

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA
ESCUELA DE BIOLOGÍA



MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA DE *Aetobatus laticeps* PROCEDENTES DEL
PUERTO DE LA LIBERTAD, EL SALVADOR.

TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO POR:

ANDREA MARIA PARADA HÉRCULES

JAZMINNE SARAI PAIZ MENA

PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE:

LICENCIADAS EN BIOLOGÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, ENERO 2025

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA
ESCUELA DE BIOLOGÍA



MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA DE *Aetobatus laticeps* PROCEDENTES DEL
PUERTO DE LA LIBERTAD, EL SALVADOR.

TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO POR:

ANDREA MARIA PARADA HÉRCULES

JAZMINNE SARAI PAIZ MENA

PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE:

LICENCIADAS EN BIOLOGÍA

ASESOR:

M. Sc. MIGUEL ÁNGEL MORENO MENDOZA

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Miguel', is written over a horizontal line.

CIUDAD UNIVERSITARIA, ENERO 2025

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA
ESCUELA DE BIOLOGÍA



MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA DE *Aetobatus laticeps* PROCEDENTES DEL
PUERTO DE LA LIBERTAD, EL SALVADOR.

TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO POR:

ANDREA MARIA PARADA HÉRCULES

JAZMINNE SARAI PAIZ MENA

PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE:

LICENCIADAS EN BIOLOGÍA

TRIBUNAL CALIFICADOR:

PhD. ROSALIA AGUILAR MEDRANO

M. Sc. JAIME JAVIER ESPINOZA

CIUDAD UNIVERSITARIA, ENERO 2025

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

M.Sc JUAN ROSA QUINTANILLA

VICERRECTORA ACADEMICA

DRA. EVELYN BEATRIZ FARFÁN

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO

M.Sc. ROGER ARMANDO ARIAS

SECRETARIO GENERAL

LIC. PEDRO ROSALIO ESCOBAR CASTANEDA

FISCAL

LIC. CARLOS AMÍLCAR SERRANO RIVERA

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA

DECANO

DR. LUIS GILBERTO PARADA GÓMEZ

VICEDECANO

DR. JOSÉ NERYS FUNES TORRES

SECRETARIA

LICDA. DORA ALICIA ARMERO DURÁN

DIRECTORA INTERINA DE LA ESCUELA DE BIOLOGÍA

LICDA. MILAGRO ELIZABETH SALINAS DELGADO

CIUDAD UNIVERSITARIA, ENERO 2025

DEDICATORIAS

A mi abuelo, Víctor Alonso Mena, quien, a pesar de no haber tenido la oportunidad de estudiar, me inculcó la importancia y el valor de la educación, enseñándome a salir adelante sin importar las circunstancias.

A María Deysi Alfaro, por estar al pendiente y cuidarme durante todo mi bachillerato, ella fue una de las razones por las que logre sobrevivir al colegio.

Un abrazo hasta el cielo.

A mi maestra de Ciencias del Colegio, Rosa Glendis, por enseñarme a apreciar la naturaleza e inspirarme a recorrer el camino de la biología.

Jazminne S. Paiz.

Con todo mi amor y gratitud, dedico esta tesis a mis padres, Juan Ramón Parada, Blanca Daysi Hércules y Manuel Antonio Parada, por su apoyo, sacrificios y ser mis guías en este camino. Su amor y confianza en mí fueron fundamentales para alcanzar esta meta.

A mis abuelos, María Otilia Cardona, por su amor incondicional, sus cuidados y sus oraciones, que siempre me han dado fuerza. A mi abuelo Ramón Parada Díaz, que me enseñó el valor de hacer las cosas con amor; estoy segura de que desde el cielo me cuida y me canta todos los días.

A mi familia por darme valor para seguir adelante, por buscar la manera de brindarme su apoyo y nunca dejarme caer.

Los quiero.

Andrea María Parada Hércules

AGRADECIMIENTOS

A mis papás, por darme el privilegio de estudiar, gracias por su apoyo, por cada sacrificio que hicieron sin dudarlos.

A mi terco hermano menor, por escucharme pacientemente en todas mis exposiciones y explicaciones de materias que claramente no entendía y a Crono por ser el mejor perro de apoyo emocional a lo largo de este trabajo.

A mi abuela Tránsito de Jesús y a mi tío Arcides Paiz, por estar conmigo a la distancia, pero siempre presentes con sus palabras de aliento. Gracias por inculcarme que, sin importar las dificultades, jamás debo agachar la cabeza.

A mis amigos, empezando por mi amiga de la infancia, Diana Alfaro, por sus palabras de apoyo cada vez que quería cambiar de carrera.

A Fabiola Guerra, Roberto Navarro y Ligia Muñoz, por estar ahí en cada momento importante, dándome sus mejores consejos y motivándome a seguir adelante.

A mi amiga (quien parece más mi hermana) y compañera de tesis, Andrea Parada, gracias por ser mi apoyo en esta travesía. Te prometo que el tema del doctorado será menos tedioso.

A mi mejor amigo y hermano mayor que nunca tuve, Douglas Donis, quien siempre me respaldó en las cátedras que involucraban salidas de campo porque, aceptémoslo, tengo una pésima percepción del peligro.

A Clelia Valladares, por sus comentarios agresivos (pero bien intencionados) que me hicieron apurarme con la tesis, y sobre todo por su apoyo durante las predefensas y la defensa.

A mi asesor de tesis, M. Sc. Miguel Moreno, por su guía, paciencia y apoyo a lo largo de todo este proceso. Sinceramente, ha sido de los mejores docentes que he conocido, y fue un honor haber sido su estudiante, y la Doctora Rosalía Aguilar Medrano, por brindarnos su apoyo y no dudar ni un momento en ayudarnos con nuestras dudas, siempre con la mejor disposición.

Y finalmente, a Diego Fallas quién a pesar de la distancia, nos brindó todo su conocimiento y apoyo sin pensarlo dos veces. Al final del día, todos compartimos algo en común: el amor por el océano y cada especie que lo habita, en especial ese amor por las rayas.

Jazminne S. Paiz

A mis hermanos, Karla, Óscar y Paty, por ser mis cómplices incondicionales, por cada consejo, por celebrar conmigo cada logro y por apoyarme en cada uno de mis sueños. A Ana Leonor y Josefina del Carmen, más que tías, han marcado una diferencia en mi vida, cada una a su manera, brindándome siempre un refugio de amor y confianza.

A mi familia en general, por ser el mayor ejemplo de lucha, esfuerzo y dedicación. A mis perritos, Cosito y Toto, mis compañeros de desvelos, por ser mi soporte emocional y por brindarme la mejor compañía.

A mi amiga y compañera de tesis, Sarai Paíz, nada de esto sería posible sin vos. Gracias por tu paciencia, por tu apoyo y por convertir esta experiencia en una aventura que siempre recordaremos. Agradezco haberlo vivido con vos.

A mis amigos, que tuve la suerte de encontrármelos en el camino. A mi mejor amiga, Yessenia Cáceres, por ser un ejemplo de amistad, por acompañarme en cada etapa. A Michelle Constanza, por ser una amiga invaluable desde nuestros días en la carrera. A Gabriela Riasco, por estar siempre a mi lado y escucharme cuando más lo necesitaba. Y a Fabiola Guerra, por ser la mejor compañera de trabajos y animarme cada vez que pensaba que no lo iba a lograr.

A mi asesor, Miguel Moreno, por su guía y paciencia, por compartir su conocimiento y apoyarnos no solo en la elaboración de la tesis, sino a lo largo de toda la carrera. A la doctora Rosalía Aguilar Medrano y Diego Fallas Madrigal, por brindarnos su ayuda y conocimientos. Su trabajo es una fuente de inspiración invaluable, mostrándonos con su ejemplo el impacto que la investigación y la educación pueden tener en el mundo.

Finalmente, agradecer a los pescadores de El Puerto de La Libertad por compartir su conocimiento y experiencias que ayudaron a la elaboración de este proyecto.

Andrea María Parada Hércules

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. RESUMEN	1
2. INTRODUCCIÓN	2
3. OBJETIVOS	3
3.1. Objetivo General	3
3.2. Objetivo Específicos	3
4. MARCO TEÓRICO.....	4
4.1. Antecedentes	4
4.2. Descripción Taxonómica.....	6
4.3. Descripción morfológica.....	6
4.4. Ciclo de vida y aspectos reproductivos	9
4.5. Importancia económica	10
4.6. Morfometría geométrica	11
4.7. Morfometría geométrica en la conservación de especies	12
5. METODOLOGÍA.....	13
5.1. Ubicación de sitio de estudio	13
5.2 Periodo de muestreo.....	13
5.3. Metodología de muestreo	14
5.4. Análisis y Procesamiento de las muestras.....	15
6. RESULTADOS	17
6.1. Error de Medición.....	18
6.2. Análisis de Componentes Principales	19
6.3. Análisis de Variables Canónicas.....	21
6.4 Alometría.....	22
7. DISCUSIÓN	24
8. CONCLUSIONES.....	26
9. RECOMENDACIONES	27

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28
ANEXOS	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de distribución de <i>Aetobatus laticeps</i> . Obtenido de Red List, IUCN <i>Aetobatus laticeps</i> (Pacific Eagle Ray) (iucnredlist.org).....	4
Figura 2. Diversidad de patrones de manchas. Extraído de: Fallas-Madrigal, D., Castelo-Corona, A., Mejías, D., Stephens-Cárdenas, S., Astorga-Arias, J., Molina-Quirós, J. L., & Hernández, S. (2021). Diversity of white spot patterns in the eagle ray <i>Aetobatus laticeps</i> (Myliobatiformes: Aetobatidae) in the north Pacific coast of Costa Rica. <i>Revista de Biología Tropical</i> , 69(Suppl. 2), S267-S276. https://doi.org/10.15517/rbt.v69iSuppl.2.48323	5
Figura 3. A. Vista dorsal de <i>A. laticeps</i> . A: Hocico; B: Cabeza; C: Espiráculos; D: Aletas Pectorales; E: Inicio de Cola; F: Aletas Pélvicas; G: Claspers. B. Vista ventral de <i>A. laticeps</i> . A: Boca; B: Pares Branquiales; C: Aleta Pectorales; D: Cloaca; E: Aletas Pélvicas; F: Claspers.....	7
Figura 4. Individuos de <i>A. laticeps</i> observados en el Puerto de La Libertad en donde se presenta una ligera variación de la forma en la parte superior de las aletas pectorales.....	8
Figura 5. Región oronasal de <i>A. laticeps</i> . A: Nostril; B: Cortina Nasal; C: Boca; D: Borde; E: Ampollas de Lorenzini.	8
Figura 6. Costado de cabeza de <i>A. laticeps</i> . A: Hocico; B: Ojo; C: Espiráculos.....	8
Figura 8. A. Presencia de cláster en <i>A. laticeps</i> . B. Ausencia de cláster en <i>A. laticeps</i>	9
Figura 9. Cría de <i>A. laticeps</i> cuya hembra fue capturada en el Puerto de La Libertad.	10
Figura 10. Hembra adulta capturada en el Puerto de La Libertad.....	10
Figura 11. Ubicación geográfica y áreas de embarque/desembarque, preparación y comercialización del Puerto de La Libertad.....	13
Figura 12. Toma de medida de Ancho de Disco y documentación fotográfica para posterior análisis.	14
Figura 13. Especimen de <i>A. laticeps</i> (macho) con daño en sus aletas pélvicas.	14
Figura 14. Ejemplo del antes y después de la edición de las fotografías, por lo general se retira el fondo y se corrige un poco las sombras y luces.	15

Figura 15. Coordenadas de referencia (Landmarks). A. Landmarks colocados en la zona dorsal; B. Visualización de landmarks de zona dorsal en MorphoJ.....	16
Figura 16. Representación de la deformación de las aletas y cabeza de <i>A. laticeps</i> la cual corresponde a la diferencia en la variación del espacio de forma en los individuos estudiados para juveniles. A. Vectores de deformación indicando la magnitud y dirección del cambio de forma; El tamaño de las flechas indica el grado de diferencia en la forma de cada región: las flechas pequeñas indican que las diferencias en la forma no son significativas, las flechas más grandes señalan cambios más pronunciados. En este caso, la región cefálica presenta variaciones morfológicas significativamente mayores en comparación con las aletas pectorales. B. Grilla de deformación reportando los cambios en la forma del cuerpo.....	17
Figura 17. Representación de la deformación de la forma de las aletas y cabeza de adultos <i>A. laticeps</i> la cual corresponde a la diferencia en la variación del espacio de forma en los individuos estudiados para adultos. A. Vectores de deformación indicando la magnitud y dirección del cambio de forma; El tamaño de las flechas indica el grado de diferencia en la forma de cada región: las flechas pequeñas indican que las diferencias en la forma no son significativas, las flechas más grandes señalan cambios más pronunciados. En este caso, la región cefálica presenta variaciones morfológicas significativamente mayores en comparación con las aletas pectorales. B. Grilla de deformación reportando los cambios en la forma del cuerpo.	18

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 6.1. Representación gráfica del ACP. Ubicación de promedio de conformación de los ejemplares de <i>Aetobatus laticeps</i>	20
Gráfico 6.2. El gráfico de Análisis de Variables Canónicas (AVC), muestra una distribución de frecuencias de la primera variable canónica para los grupos de hembras adultas (morado) y hembras juveniles (azul) de la especie <i>Aetobatus laticeps</i>	21
Gráfico 6.3. Efecto alométrico de las aletas de hembras juveniles y adultas de <i>Aetobatus laticeps</i>	22

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 6.1. Análisis de Procrustes para determinar el error de medición en la digitalización de landmarks en la zona dorsal de <i>Aetobatus laticeps</i>	19
--	----

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Medidas de Ancho y Largo de Disco de <i>Aetobatus laticeps</i> capturadas por medio de la pesca artesanal en el periodo de marzo-julio del 2024.....	32
Anexo 2. Hoja de muestreo utilizada en la metodología de campo.....	34
Anexo 3. Toma de medidas del ancho y largo de disco de individuos de <i>Aetobatus laticeps</i>	35
Anexo 4. Embarcación pesquera artesanal preparada para zarpar, en el muelle del Puerto de La Libertad.....	35
Anexo 5. Raya látigo (<i>Hypanus longus</i>) recién capturada al bordo de una embarcación.....	36
Anexo 6. Trabajador preparando un individuo de <i>Aetobatus laticeps</i> para la venta de sus aletas.....	36
.....	37
Anexo 7. Uso económico de <i>Aetobatus laticeps</i> . A. Restos de un individuo de <i>Aetobatus laticeps</i> tras la extracción de la parte comestible. B. Desechos orgánicos restantes.	37
Anexo 8. Especies de elasmobranquios capturados en el Puerto de La Libertad. A. <i>Narcine vermiculata</i> (Breder, 1928). B. <i>Sphyrna lewini</i> (Griffith & Smith, 1834).....	37

1. RESUMEN

La Morfometría Geométrica ha ganado relevancia en los últimos años debido a sus múltiples aplicaciones en la conservación de especies, la descripción y la identificación de aquellas que se encuentran amenazadas por el cambio climático o, en el caso de las especies marinas, por la sobreexplotación pesquera. El objetivo principal de este estudio fue identificar patrones de forma y variaciones morfológicas relacionadas con el desarrollo sexual en hembras juveniles y adultas de *Aetobatus laticeps*.

Los resultados indican que, aunque existen diferencias morfológicas entre juveniles y adultas, estas no son significativas para distinguir a los grupos en función del desarrollo sexual. El análisis de regresión mostró que solo un pequeño porcentaje de la variación en la forma se puede explicar por el tamaño, lo que sugiere que otros factores influyen en la morfología de la especie. Además, se sugiere implementar estudios sobre esfuerzos de pesca para monitorear las poblaciones y su adaptación a los cambios ambientales, dado que *Aetobatus laticeps* se encuentra catalogada como vulnerable por la UICN.

2. INTRODUCCIÓN

La familia Aetobatidae está compuesta por cinco especies, distribuidas globalmente. A pesar de su amplia distribución y adaptabilidad ecológica, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) ha determinado que al menos dos de estas especies están en peligro de extinción, mientras que las demás se clasifican como "vulnerables" (UICN, 2024).

Entre estas especies se encuentra *Aetobatus laticeps* (conocida como "raya águila del Pacífico" o "gavilán"), que habita en el Pacífico tropical, desde el Golfo de California hasta el norte de Ecuador, incluyendo las Islas Galápagos (UICN, 2023).

Anteriormente, *A. narinari*, *A. ocellatus* y *A. laticeps* se consideraban una misma especie. No obstante, en 2009, Richards et al., basándose en estudios morfológicos, genéticos y parasitarios, determinaron que son especies distintas, aunque estrechamente relacionadas. La principal forma de diferenciarlas es por su rango de distribución. Sin embargo, aún se requiere más información taxonómica y morfológica para caracterizar adecuadamente las poblaciones de *A. laticeps* en las costas del Pacífico (Last et al., 2016).

El presente estudio tuvo como objetivo realizar una caracterización preliminar de la forma de *Aetobatus laticeps* capturadas mediante pesca artesanal en el Puerto de La Libertad, El Salvador. Utilizando la morfometría geométrica, se pretende identificar si existe variabilidad intraespecífica entre los individuos analizados, haciendo énfasis en la variación ontogénica en las hembras. Esto con el fin de comprender los cambios asociados a las etapas de desarrollo y como estos cambios pueden reflejar adaptaciones para la reproducción, como la capacidad de cargar embriones, así como estrategias de supervivencia.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Analizar la variación morfológica intraespecífica de hembras de *Aetobatus laticeps* procedentes del Puerto de La Libertad, El Salvador.

3.2. Objetivo Específicos

1.

Determinar la variación morfológica intraespecífica con relación al estado de desarrollo ontogénico de la especie.

2.

Analizar el efecto de la alometría en la morfología de la zona dorsal de *Aetobatus laticeps*.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Antecedentes

Los elasmobrancios se enfrentan a una crisis constante debido a la alta demanda de productos que se extraen de ellos, lo que conlleva a una sobreexplotación por parte de la industria pesquera (Last et al., 2016), a esto se le suman presiones a nivel ecológico como el aumento de la temperatura en el océano, contaminación, acidificación, etc, impactos que no han sido descritos en su totalidad debido a la falta de estudios enfocados en batoides. Según el reporte del 2016 de la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), cerca del 1.8% (10 especies) de batoides se encuentra en peligro crítico de extinción, 5.4% (30 especies) en peligro, 12.9% (72 especies) en estado vulnerable, 10.4% (58 especies) casi amenazado, 29.9% (58 especies) con preocupación menor y el 43.6% (243 especies) no entra en ninguna de estas categorías ya que no se cuenta con la suficiente información para conocer el estado de sus poblaciones.

Dentro del 10.4% de especies vulnerables se encuentra *Aetobatus laticeps*, la cual fue descrita por primera vez en 1865 por Theodore Gill. Se confundía con *Aetobatus narinari*, hasta que en 2009 que Richards *et al.*, concluyeron que son especies diferentes entre sí, esto mediante la caracterización a través de la morfología, genética y parasitología en donde dio como resultado que si bien son individuos estrechamente relacionados entre sí su rango de distribución es diferente ya que *A. narinari* se reporta para el Atlántico y *A. laticeps* a lo largo del Pacífico Oriental Tropical (desde Baja California hasta la región norte de Ecuador) (Figura 1).



Figura 1. Mapa de distribución de *Aetobatus laticeps*. Obtenido de Red List, IUCN *Aetobatus laticeps* (Pacific Eagle Ray) (iucnredlist.org)

Es una especie bento-pelágica aunque suelen verse con frecuencia cercanos a la superficie (por arriba de los 10 metros de profundidad), como consumidor secundario, presenta una dieta especializada para el consumo de invertebrados bentónicos (Castelo, 2023).

Su boca se encuentra provista de placas dentarias que se encuentran altamente adaptadas para la fractura de conchas y exoesqueletos, le permite aprovechar una amplia gama de presas, incluyendo bivalvos, gastrópodos, cefalópodos y crustáceos. Al especializarse en triturar presas duras con preponderancia de moluscos y crustáceos en su dieta, se clasifica a *A. laticeps* como un durófago (Summers, 2000). Con base a las interacciones alimentarias, se ha planteado el impacto que los batoides desempeñan al excavar en la arena en busca de alimento ya que simultáneamente crean microhábitats ayudando a otros invertebrados marinos a alimentarse, aunque se cree que estas no se relacionan directamente a la regulación del equilibrio poblacional, si se consideran un factor clave en la dinámica poblacional de sus presas (Navia, 2013).

Aetobatus laticeps se caracteriza por tener un patrón único de manchas blancas en sus aletas pélvicas y cabeza, lo que permite la diferenciación entre individuos y, por ende, facilita las labores de monitoreo. Dichas manchas también pueden variar en la forma, Fallas-Madrigal *et al.*, (2022) identificó un total de 17 formas diferentes en ejemplares de la misma especie (Figura 2).

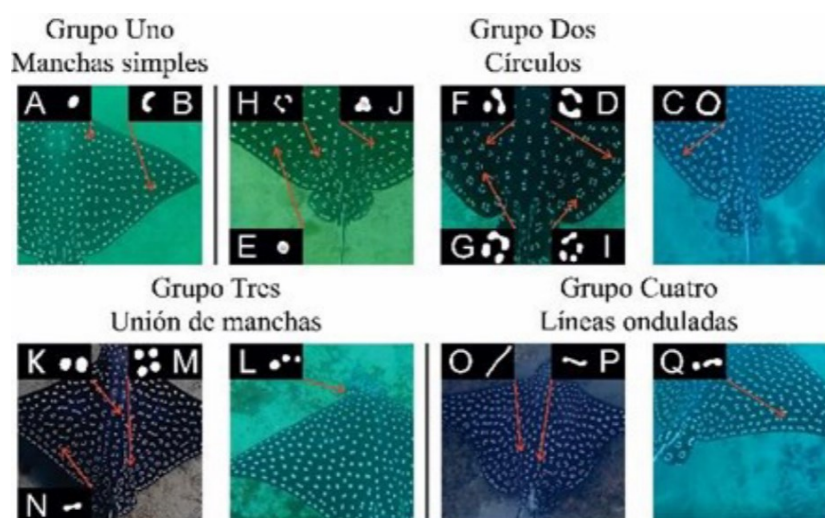


Figura 2. Diversidad de patrones de manchas. Extraído de: Fallas-Madrigal, D., Castelo-Corona, A., Mejías, D., Stephens-Cárdenas, S., Astorga-Arias, J., Molina-Quirós, J. L., & Hernández, S. (2021). Diversity of white spot patterns in the eagle ray *Aetobatus laticeps* (Myliobatiformes: Aetobatidae) in the north Pacific coast of Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 69(Suppl. 2), S267-S276. <https://doi.org/10.15517/rbt.v69iSuppl.2.48323>

Kyne *et al.*, (2006) indica que una de las principales amenazas para este género es su susceptibilidad de captura en las prácticas de pesca tanto artesanal como industrial y a su bajo potencial reproductivo. Mientras que Mateo (2014) destaca que la carne de los batoideos ha sido aprovechada para la comercialización ya que las hacen pasar por carne de pescado y las venden a menor precio, El Salvador no es la excepción ante esta situación ya que a través de las visitas al sitio de estudio para su reconocimiento algunos pescadores manifestaron que la carne de *Aetobatus laticeps* era utilizada para la venta en “comedores” haciéndola pasar por carne de “curvina” o “boca colorada”.

4.2. Descripción Taxonómica

Aetobatus laticeps forma parte de la siguiente clasificación (IUCN, 2023; Ronquillo, 2020):

Dominio: Eukaryota

Reino: Animalia

Filo: Chordata

Subfilo: Vertebrata

Clase: Chondrichthyes

Subclase: Elasmobranchii

Superorden: Batoideos

Orden: Myliobatiformes

Familia: Aetobatidae

Género: *Aetobatus*

Especie: *laticeps*

Nombre científico: *Aetobatus laticeps* (Gill, 1865)

Nombre común: “raya gavilán” o “gavilán”

4.3. Descripción morfológica

Aetobatus laticeps presenta un cuerpo deprimido con aletas pectorales grandes y finalización en forma puntiaguda, las cuales sirven como medida de longitud al momento de investigar dicha especie (AD: Ancho de Disco), el máximo de longitud

reportada ha sido de 230 cm (2.30 metros) pero autores como McEachran et al, (2002) indican que suelen tener menos de 140 cm (1.40 metros).

La pigmentación del dorso suele variar entre un negro-azulado o café con numerosos puntos blanquecinos-amarillentos (Figura 3A) en cambio la zona ventral es de color blanco brillante a excepción de los márgenes de las aletas que suelen ser negro-azulado (Figura 3B) (Last et al., 2016; Gill, 1865).

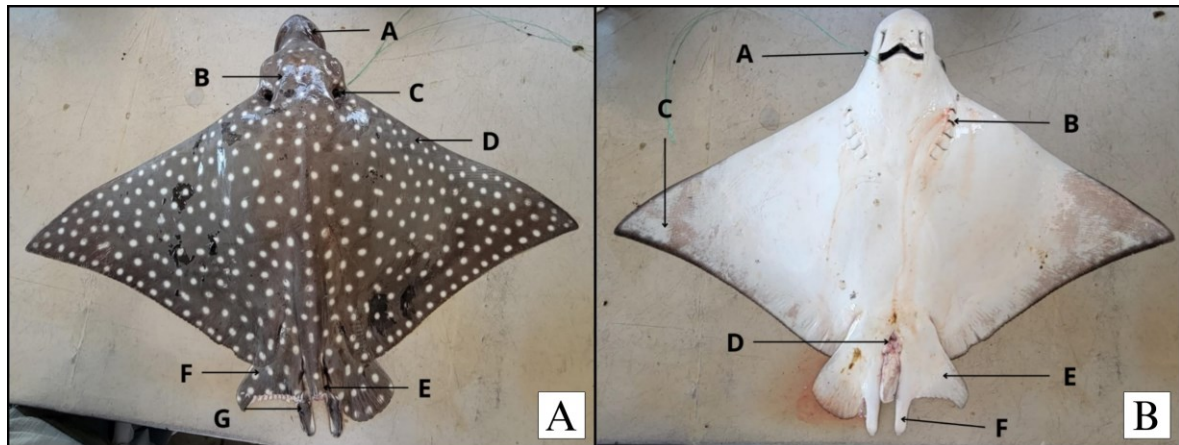


Figura 3. A. Vista dorsal de *A. laticeps*. A: Hocico; B: Cabeza; C: Espiráculos; D: Aletas Pectorales; E: Inicio de Cola; F: Aletas Pélvicas; G: Claspers. **B.** Vista ventral de *A. laticeps*. A: Boca; B: Pares Branquiales; C: Aleta Pectorales; D: Cloaca; E: Aletas Pélvicas; F: Claspers.

Aguilar-Medrano & Vega-Cendejas (2022) reporta que a través de estudios alométricos los especímenes más pequeños poseen discos más pequeños y hocicos más largos mientras que los individuos más largos reportan hocicos más pequeño, lo que indica que la tasa de crecimiento del hocico es diferente a la del resto del cuerpo concluyendo que existe una desaceleración del crecimiento de este a medida el individuo va creciendo, dicha diferenciación puede ser apreciada a simple vista en algunas ocasiones (Figura 4).

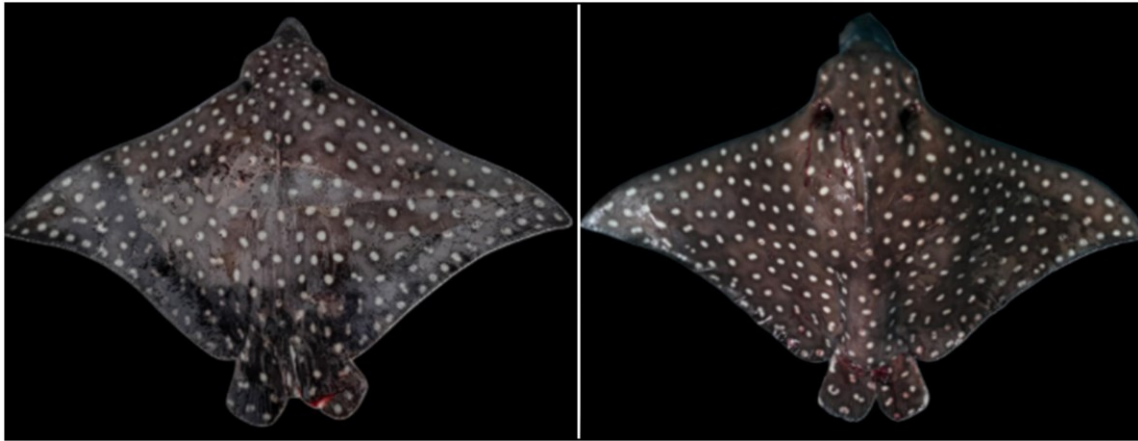


Figura 4. Individuos de *A. laticeps* observados en el Puerto de La Libertad en donde se presenta una ligera variación de la forma en la parte superior de las aletas pectorales.

Esta especie puede llegar a medir hasta 9 metros de longitud, esto gracias a su cola la cual es entre cuatro o cinco veces más grande que su cuerpo, la cabeza representa una cuarta parte de su cuerpo y su boca presenta dientes especializados llamados “placas dentarias” las cuales sirven para triturar e ingerir su alimento (Schuessler et al., 2010).

Poseen cinco pares branquiales ubicados en la parte ventral, la región oronasal posee forma de falda (Figura 5), en la cabeza se puede observar la presencia de dos espiráculos ubicados en la parte superior y los ojos a los lados (Figura 6) (McEachran et al., 2002).

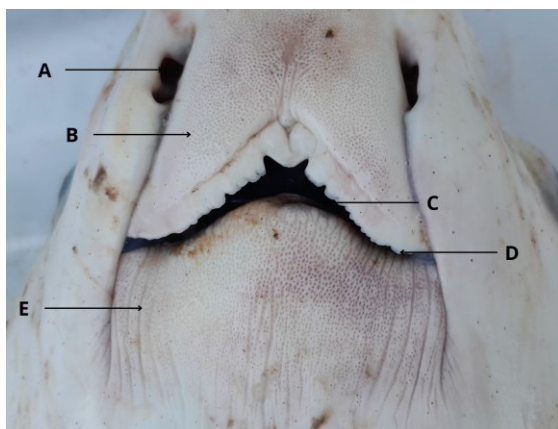


Figura 5. Región oronasal de *A. laticeps*. A: Nostril; B: Cortina Nasal; C: Boca; D: Borde; E: Ampollas de Lorenzini.

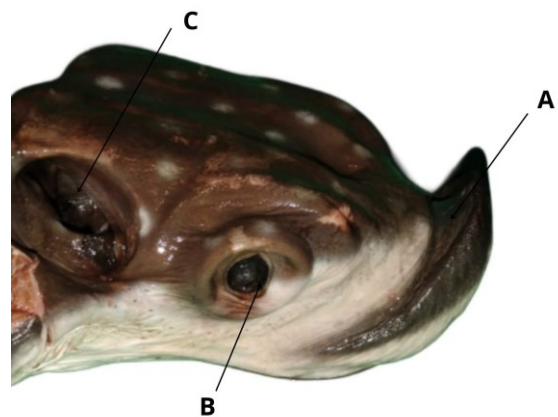


Figura 6. Costado de cabeza de *A. laticeps*. A: Hocico; B: Ojo; C: Espiráculos.

Poseen dimorfismo sexual, los machos suelen ser más pequeños y poseen gonopterigios o cláster el cuál es un órgano reproductor que se puede apreciar a simple vista (Figura 8.A) a diferencia de las hembras que suelen ser más grandes y no presentan cláster (Figura 8.B).

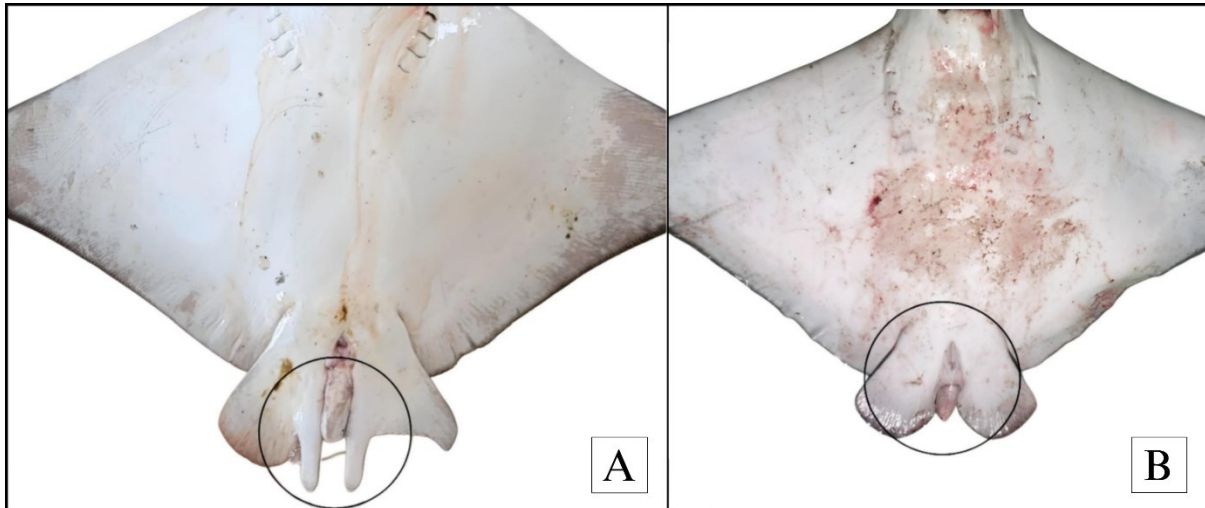


Figura 8. A. Presencia de cláster en *A. laticeps*. **B.** Ausencia de cláster en *A. laticeps*.

4.4. Ciclo de vida y aspectos reproductivos

El ciclo de vida de *Aetobatus laticeps*, al igual que el de muchos elasmobranquios, se caracteriza por una madurez sexual tardía y una baja tasa reproductiva (Boggio-Pasqua et al., 2022). Esta especie alcanza la madurez sexual entre los 2 y 6 años lo que significa que un número significativo de individuos puede ser capturado antes de tener la oportunidad de reproducirse (Castelo, 2023). Su periodo de gestación dura 12 meses y tienen en promedio tres crías por parto (Tagliafico et al. 2012; Figura 9), lo cual pudo corroborarse en este estudio (Figura 10).



Figura 9. Cría de *A. laticeps* cuya hembra fue capturada en el Puerto de La Libertad.



Figura 10. Hembra adulta capturada en el Puerto de La Libertad.

4.5. Importancia económica

El Salvador presenta muchas especies de importancia comercial, entre ellas se encuentran los batoideos, las cuales constituyen un recurso pesquero de importancia, no solo para el consumo humano, sino como beneficio económico en la generación de empleos en el sector pesquero (Carrera, M. 2014).

La pesca artesanal ha generado alrededor del 80% de empleo para los pescadores, constituyendo su principal sustento y una fuente de seguridad alimentaria, especialmente para las comunidades ribereñas (Sistema de la Integración Centroamericana, SICA, 2009).

Los peces cartilagosos son utilizados para otros fines aparte de ser una fuente de alimento, algunos de ellos son (Last et al., 2016):

1. Innovación en la elaboración de productos biodegradables (como utilizar su piel para la elaboración de carteras, cinturones, bandas para reloj, entre otros)
2. El látigo de los batoideos es utilizado para la elaboración de látigos para caballos.
3. El cartílago de los batoideos es utilizado como una medicina alternativa en algunas regiones de China.
4. La dentadura de algunos peces cartilagosos (como por ejemplo *Aetobatus laticeps*) es utilizada como un tratamiento alternativo para el cáncer.

4.6. Morfometría geométrica

A diferencia de las mediciones unidimensionales, como la altura o el ancho, que no ofrecen la misma exactitud ni riqueza de detalles geométricos, la morfometría geométrica provee una perspectiva más completa y detallada. La morfometría geométrica es una herramienta utilizada para analizar las diferencias o similitudes en las formas de las estructuras anatómicas que determinan la forma de los organismos biológicos, mediante puntos discretos en el espacio llamados “landmarks” (Villalobos-Leiva & Benítez, 2020).

El aprovechamiento de la morfometría geométrica y sus métodos biométricos, instrumentos y programas computacionales diseñados para capturar y analizar datos en forma de matrices de morfocoordenadas, ha conseguido objetivar el análisis cuantitativo de las variaciones en la estructura que plasman la geometría de un espécimen (Toro-Ibacache M., et al. 2010).

La morfometría geométrica se ha establecido como disciplina independiente, ya que, con el uso de datos multidimensionales, permite que la forma del objeto en estudio no sea abordada en función de sus medidas, sino por medio de las interconexiones espaciales entre sus componentes y que la información referente a la estructura geométrica de los objetos puede ser recuperada, lo que facilita la presentación visual de los cambios morfológicos mediante ilustraciones o animaciones (Rohlf & Marcus. 1993; Nazar. 2016).

A medida que han surgido enfoques innovadores para abordar problemáticas biológicas, el empleo de esta técnica ha experimentado un crecimiento acelerado para abordar interrogantes de naturaleza biológica en distintas áreas. Así mismo, la morfometría geométrica ha sufrido constantes cambios y actualizaciones en su metodología, lo que ha resultado en una mayor precisión del enfoque y capacidad de resolver problemáticas complejas, haciendo de esta una poderosa herramienta científica que permite el análisis cuantitativo y comparativo de la forma y la variación en una amplia gama de objetos biológicos y geométricos, lo que proporciona información valiosa para comprender la diversidad y la evolución en diversas disciplinas (Villalobos-Leiva & Benítez. 2020).

4.7. Morfometría geométrica en la conservación de especies

En el área de la biología el estudio de la morfometría ha generado nuevos conocimientos que han favorecido a comprender los patrones en las variaciones morfológicas de los organismos, el origen y sus relaciones entre grupos, poblaciones o especies, aportando de manera significativa a los esfuerzos de conservación de especies a través de diversos enfoques y aplicaciones.

En cuanto a la conservación de especies, la morfometría geométrica ha permitido que la identificación y clasificación de especies sea más precisa entre las poblaciones que pueden ser difíciles de distinguir mediante métodos tradicionales (Toro-Ibacache M., et al. 2010). Esto es fundamental para la conservación al garantizar que se protejan y gestionen adecuadamente las unidades taxonómicas correctas.

El análisis de la morfología desempeña un rol fundamental en una variedad de investigaciones biológicas. Al ser expuestos a procesos biológicos conlleva a la generación de distinciones tanto entre individuos como en sus estructuras, como enfermedades o lesiones, cambios genéticos, desarrollo ontogenético o adaptación a factores geográficos locales. Al analizar las formas y tamaños de estructuras anatómicas, la morfometría geométrica puede ayudar a detectar diferencias sutiles en la diversidad genética entre poblaciones o impactos ambientales adversos, como la contaminación, la degradación del hábitat o el cambio climático. Siendo estos estudios cruciales para detectar y cuantificar estos cambios, lo que facilita la evaluación de los efectos de las perturbaciones ambientales (Zelditch M, *et al.*, 2004).

5. METODOLOGÍA

5.1. Ubicación de sitio de estudio

El Puerto de La Libertad se encuentra ubicado en el municipio de La Libertad Costa, distrito La Libertad, departamento de La Libertad, en la costa pacífica de El Salvador (13°29'12.20" N, 89°19'07.50" O) con una superficie de 162 km² (Figura 12) (IGN, 1985; Erquicia & Navarrete, 2016).

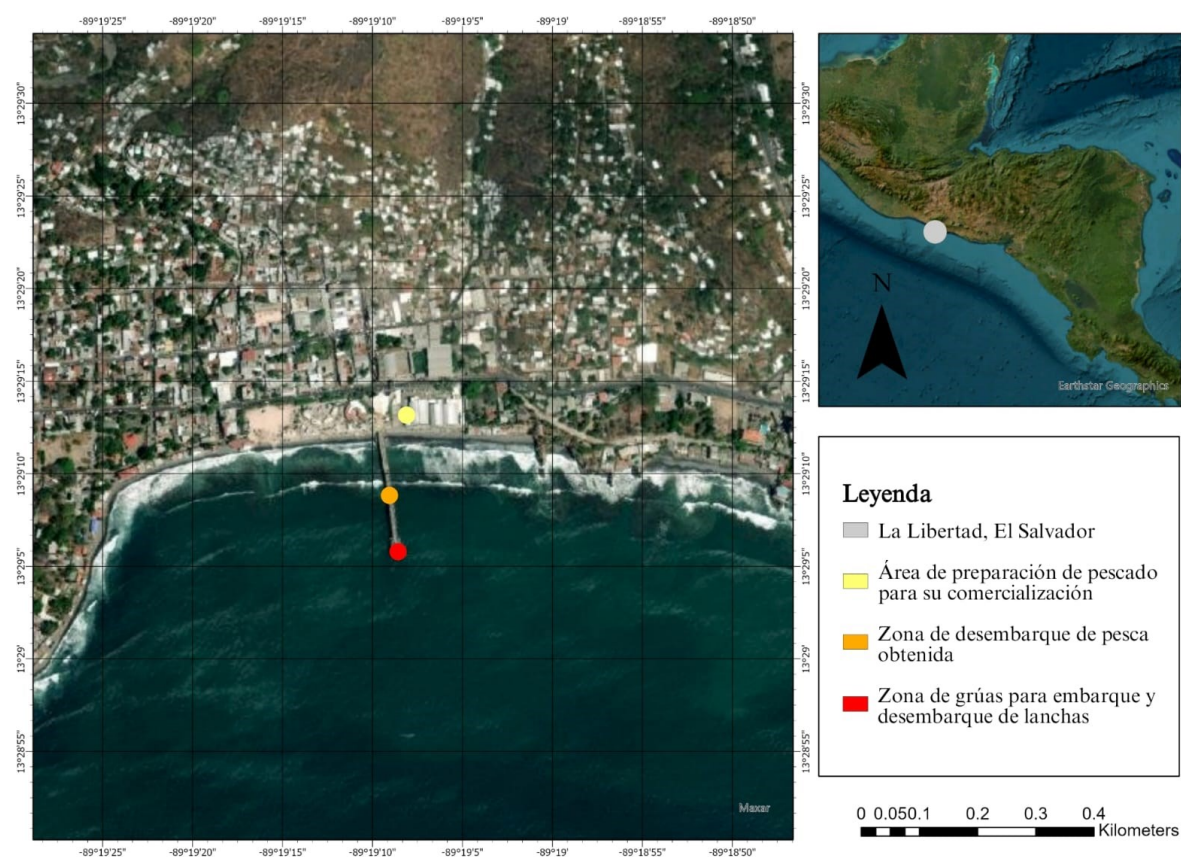


Figura 11. Ubicación geográfica y áreas de embarque/desembarque, preparación y comercialización del Puerto de La Libertad.

5.2 Periodo de muestreo

Se realizaron muestreos mensuales al Malecón Turístico del Puerto de La Libertad, desde marzo hasta julio del 2024 en la jornada de desembarque matutino (8:30-11:30 AM).

5.3. Metodología de muestreo

Se implementó el muestreo intencional (Tamayo, 2000) ya que se seleccionaron solo hembras en buen estado descartando aquellas con desgarres en el hocico, cortes en aletas pélvicas o pectorales que dificultaran el posicionamiento de landmarks (Figura 13).

Para la toma de fotografías los individuos se colocaban sobre una carpeta de plástico (con el objetivo que no fueran a ensuciarse más), una vez estuvieran bien posicionadas se identificaba el sexo y se tomó el ancho (AD) y largo (LD) del disco con una cinta métrica esto con el fin de categorizar los especímenes entre juveniles y adultos, para ello se tomó como referencia el trabajo de Ronquillo, 2020, en donde se categoriza a los juveniles entre los rangos de tallas del ancho de disco (AD) de 70 - 90 cm, y a los adultos a las tallas mayores a 90 cm y una vez finalizada la medición se tomaban las fotografías de la zona dorsal (Figura 14).

Para cada fotografía se utilizó un sistema de nomenclatura con un código único para cada individuo, incluyendo la especie (“al” *Aetobatus laticeps*), (“h” hembra), estado de desarrollo (“j” juvenil y “a” adulto), número correlativo para cada individuo y por último la orientación (“D” dorsal). Para describir a un individuo de *Aetobatus laticeps*, hembra juvenil y en la fotografía el cuerpo está orientado del lado dorsal, el código quedaría: alhj001_D.



Figura 12. Toma de medida de Ancho de Disco y documentación fotográfica para posterior análisis.



Figura 13. Especimen de *A. laticeps* (macho) con daño en sus aletas pélvicas.

5.4. Análisis y Procesamiento de las muestras

Se reviso cada una de las fotografías con el fin de seleccionar las que tuvieran mejor calidad y así realizar ediciones para eliminar el ruido y ajustar el contraste, con el fin de evitar distorsiones y errores en la colocación de los landmarks (Figura 14), posteriormente se organizaron en carpetas separadas según el estado de desarrollo (juveniles y adultos).



Figura 14. Ejemplo del antes y después de la edición de las fotografías, por lo general se retira el fondo y se corrige un poco las sombras y luces.

De las 50 fotografías tomadas, se seleccionaron 31 de las cuales 14 incluyen organismos juveniles y 17 adultas (Anexo 1) esto debido a que algunas no se visualizaban de la mejor manera o porque tenían alguna aleta u hocico dañado. Una vez realizado el borrado de fondo y corrección de luz y sombras se procedió a comprimir las fotos en un archivo tps por medio del software tpsUtil32, esto con el fin de codificar el orden de las muestras, minimizando así el sesgo en la digitalización de landmarks.

Una vez comprimidas se procedió a la colocación de marcas usando el programa tpsDig232, por cada fotografía se colocaron un total de 69 puntos en la zona dorsal (Figura 15), los puntos de referencia utilizados fueron la parte superior de las aletas pectorales, ubicación de espiráculos, inicio de la parte superior del hocico, contorno de la cabeza, extremo distal de la aleta pectoral, así como el pedúnculo caudal.

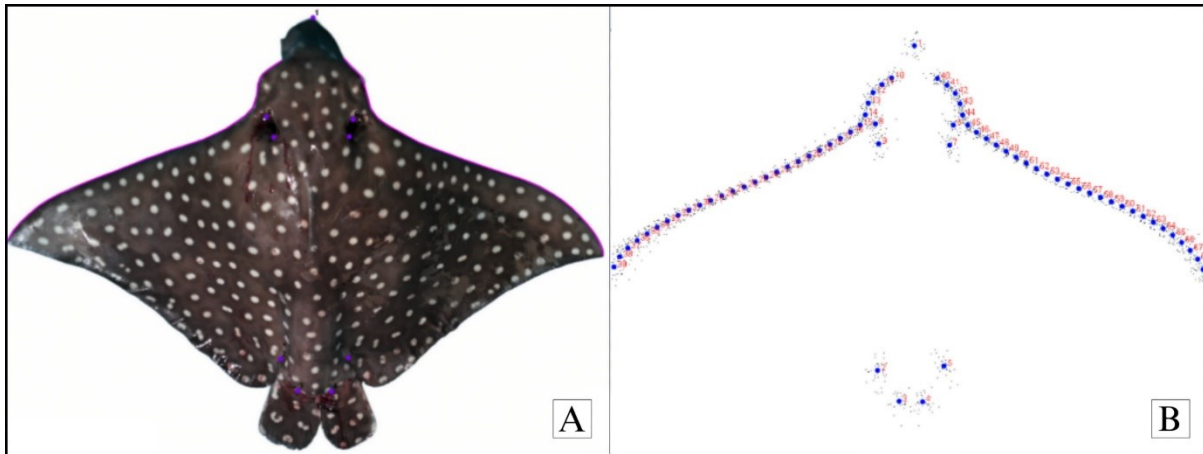


Figura 15. Coordenadas de referencia (Landmarks). **A.** Landmarks colocados en la zona dorsal; **B.** Visualización de landmarks de zona dorsal en MorphoJ.

Los sets de archivos TPS se subieron al programa MorphoJ en donde el mismo software se encargó de ajustar las formas generadas en el programa tpsDig232 con el fin de minimizar las diferencias entre ellas al superponer cada landmarks mediante traslación, rotación y escala (esto con el fin de eliminar las variaciones no biológicas), una vez hecho esto el programa arrojó un ANOVA con los resultados del error de medición obtenido al momento de colocar los landmarks, luego se realizaron los gráficos referentes a las mallas de deformación y una matriz de distancias en la que se leen los resultados obtenidos de las distancias entre cada landmarks (Benítez et al., 2020).

Con el objetivo de disminuir la dimensionalidad del conjunto de datos, pero manteniendo la mayor cantidad de información posible se realizó el análisis de componentes principales (PCA) en el cual se ordenaron los datos de mayor a menor variabilidad y los resultados de estas variables se transformaron en nuevas variables y por ende en otro conjunto de datos (PCA). Esto permitió analizar las variaciones en la estructura de las formas biológicas de una manera más simplificada (Zelditch et al., 2012). El Análisis de Variables Canónicas consistió en analizar y comparar las formas de los grupos a investigar en este caso las hembras juveniles y adultas de *Aetobatus laticeps*. Este análisis se hizo mediante las combinaciones lineales de variables o puntos de coordenadas de referencia, de esta forma se maximizan la diferencia entre los grupos de estudios las cuales ayudan a identificar las variaciones entre las hembras juveniles y adultas (Dryden & Mardia, 2016), por último, se realizó un Análisis de Regresión Lineal Simple para el determinar el efecto alométrico intraespecífico.

6. RESULTADOS

Un total de 31 individuos de *Aetobatus laticeps* fueron utilizadas para este estudio (14 juveniles y 17 adultas), una vez importados los archivos TPS a MorphoJ se realizó el Procrustes Fit para obtener una visualización de las coordenadas y por ende visualizar los cambios de forma en puntos promediados por medio de la representación de la magnitud y dirección de desplazamiento de landmarks por cada individuo (Fig 16A; Fig 16A) y de esta forma obtener la grilla de deformación correspondiente a las diferencias en la conformación de la forma de *Aetobatus laticeps* (Figura 17B y 17B).

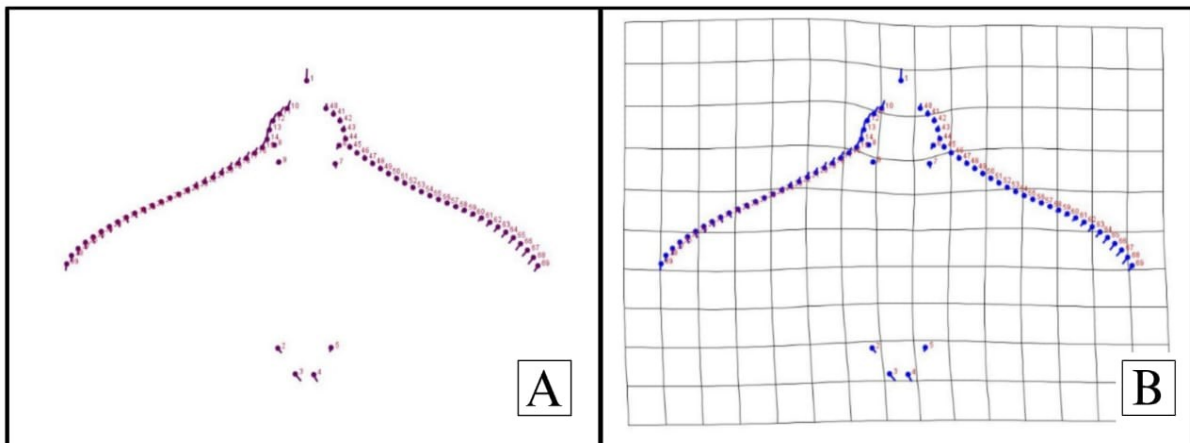


Figura 16. Representación de la deformación de las aletas y cabeza de *A. laticeps* la cual corresponde a la diferencia en la variación del espacio de forma en los individuos estudiados para juveniles. **A.** Vectores de deformación indicando la magnitud y dirección del cambio de forma; El tamaño de las flechas indica el grado de diferencia en la forma de cada región: las flechas pequeñas indican que las diferencias en la forma no son significativas, las flechas más grandes señalan cambios más pronunciados. En este caso, la región cefálica presenta variaciones morfológicas significativamente mayores en comparación con las aletas pectorales. **B.** Grilla de deformación reportando los cambios en la forma del cuerpo.

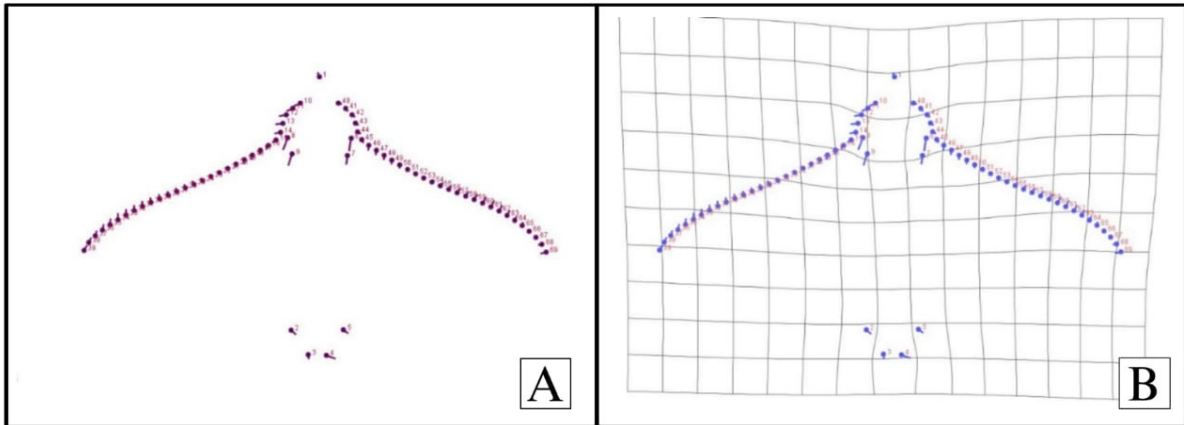


Figura 17. Representación de la deformación de la forma de las aletas y cabeza de adultos *A. laticeps* la cual corresponde a la diferencia en la variación del espacio de forma en los individuos estudiados para adultos. **A.** Vectores de deformación indicando la magnitud y dirección del cambio de forma; El tamaño de las flechas indica el grado de diferencia en la forma de cada región: las flechas pequeñas indican que las diferencias en la forma no son significativas, las flechas más grandes señalan cambios más pronunciados. En este caso, la región cefálica presenta variaciones morfológicas significativamente mayores en comparación con las aletas pectorales. **B.** Grilla de deformación reportando los cambios en la forma del cuerpo.

Según los resultados obtenidos para este estudio, no existen diferencias estadísticamente significativas (distancia de Mahalanobis: 3.1201; $p = 0.6085$), sin embargo, en los gráficos con las grillas de deformación se refleja que existe cierta variación relacionado al desarrollo ontogénico de los individuos de *Aetobatus laticeps*.

Los análisis de deformación, representados en la Figura 16B y 17B mediante grillas de deformación, indican variaciones significativas en la morfología de los individuos ligadas a su desarrollo ontogénico. Los adultos presentaron una deformación más pronunciada en comparación con las juveniles ya que presentan variaciones más marcadas en la parte superior de las aletas pectorales, lo que indica una expansión de esta región a medida que los individuos crecen, lo cual sugiere que el proceso de crecimiento induce cambios morfológicos significativos en los individuos estudiados.

6.1. Error de Medición

El error de Medición se calculó obteniendo el valor de los cuadrados medios de los individuos (Individual: 0.0000125520) el cual fue mayor a los cuadrados medios del error 1 (Error 1: 0.0000017345) (Tabla 1) lo cual indicó una validación en la digitalización de puntos de *Aetobatus laticeps*.

Tabla 6.1. Análisis de Procrustes para determinar el error de medición en la digitalización de landmarks en la zona dorsal de *Aetobatus laticeps*.

ANOVA DORSAL					
Centroid Size					
Effect	SS	MS	df	F	P (param.)
Individual	24895.541419	24895.541419	1	66.46	0.0147
Error 1	749.194513	374.597257	2	0.93	0.4015
Residual	23437.589463	404.096370	58		
Shape, Procrustes ANOVA					
Individual	0.00168197	0.0000125520	134	7.24	<.0001
Error 1	0.00046486	0.0000017345	268	0.19	1.0000
Residual	0.07068918	0.0000090954	7772		

6.2. Análisis de Componentes Principales

El Análisis de Componentes Principales se utilizó para determinar la ubicación del espacio de la forma promedio por estado de desarrollo, esto a través de la distancia de procrustes, para obtener una mayor comprensión de los datos.

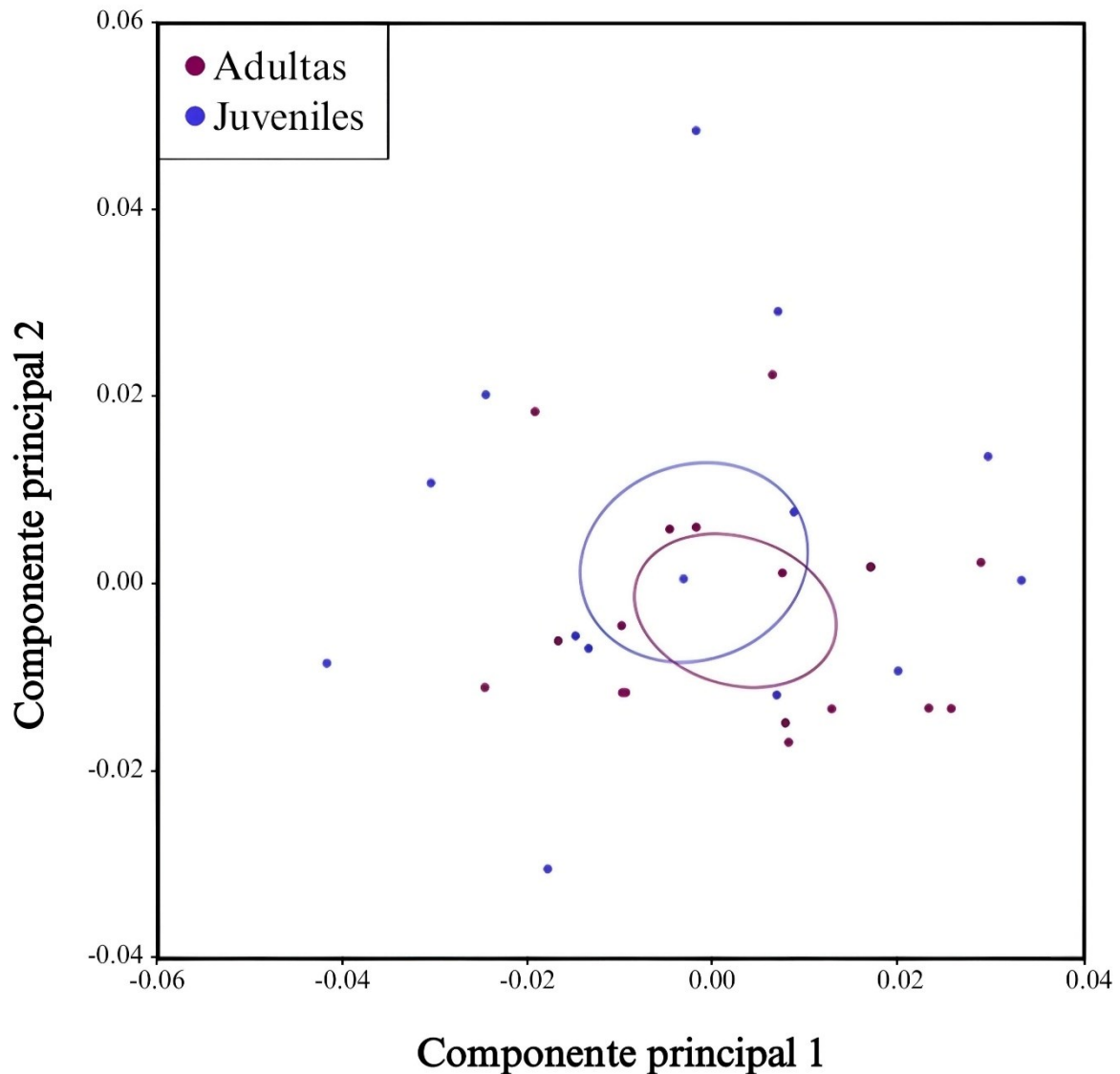


Gráfico 6.1. Representación gráfica del ACP. Ubicación de promedio de conformación de los ejemplares de *Aetobatus laticeps*.

El gráfico 6.1 de componentes principales (ACP) refleja la dispersión entre adultos (puntos morados) y juveniles (puntos azules) de *Aetobatus laticeps*, en donde se observa una baja relación entre la forma de las aletas pectorales de los individuos y su estado de desarrollo. La dispersión en los juveniles se atribuye al proceso de desarrollo en el que la forma de las aletas se estabiliza a medida que los individuos alcanzan la madurez. Las elipses que delimitan cada grupo, sugieren que existen ciertas diferencias morfométricas entre ambos estados de desarrollo. Sin embargo, la superposición de estas indica que algunas hembras juveniles podrían compartir ciertas características morfológicas similares a las adultas, y viceversa.

Esto sugiere que, aunque existen algunas variaciones morfológicas entre adultos y juveniles, estas no son lo suficientemente marcadas como para definir diferencias morfológicas relacionadas con el estado de desarrollo en esta especie.

6.3. Análisis de Variables Canónicas

El Análisis de variables canónicas se empleó para evaluar si existían diferencias morfométricas significativas entre las hembras juveniles y adultas de *A. laticeps*, para determinar si la forma del cuerpo varía en función del estado de desarrollo (gráfico 6.2).

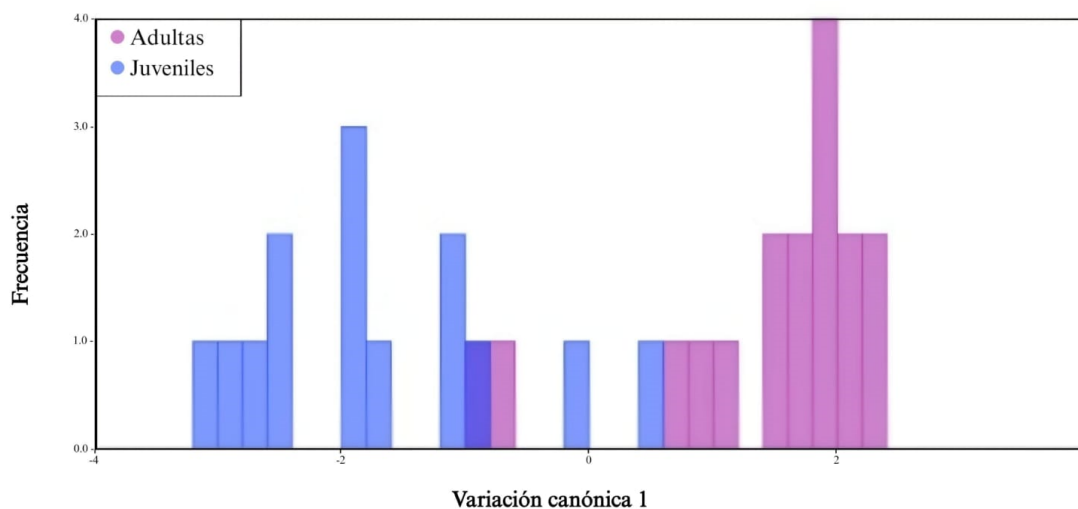


Gráfico 6.2. El gráfico de Análisis de Variables Canónicas (AVC), muestra una distribución de frecuencias de la primera variable canónica para los grupos de hembras adultas (morado) y hembras juveniles (azul) de la especie *Aetobatus laticeps*.

La dispersión en las barras de la gráfica indica que los individuos presentan características propias en ambos grupos y que existen ciertas diferencias en la forma de los individuos juveniles y adultos de *Aetobatus laticeps*, sin embargo la superposición de las distribuciones indica que existe una considerable variabilidad individual y que algunas características morfológicas se comparten entre ambos estados de desarrollo.

Para evaluar de forma estadística estas diferencias, se elaboró un MANOVA, el cual a través de la interpretación de Goodall's F, se establece que no existen diferencias significativas entre las medias de ambos grupos ($F = 0.7715$, $p = 0.6085$).

Por último, la distancia de Mahalanobis para evaluar la distancia entre los procrustes por cada grupo, indicó una distancia de 3.1201, lo que refuerza la conclusión de que no existen diferencias significativas entre los grupos en términos de sus características morfológicas.

6.4 Alometría

Para determinar si la variable de estado de desarrollo influye en el efecto alométrico intraespecífico de *Aetobatus laticeps* se realizó un análisis de regresión lineal simple (Adams & Otárola, 2013), en el cual se ajusta el modelo de regresión con las coordenadas de los puntos de los procrustes en donde serán tratadas como variables de respuesta.

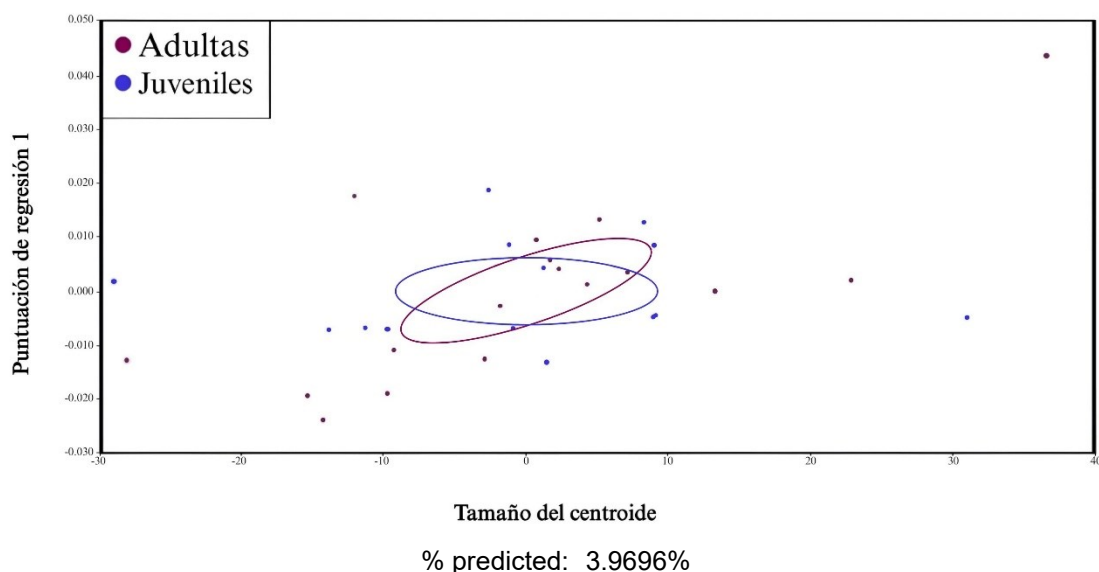


Gráfico 6.3. Efecto alométrico de las aletas de hembras juveniles y adultas de *Aetobatus laticeps*.

El análisis de regresión lineal (gráfico 6.3) reveló una relación poco significativa entre el tamaño y la forma de las aletas en *Aetobatus laticeps*. A pesar de una leve tendencia observada, la dispersión de los datos sugiere una correlación débil. Esta falta de una fuerte asociación lineal indica que otros factores, más allá del tamaño,

podrían estar influyendo de manera más determinante en la variabilidad morfológica entre hembras adultas y juveniles.

El bajo porcentaje de varianza explicada por el modelo (3.9696%) evidencia que, si bien existe una ligera tendencia, la relación entre ambas variables es prácticamente nula. Los resultados cuantitativos respaldan esta conclusión.

7. DISCUSIÓN

El análisis morfométrico geométrico de *Aetobatus laticeps* procedentes del Puerto de La Libertad reveló patrones claros en la morfología del disco, que permiten una mejor comprensión de la estructura y variación intraespecífica. En el estudio, 31 individuos (14 juveniles y 17 adultos), fueron examinados mediante la digitalización de *landmarks* en la zona dorsal para detectar variaciones en la forma del disco.

Los resultados de las grillas de deformación (Figura 17B y Figura 18B), indican que existen variaciones en la forma de la parte superior de las aletas pectorales y en la forma del cráneo de los adultos en comparación a los juveniles lo que indican variaciones relacionadas a la expansión del individuo a medida crece, sin embargo los resultados de la distancia de Mahalanobis (3.1201) indican que las diferencias observadas en estas figuras no son estadísticamente significativas entre los dos grupos evaluados.

El Análisis de Componentes Principales (ACP), de acuerdo a los datos obtenidos, revelo una baja relación entre la forma del disco de *Aetobatus laticeps* y su estado de desarrollo, los gráficos revelaron una mayor dispersión en los juveniles en comparación con los adultos, sugiriendo mayor variabilidad en la forma del cuerpo de los juveniles. Esta mayor dispersión en los juveniles podría atribuirse a un proceso de desarrollo en el que la forma del disco se estabiliza a medida que los individuos alcanzan la madurez.

Por otro lado, el Análisis de Variables Canónicas (AVC), no mostraron diferencias significativas en la forma del disco entre juveniles y adultos (Goodall's $F = 0.7715$, $p = 0.6085$); sin embargo, los juveniles presentaron una mayor dispersión en el espacio morfométrico en comparación con los adultos, quienes mostraron mayor uniformidad (Gráfico 6.1; Gráfico 6.2).

Esta mayor dispersión en juveniles sugiere una variabilidad morfológica más amplia, posiblemente asociada con el proceso de desarrollo ontogénico que estabiliza la morfología a medida que los individuos alcanzan la madurez (Araya & Cubillos, 2006). Aunque no se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, se

observó una tendencia hacia un disco más redondeado y con aletas más anchas en los adultos, lo que podría representar una adaptación funcional para facilitar comportamientos específicos de alimentación o locomoción en esta etapa de madurez, en consonancia con observaciones en otros batoideos (Last et al, 2016).

En cuanto a los gráficos de Variables Canónicas, la dispersión y la superposición de algunas barras entre los dos grupos (juveniles y adultos) sugieren una variabilidad individual en esta especie. Ambos grupos comparten ciertas características, pero estas no son lo suficientemente marcadas o significativas como para considerarlos distintos (Goodall's $F = 0.7715$, $p = 0.6085$). Además, la baja suma de cuadrados del modelo predicho ($SS = 0.00139$) en comparación con el residual ($SS = 0.03364$) refuerza la idea de que factores adicionales, más allá del tamaño, están influyendo en la variación de la forma corporal en *Aetobatus laticeps*.

El análisis de alometría (Gráfica 6.3) mostró que el tamaño del disco no explica significativamente las variaciones en su forma ($R^2 = 3.97\%$), lo que sugiere que factores diferentes al tamaño y al estado de desarrollo, posiblemente ambientales o relacionados con actividades humanas, influyen en la diversidad morfológica de *Aetobatus laticeps*. Este hallazgo contrasta con lo reportado en otros batoideos, en los que la forma del disco suele estar más estrechamente vinculada al desarrollo (Last et al., 2016; Aguilar-Medrano & Vega-Cendejas, 2022).

El estudio sugiere que la morfología del disco en *Aetobatus laticeps* se mantiene relativamente conservada, independientemente de la edad y el tamaño. Esta uniformidad morfológica podría estar influenciada por presiones selectivas que favorecen una forma óptima del disco para adaptarse a las distintas necesidades ecológicas en su hábitat.

Estos resultados subrayan la importancia de considerar la variabilidad morfológica en estudios de conservación y manejo de esta especie, especialmente en el contexto de las presiones antropogénicas.

8. CONCLUSIONES

El análisis de las variaciones morfológicas en *Aetobatus laticeps* revela que la principal diferencia en la forma se concentra en las aletas pectorales, donde los juveniles presentan un estrechamiento notable, mientras que en los adultos se observa una expansión. Esta variación parece estar vinculada a necesidades funcionales específicas en cada etapa de desarrollo ya que el estrechamiento en los juveniles podría facilitar una mayor agilidad y adaptabilidad en la fase inicial de crecimiento, mientras que la expansión en los adultos podría optimizar la eficiencia en el desplazamiento.

La dispersión en el espacio morfométrico también varía entre etapas de desarrollo, con los juveniles mostrando una mayor variabilidad en la forma. Esto sugiere una plasticidad morfológica en los individuos jóvenes, posiblemente en respuesta a presiones ambientales cambiantes o a la necesidad de adaptación en un contexto de alta competencia y riesgo de depredación. En cambio, los adultos presentan una morfología más homogénea, indicando que la forma tiende a estabilizarse conforme alcanzan la madurez, probablemente como resultado de presiones selectivas que favorecen una estructura optimizada para funciones reproductivas y de alimentación en ambientes marinos específicos.

Por otro lado, el bajo porcentaje de variación en la forma explicada por el tamaño del centroide (3.97%) indica que el tamaño tiene un impacto limitado en la forma de esta especie. Este hallazgo sugiere que otros factores, probablemente ambientales o antropogénicos, como la presión de pesca, podrían estar influyendo en la forma de *Aetobatus laticeps*.

Estas conclusiones resaltan la importancia de los factores ecológicos en la determinación de la forma en *Aetobatus laticeps*, sugiriendo que las características morfológicas son una respuesta tanto a exigencias funcionales durante el desarrollo como a las condiciones ambientales a las que la especie está sometida.

9. RECOMENDACIONES

Los resultados reportados en este estudio representan únicamente a hembras juveniles y adultas de *Aetobatus laticeps* capturadas por medio de la pesca artesanal en un solo sitio de estudio, por ello, se recomienda llevar a cabo estudios similares en machos juveniles y adultos, con el fin de obtener un panorama más amplio sobre la variación de la forma en esta especie. Además, se sugiere adicionar un análisis de la variación en las estructuras del esqueleto, abarcando tanto a hembras juveniles/adultas como a machos juveniles/adultos, para comprender mejor estas diferenciaciones.

Se recomienda aumentar el tamaño de la muestra para mejorar la precisión estadística, incorporando también individuos provenientes de la zona occidental y oriental del país.

Dado que los juveniles de *Aetobatus laticeps* presentan una alta variabilidad morfológica, especialmente en la forma de la parte superior de las aletas pectorales, lo cual podría indicar una mayor sensibilidad a cambios en su entorno, se recomienda realizar estudios adicionales para evaluar el impacto de factores antropogénicos (como la contaminación, la pérdida de hábitat y la sobrepesca) en la supervivencia y crecimiento de esta etapa de vida. Comprender estas variaciones morfológicas a lo largo del ciclo de vida de *Aetobatus laticeps*, puede ayudar a implementar medidas de gestión pesquera más efectivas, como la regulación de los tamaños mínimos de captura, para reducir la pesca incidental de juveniles y de esta forma garantizar la sostenibilidad de las poblaciones.

Actualmente, *Aetobatus laticeps* se encuentra catalogada como vulnerable según la Lista Roja de la UICN, por tanto, es prioritario identificar patrones de variabilidad y adaptación que contribuyan al desarrollo de estrategias efectivas para la conservación de esta especie, sumado a esto, se debe considerar su inclusión en el listado de especies en peligro de extinción de El Salvador.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adams, D C, & Otarola-Castillo, E (2013). geomorph: an R package for the collection and analysis of geometric morphometric shape data. *Methods in Ecology and Evolution*, 4(4), 393-399.

Aguilar-Medrano, R, & Vega-Cendejas, M (2022). Evolutionary ecomorphology of select species of rays distributed in the Gulf of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 93, e934032.

Boggio-Pasqua, A, Bassos-Hull, K, Aeberhard, W, Hoopes, L, Swider, D, Wilkinson, K A, Dureuil, M, y Dureuil, M (2022). Whitespotted eagle ray (*Aetobatus narinari*) age and growth in wild (in situ) versus aquarium-housed (ex situ) individuals : Implications for conservation and management. *Front. Mar. Sci.* 9:960822. doi: 10.3389/fmars.2022.960822

Dryden, IL, & Mardia, K. V. (2016). *Statistical shape analysis: with applications in R.* John Wiley & Sons.

Carrera, M (2014). TIBURONES Y RAYAS EN LA MIRA: LA IMPORTANCIA DE LOS ESTUDIOS DE REPRODUCCIÓN. Departamento Central de Investigación, Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí. *Hippocampus*, 3, 28-33.

Castelo Corona, AP (2023). *Fidelidad y hábitat trófico de la raya águila (Aetobatus laticeps) en la bahía de Banderas, Jalisco, México* (Tesis de maestría). Instituto Politécnico Nacional.

Erquicia, J, & Navarrete, P (2016). *Historia, patrimonio e identidades en el municipio Puerto de La Libertad, El Salvador.* Universidad Tecnológica de El Salvador, 2016. 107 p. : il. ; 23 cm (Colección investigaciones ; v. 62). <http://repositorio.utec.edu.sv:8080/xmlui/handle/11298/321>

Fallas-Madrigal, D, Castelo-Corona, A, Mejías, D, Stephens-Cárdenas, S, Astorga-Arias, J, Molina-Quirós, JL, & Hernández, S (2021). Diversity of white spot patterns in the eagle ray *Aetobatus laticeps* (Myliobatiformes: Aetobatidae) in the north Pacific coast of Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 69(Suppl. 2), S267-S276. <https://doi.org/10.15517/rbt.v69iSuppl.2.48323>

IUCN (2023). The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2022-2. *Aetobatus laticeps* (Pacific Eagle Ray) <<https://www.iucnredlist.org>> ISSN 2307-8235.

IUCN (2023, June 9). The IUCN Red List of Threatened Species. Retrieved from <https://www.iucnredlist.org>

Kyne, PM, H. Ishihara, SFJ Dudley y WT White. (2006). *Aetobatus narinari*. En: IUCN 2009. IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2009. www.iucnredlist.org/

Last, P, Naylor, G, Séret, B, White, W, de Carvalho, M, & Stehmann, M (Ed.). (2016). *Rays of the World*. Csiro Publishing.

Mateo, MJ (2014). ¿Comemos tiburón?: Identificación molecular de carne de tiburón de venta en mercados y pescaderías del Distrito Metropolitano de Quito (Tesis de pregrado). Retrieved from Universidad San Francisco de Quito

McEachran, J, De Carvalho, M, y Carpenter, KE (2002). Batoid fishes. The living marine resources of the Western Central Atlantic, 1, 507-589. <https://sites.unisanta.br/simposiobiomar/2007/downloads/material/BATOIDS-McEachran-deCarvalho.pdf>

Navia, A (2013). Función ecológica de tiburones y rayas en un ecosistema costero tropical del Pacífico colombiano (Doctoral dissertation, Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas).

Nazar A (2016). Morfometría geométrica aplicada al análisis fenotípico del gen empty spiracles en *Rhodnius prolixus*. Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales. Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires.

Richards VP, Henning M, Witzell W, Shivji MS (2009). Species delineation and evolutionary history of the globally distributed spotted eagle ray (*Aetobatus narinari*). *J Hered* 100: 273–283

Ronquillo Moreira, Ian Luis (2020). Distribución, abundancia, estructura de tallas y fidelidad de sitio de *Aetobatus laticeps*, mediante monitoreo participativo y foto-identificación I3S en la Reserva Marina El Pelado, Santa Elena. La Libertad. UPSE, Matriz. Facultad de Ciencias del Mar. 73p.

Sistema de la Integración Centroamericana (SICA). (2009). Indicadores macroeconómicos del sector pesquero y acuícola del istmo centroamericano. Período 2000 - 2007. Proyecto “Fortalecimiento de la investigación interdisciplinaria para la pesca responsable en los países centroamericanos” FIINPESCA – OSPESCA/FAO/SUECIA - GCP/RLA/150/SWE.

Summers, A (2000). Stiffening the stingray skeleton - An investigation of durophagy in myliobatid stingrays (Chondrichthyes, Batoidea, Myliobatidae). *Journal of Morphology*, 243(2), 113–126. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4687\(200002\)243:2<113::AID-JMOR1>3.0.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4687(200002)243:2<113::AID-JMOR1>3.0.CO;2-A)

Tagliafico, A, Rago, N, Rangel, S, y Mendoza, J (2012). Exploitation and reproduction of the spotted eagle ray (*Aetobatus narinari*) in the Los Frailes Archipelago, Venezuela. *Fishery Bulletin*, 110(3), 307–316.

Tamayo, G (2000). Diseños muestrales en la investigación. *Semestre Económico*, 4(7). <https://revistas.udem.edu.co/index.php/economico/article/view/1410>

Toro-Ibacache M, Manriquez G, & Suazo I (2010). Morfometría geométrica y el estudio de las formas biológicas: de la morfología descriptiva a la morfología cuantitativa.

International Journal of Morphology, v.28 n.4 Temuco dic. 2010.
<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022010000400001>

Villalobos-Leiva & Benítez. (2020). Morfometría geométrica y sus nuevas aplicaciones en ecología y biología evolutiva. Parte 2. International Journal of Morphology. vol.38 no.6 Temuco dic. 2020. Morfometría Geométrica y sus Nuevas Aplicaciones en Ecología y Biología Evolutiva. Parte 2 (scielo.cl)

Zelditch M, Swiderski H, Sheets W (2004). Geometric morphometric for biologists: a primer, San Diego, CA, Elsevier Academic Press.

Zelditch, ML, Swiderski, DL, & Sheets, HD (2012). Geometric morphometrics for biologists: A primer. Academic Press.

ANEXOS

Registro de <i>Aetobatus laticeps</i> adultas			
N°	AD (cm)	LD (cm)	Código
1	103	65	AL_001_H_A
2	96,7	58,5	AL_002_H_A
3	95,5	51	AL_004_H_A
4	90	54,8	AL_005_H_A
5	90,2	59	AL_006_H_A
6	98,2	64	AL_007_H_A
7	95	57	AL_008_H_A
8	93	56	AL_009_H_A
9	90	52,6	AL_0010_H_A
10	92	53,5	AL_011_H_A
11	90	50	AL_012_H_A
12	100,5	60	AL_013_H_A
13	100	53	AL_014_H_A
14	94,5	53,5	AL_015_H_A
15	97	52	AL_016_H_A
16	110	65	AL_017_H_A
17	93	53	AL_018_H_A

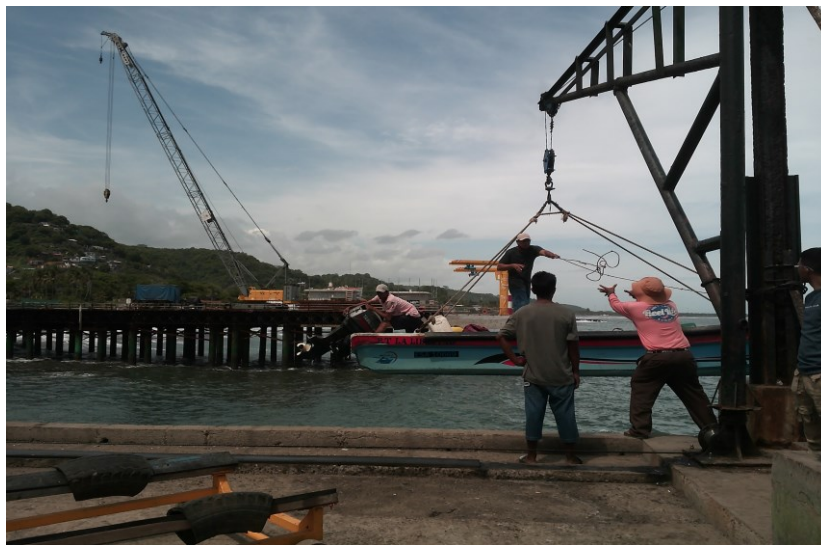
Anexo 1. Medidas de Ancho y Largo de Disco de *Aetobatus laticeps* adultas capturadas por medio de la pesca artesanal en el periodo de marzo-julio del 2024.

Registro de <i>Aetobatus laticeps</i> juveniles			
N°	AD (cm)	LD (cm)	Código
1	81	52	AL_001_H_J
2	86	50,5	AL_002_H_J
3	88,5	49,5	AL_003_H_J
4	80	49	AL_005_H_J
5	82	50	AL_006_H_J
6	81,5	44	AL_007_H_J
7	85	47	AL_008_H_J
8	86	51	AL_009_H_J
9	82,5	45	AL_010_H_J
10	87	49	AL_011_H_J
11	78	46,5	AL_012_H_J
12	77	47	AL_013_H_J
13	71	40	AL_014_H_J
14	80	49	AL_015_H_J

Anexo 2. Medidas de Ancho y Largo de Disco de *Aetobatus laticeps* juveniles capturadas por medio de la pesca artesanal en el periodo de marzo-julio del 2024.



Anexo 4. Toma de medidas del ancho y largo de disco de individuos de *Aetobatus laticeps*.



Anexo 5. Embarcación pesquera artesanal preparada para zarpar, en el muelle del Puerto de La Libertad.



Anexo 6. Raya látigo (*Hypanus longus*) recién capturada al bordo de una embarcación.



Anexo 7. Trabajador preparando un individuo de *Aetobatus laticeps* para la venta de sus aletas.



Anexo 8. Uso económico de *Aetobatus laticeps*. A. Restos de un individuo de *Aetobatus laticeps* tras la extracción de la parte comestible. B. Desechos orgánicos restantes.



Anexo 9. Especies de elasmobranquios capturados en el Puerto de La Libertad. A. *Narcine vermiculata* (Breder, 1928). B. *Sphyrna lewini* (Griffith & Smith, 1834).