de manejo mayor podría desencadenar su muerte (Fig. 2) (Aguilar 2018). Murray et al. (2015) señalaron que tiburones pintarroja (*Scyliorhinus canicula*) expuestos a un tiempo de manejo de 40 min presentaron un aumento en la concentración de lactato en la sangre en comparación con aquellos con tiempos de manejo de solo 15 min. Los hallazgos encontrados por Fuller et al. (2020) para el tiburón picudo del Atlántico (*Rhizoprionodon terraenovae*) indican que, a pesar de emplear anzuelos para la captura, los resultados fueron consistentes con los obtenidos en este estudio. En la investigación de Fuller et al. (2020), las concentraciones de lactato fueron obtenidas por un dispositivo comercial de medición de lactato, y se encontró que los niveles aumentaban significativamente en tiempos de manejo entre 45 min y 60 min, alcanzando valores entre $4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ y $8 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$. Los resultados de este estudio, obtenidos mediante el análisis de Kaplan-Meier, en conjunto con los hallazgos reportados

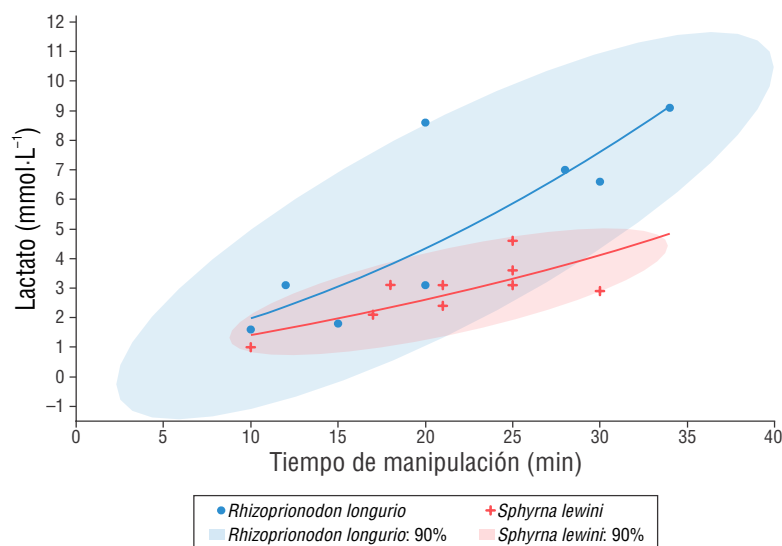


Figura 1. Análisis multivariante con Pseudo- R^2_{MF} , el cual muestra la dependencia significativa de las mediciones de lactato en función de la especie y el tiempo de manejo ($R^2_{\text{MF}} = 0.630$, $P = 0.0046$).

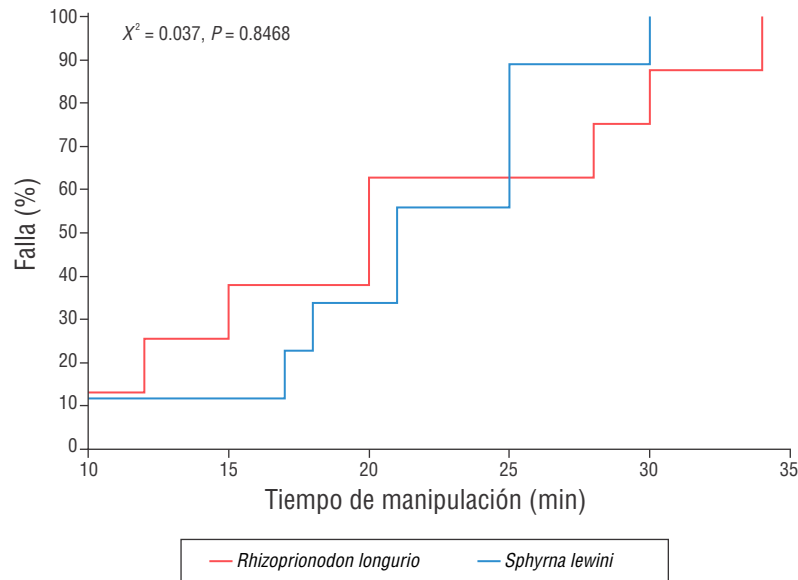


Figura 2. Análisis Kaplan-Meier de la concentración de lactato por el tiempo de manejo de cada individuo, donde la mediana del tiempo de manejo es de 21 min.

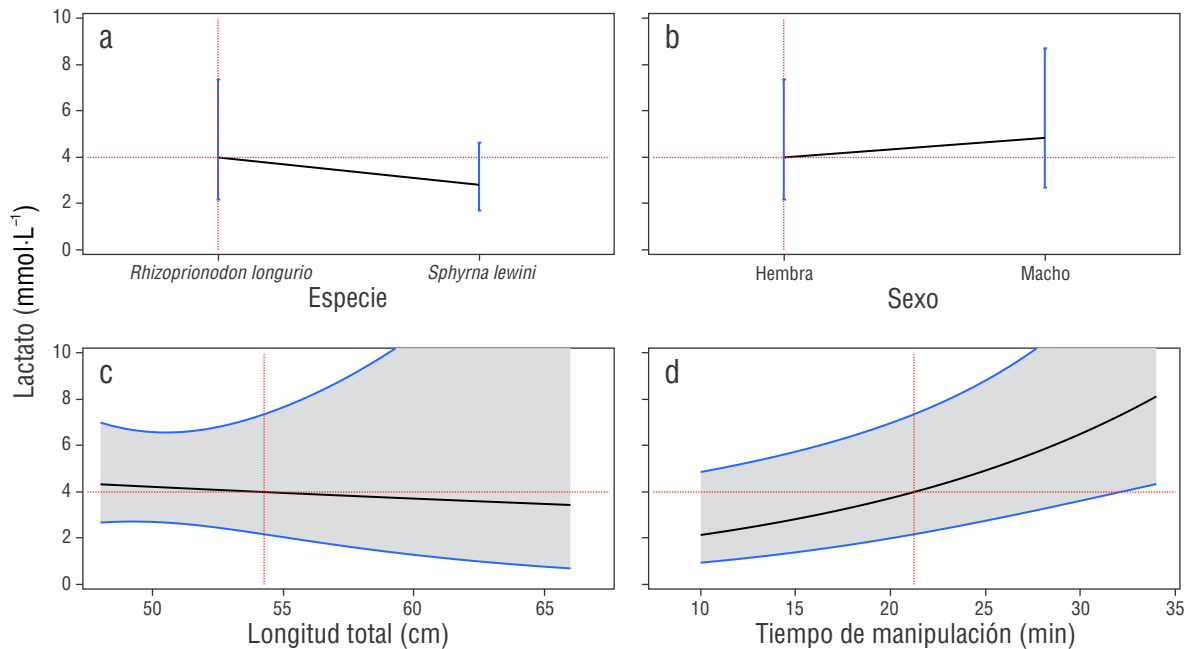


Figura 3. Perfilador de predicción de tendencia de lactato ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) por especie.

por Fuller et al. (2020), sugieren que al aumentar el tiempo de manejo, el riesgo de mortalidad del tiburón puede incrementar. Esto se debe a los efectos negativos asociados con los niveles elevados de lactato, como se ha documentado en investigaciones previas (Dumetz et al. 2008, Marshall et al. 2012, Jerome et al. 2017).

En este estudio, *R. longurio* presentó una tendencia mayor al aumento en la concentración de lactato en comparación con la de *S. lewini* (Fig. 3). Tanto la concentración de

lactato promedio para *S. lewini* ($3.10 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) como para *R. longurio* ($4.85 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) sugieren altos niveles en comparación con los valores indicadores reportados por Brooks et al. (2012) y Gallagher et al. (2014), quienes señalaron que el rango de concentraciones de lactato en tiburones no estresados varió entre $0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ y $1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Al comparar los valores de este estudio con los reportados por Fuller et al. (2020), los cuales se describieron anteriormente, el rango del lactato en *R. terraenovae* fue de $2 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$

a $6 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$. La especie más similar en términos de ecología y biología de *S. lewini* es *C. limbatus*. Mohan et al. (2020) reportaron una media de $2.8 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ para *C. limbatus* en tiburones adultos supervivientes y un valor de $5.9 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ para aquellos con mortalidad inmediata. Durante la etapa juvenil, *S. lewini* presenta un hábito bentónico (Klimley 1983, Torres-Rojas et al. 2010), por lo que sus valores de lactato pueden ser más comparables a géneros con hábitats bentónicos como especies de tiburón del género *Rhizoprionodon*. Giesy et al. (2025) determinaron que factores antropogénicos, como la pesca intensiva, la contaminación y la destrucción de hábitat y sus interacciones, pueden afectar más a especies bentónicas, como el tiburón nodriza (*Ginglymostoma cirratum*), que el estrés por captura y manejo. En este sentido, las especies bentónicas son más susceptibles al estrés fisiológico, lo cual se reflejó en los niveles elevados de lactato ($0.7 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ a $22.1 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$) (Giesy et al. 2025) en comparación con los de sus contrapartes pelágicas que habitan áreas más alejadas de la influencia humana. Al margen de las causas, esto indica que *R. longurio* y *S. lewini* sufren cambios en su metabolismo al ser manipulados, ya sea debido a las reacciones metabólicas específicas de cada especie (Jerome et al. 2017), a la metodología utilizada o a otras variables no analizadas en este estudio.

CONCLUSIONES

Este estudio demuestra que la técnica de marcaje convencional en tiburones causa altos niveles de lactato en sangre, un indicador del estrés, en función al tiempo de manejo y la especie. Los individuos analizados de *R. longurio* tuvieron mayores concentraciones de lactato en la sangre en comparación a las de *S. lewini*. De acuerdo a los resultados, el tiempo de manejo debe ser menor a 25 min. Esperamos que este rango crítico sea una guía práctica para futuros estudios que utilicen técnicas de marcaje con estas especies. El hecho de que el tiburón se encuentre fuera de su entorno afectará sus funciones fisiológicas. Es prudente tomar en cuenta que el equipo debe realizar la captura lo más rápido posible, tanto para evitar que el animal realice un ejercicio exhaustivo al querer huir, como para prevenir que no se lastime con la red o el bote. También es necesario realizar la manipulación durante el marcaje de manera que el animal no agote sus energías ni aumente el lactato en la sangre a rangos críticos, y liberar a los organismos bajo vigilancia posterior a la captura para maximizar la probabilidad de supervivencia. Esta vigilancia debe llevarse a cabo a corto, mediano y largo plazo para evaluar la tasa de supervivencia de los tiburones, especialmente en especies en estado crítico de conservación, fortaleciendo así los esfuerzos de conservación.

DECLARACIONES FINALES

Agradecimientos

Quisiera agradecer a la Clínica de Diagnóstico Integral Veterinario (CADIV) por entregar con confianza el aparato

de lactato para realizar las mediciones, al equipo de *Shark Defenders* que apoyó en el manejo de los tiburones, a la empresa Promarina, al capitán y tripulantes del barco de cerco *El Tabor*, a los profesores de la Universidad de Panamá y a mis compañeros de biología marina de la Universidad Marítima Internacional de Panamá.

Fondos

Este estudio no recibió financiación de ninguna fuente.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribuciones de autor

Conceptualización: AP; Curación de datos: JP; Análisis formal: JP; Adquisición de financiamiento: YA y AP; Investigación: AP; Metodología: AP y AQ; Administración del proyecto: AP; Recursos: AP; Software: JP; Supervisión: AQ; Validación: AP, AQ; Visualización: AP, JP; Redacción—borrador original: AQ, AP, YA, JP; Redacción—revisión y edición: JP, YA, AP.

Disponibilidad de datos

Se pueden obtener los datos para este estudio a través del autor correspondiente bajo petición razonable.

Uso de herramientas de IA

Los autores no utilizaron ninguna herramienta de inteligencia artificial para este trabajo.

REFERENCIAS

- Aguilar A. 2018. Búsqueda de marcadores de estrés por exposición al aire en elasmobranchios: uso de la pintarroja (*Scyliorhinus canicula*) como modelo fisiológico. [dissertation]. [Puerto Real]: Universidad de Cádiz. 33 p. <https://rodin.uca.es/bitstream/handle/10498/21693/TFGfinalACA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bartes S, Simpfendorfer C, Walker TI, King C, Loneragan N, Braccini M. 2021. Conventional tagging of sharks in Western Australia: the main commercial species exhibit contrasting movement patterns. *Mar Freshwater Res.* 72(11):1643-1656. <https://doi.org/10.1071/mf20367>
- Brooks EJ, Mandelman JW, Sloman KA, Liss S, Danylchuk AJ, Cooke SJ, Skomal GB, Philipp DP, Sims DW, Suski CD. 2012. The physiological response of the Caribbean reef shark (*Carcharhinus perezii*) to longline capture. *Comp Biochem Physiol Part A Mol Integr Physiol.* 162(2):94-100. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2011.04.012>
- Brownscombe JW, Danylchuk AJ, Chapman JM, Gutowsky LF, Cooke SJ. 2016. Best practices for catch-and-release recreational fisheries – angling tools and tactics. *Fish Res.* 186(Part 3):693-705. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2016.04.018>

- De los Santos Rodríguez E. 2017. Respuesta fisiológicas de peces sometidos a estrés [BSc thesis]. [Laguna, Spain]: Universidad de la Laguna. 33 p.
- Dumetz AC, Chockla AM, Kaler EW, Lenhoff AM. 2008. Effects of pH on protein-protein interactions and implications for protein phase behavior. *Biochim Biophys Acta Proteins Proteomics*. 1784(4):600-610.
<https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2007.12.016>
- Elliott R, Montgomery J, Della Penna A, Radford C. 2022. Satellite tags describe movement and diving behaviour of the blue shark *Prionace glauca* in the southwest Pacific. *Mar Ecol Prog Ser*. 689:77-94.
<https://doi.org/10.3354/meps14037>
- Espinoza M, Heupel MR, Tobin AJ, Simpfendorfer CA. 2015. Residency patterns and movements of grey reef sharks (*Carcharhinus amblyrhynchos*) in semi-isolated coral reef habitats. *Mar Biol*. 162(2):343-358.
<https://doi.org/10.1007/s00227-014-2572-x>
- Fuller L, Stell E, Leary C, Parsons G. 2020. Circulating adrenocorticotrophic hormone levels, lactate levels, hematocrit and osmolality in relation to capture stress in Atlantic sharpnose sharks, *Rhizoprionodon terraenovae*. *Comp Biochem Physiol Part A Mol Integr Physiol*. 243:110655.
<https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2020.110655>
- Gallagher A, Serafy J, Cooke S, Hammerschlag N. 2014. Physiological stress response, reflex impairment, and survival of five sympatric shark species following experimental capture and release. *Mar Ecol Prog Ser*. 496:207-218.
<https://doi.org/10.3354/meps10490>
- Giesy KC, Jerome J, Wester J, D'Alessandro E, McDonald MD, Macdonald C. 2025. The physiological stress response of juvenile nurse sharks (*Ginglymostoma cirratum*) to catch-and-release recreational angling. *PLoS ONE*. 20(1):e0316838.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0316838>
- Gonzalez LM, D'Croz L. 2007. Variabilidad espacial del afloramiento en el golfo de Panamá (Panamá). *Tecnociencia*. 9(2):107-119.
- Guzman HM, Collatos CM, Gomez CG. 2022. Movement, behavior, and habitat use of whale sharks (*Rhincodon typus*) in the Tropical Eastern Pacific Ocean. *Front Mar Sci*. 9.
<https://doi.org/10.3389/fmars.2022.793248>
- Guzman HM, Gomez CG, Hearn A, Eckert SA. 2018. Longest recorded trans-Pacific migration of a whale shark (*Rhincodon typus*). *Mar Biodivers Rec*. 11(1):8.
<https://doi.org/10.1186/s41200-018-0143-4>
- Hays GC, Ferreira LC, Sequeira AM, Meekan MG, Duarte CM, Bailey H, Bailleul F, Bowen WD, Caley MJ, Costa DP. 2016. Key Questions in Marine Megafauna Movement Ecology. *Trends Ecol Evol*. 31(6):463-475.
<https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.02.015>
- Hoolihan JP, Luo J, Abascal FJ, Campana SE, de Metrio G, Dewar H, Domeier ML, Howey LA, Lutcavage ME, Musyl MK. 2011. Evaluating post-release behaviour modification in large pelagic fish deployed with pop-up satellite archival tags. *ICES J Mar Sci*. 68(5):880-889.
<https://doi.org/10.1093/icesjms/fsr024>
- IBM Corporation. 2024. Análisis de supervivencia de Kaplan-Meier: IBM; [accessed Sept 30 2024]. <https://www.ibm.com/docs/es/spss-statistics/saas?topic=statistics-kaplan-meier-survival-analysis>
- Jerome JM, Gallagher AJ, Cooke SJ, Hammerschlag N. 2017. Integrating reflexes with physiological measures to evaluate coastal shark stress response to capture. *ICES J Mar Sci*. 75(2):796-804.
<https://doi.org/10.1093/icesjms/fsx191>
- Klimley AP. 1983. Social organization of schools of the scalloped hammerhead, *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith), in the Gulf of California [dissertation]. [San Diego, CA]: University of California. 341 p.
- Madrigal-Mora S, Chávez EJ, Arauz R, Lowe CG, Espinoza M. 2024. Long-distance dispersal of the endangered Pacific nurse shark (*Ginglymostoma unami*, Orectolobiformes) in Costa Rica revealed through acoustic telemetry. *Mar Fresh Res*. 75(2):MF23162.
<https://doi.org/10.1071/mf23162>
- Marshall H, Field L, Afiadata A, Sepulveda C, Skomal G, Bernal D. 2012. Hematological indicators of stress in longline-captured sharks. *Comp biochem physiol Part A Mol Integr Physiol*. 162(2):121-129.
<https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2012.02.008>
- Mohan JA, Jones ER, Hendon JM, Falterman B, Boswell KM, Hoffmayer ER, Wells RJD. 2020. Capture stress and post-release mortality of blacktip sharks in recreational charter fisheries of the Gulf of Mexico. *Conserv Physiol*. 8(1):coaa041.
<https://doi.org/10.1093/conphys/coaa041>
- Murray C, Connors R, O'Connor I, Dowling V. 2015. The physiological response and recovery of a common elasmobranch bycatch species: the lesser spotted dogfish (*Scyliorhinus canicula*) subject to a controlled exposure event. *Biol Environ*. 115B(3):143-156.
<https://doi.org/10.1353/bae.2015.0001>
- Posit Team. 2024. RStudio: Integrated Development Environment for R. v. 4.03. Boston (USA): Posit PBC. <http://www.posit.co/>
- R Core Team (2024). R: A language and environment for statistical computing. Vienna (Austria): R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Rodríguez-Arriatti YN, Tavares R, Alvarado S. 2021. Assessment of the artisanal shark fishery in the Pacific coast of Panama highlights a high proportion of immature and threatened species. *Pan-American J Aquat Sci*. 16:189-195.
- Rodríguez-Arriatti. 2023. Interacción de la flota bolichera con las poblaciones de tiburones y rayas en el Pacífico Oriental de Panamá. Technical Report. 43 p.
- Torres-Rojas Y E, Hernández-Herrera A, Galván-Magaña F, Alatorre-Ramírez V G. 2010. Stomach content analysis of juvenile, scalloped hammerhead shark *Sphyrna lewini* captured off the coast of Mazatlán, Mexico. *Aquat Ecol*. 44(1):301-308.
<https://doi.org/10.1007/s10452-009-9245-8>
- Vega AJ, Robles PYA, Boniche S, Rodríguez M. 2008. Aspectos biológicos – pesqueros del género *Cynoscion* (pisces: sciaenidae) en el Golfo de Montijo, Pacífico panameño. *Tecnociencia*. 10(2):9-26.