



## **Proyecto FIPA N° 2023-26**

# **“Determinación de la época reproductiva de raya volantín y raya espinosa, entre la región de Ñuble y la región de Magallanes”**

## **Informe Final Corregido**

---

Requirente	Subsecretaría de Pesca y Acuicultura
Mandante	Fondo de Investigación Pesquera y Acuicultura
Ejecutor	Center of Applied Ecology and Sustainability (CAPES-UC) Av. Libertador Bernardo O'Higgins 340, Santiago
Jefe de Proyecto	Dr. Rodrigo Wiff Onetto Dr. Mauricio Lima Arce CAPES-UC / Pontificia Universidad Católica de Chile Fono: 56-2-23542638 E-mail: <a href="mailto:capespesquero@bio.puc.cl">capespesquero@bio.puc.cl</a>

**Febrero 2026**

---

## INFORMACION DEL PROYECTO

Requirente	:	Subsecretaría de Pesca y Acuicultura
Mandante	:	Fondo de Investigación Pesquera y de Acuicultura
Supervisión	:	Consejo de Investigación Pesquera y de Acuicultura
Ejecutor	:	Center of Applied Ecology and Sustainability (CAPES-UC). Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC)
Jefe(a) de proyecto	:	Dr. Rodrigo Wiff Onetto Dr. Mauricio Lima Arce
Autores	:	Rodrigo Wiff Onetto Mauricio Lima Arce Andrés Flores Inostrosa Dante Queirolo Palma Mauricio Ahumada Escobar Pedro Apablaza Juan Carlos Quiroz Santiago Gacitúa Andrés Javier Jaureguizar Andrés Milessi Millán
Colaboradores	:	Laboratorio de Tecnología Pesquera (TECPES) Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV)

**Citar como: Wiff, R, M. Lima, A. Flores, D. Queirolo, M. Ahumada, P. Apablaza, J.C. Quiroz, S. Gacitúa, A. Jaureguizar y A. Milessi. 2025. Informe Final, FIPA N° 2023-26 "Determinación de la época reproductiva de raya volantín y raya espinosa, entre la región de Ñuble y la región de Magallanes". 211 páginas.**



**Dr. Rodrigo Alexis Wiff Onetto**

**(1976 - 2025)**

*Rodrigo, siempre recordaremos tu gran valor como investigador, esa generosidad para enseñar y aportar en cada instancia, la habilidad para liderar el trabajo en equipo que nos inspiraba a todos como grupo, pero especialmente, recordaremos esa calidez humana que siempre nos mantenía con una sonrisa, incluso en momentos difíciles. Fuiste un tremendo amigo y compañero de trabajo, responsable en cada proyecto, sencillo pese a tu brillantez. Tu aporte a la investigación pesquera nacional e internacional será un legado que va más allá de lo netamente técnico y tu pasión por el mar permanecerá siempre con nosotros.*

## 1.- RESUMEN EJECUTIVO

---

Se entregan los resultados completos para los Objetivos Específicos 1, 2 y 3 del presente proyecto “Determinación de la época reproductiva de raya volantín y raya espinosa, entre la región de Ñuble y la región de Magallanes”. Estos resultados dicen relación con la descripción de los datos colectados en seis campañas de muestreo para otoño, invierno, primavera de 2024, y verano y otoño de 2025. También, se describe la capacitación en técnicas no letales de ultrasonido para elasmobranchios, realizada para personal científico-técnico de este proyecto, así como además, las pruebas realizadas en individuos muestreados de rayas en Chile. Por otra parte, se entregan los resultados para la estacionalidad de la madurez en raya volantín (*Dipturus chilensis*) y raya espinosa (*Dipturus trachyderma*) desde las bases de datos históricas que dispone el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP). Se describe también la histología para la corrección de estadios de madurez macroscópicos y levantamiento de la ojiva de madurez para raya volantín. Por último, se entregan recomendaciones para el manejo de ambas especies basado, tanto en los resultados obtenidos en este proyecto, como apoyados por una revisión bibliográfica en especies de rayas demersales.

Para el muestreo biológico, un total de 473 ejemplares de raya volantín y raya espinosa fueron colectados aleatoriamente por Observadores Científicos (OC) de CAPES-UC durante abril 2024 hasta abril 2025. El 3,6% de los ejemplares fueron capturados en la región Biobío, 63,6% provienen de la región de los Lagos y el 32,8% de la región de Aysén. Además, el 83% y 17% de los individuos fueron raya volantín y raya espinosa, respectivamente. La composición de tallas de los ejemplares medidos abarcó desde 75 hasta 251 cm de longitud total (LT) en raya espinosa y 64 hasta 125 cm de LT en raya volantín.

En raya espinosa, para un total de 82 ejemplares se evaluó su condición reproductiva basada en macroscopía, siendo 56 hembras y 26 machos. Durante el verano se registró el estadio de madurez sexual (EMS) de 4 hembras, de las cuales 3 tuvieron gónadas en EMS 1 y 2. En otoño, el 83% de las hembras fueron EMS 1 y 2, mientras que el restante 17% tuvieron gónadas desovadas (EMS 4). En invierno se colectaron 39 hembras, de las cuales el 97% fueron EMS 1 y 2. En el caso de los machos, la

mayoría de los ejemplares colectados (>50%) fueron maduros o EMS 3 en las cuatro estaciones.

En el caso de raya volantín, la condición de madurez sexual macroscópica se evaluó en 233 hembras y 157 machos. Durante todo el periodo de estudio hubo un predominio de ovarios en EMS 1 y 2 (>60%), mientras que las hembras maduras activas (i.e. EMS 3A y 3B) se registraron en todas las estaciones, pero con mayor ocurrencia entre verano e invierno (>17%). En el caso de los machos, la mayoría de los ejemplares analizados entre verano e invierno tuvieron clasper maduros o EMS 3 (>50%).

Durante abril del 2024 se realizó un taller de capacitación para personal científico-técnico de CAPES-UC en el uso de ultrasonido para la determinación del estado gonadal de las hembras de especies de rayas marinas en las instalaciones del Aquarium Mundo Marino, ciudad de San Clemente del Tuyu, Provincia de Buenos Aires, República Argentina. Posteriormente se utilizó el ecógrafo de bolsillo modelo KL-2 con un transductor lineal e inalámbrico (USB y Wifi) para evaluar la madurez gonadal de las hembras en raya volantín y raya espinosa del presente estudio. Se hicieron varias pruebas en terreno, sin embargo, el uso de técnicas no-letales mediante la ecografía no fue de total utilidad en ambas especies, principalmente debido al tiempo de mortalidad de los individuos (>4 días post-mortem), lo que hizo muy compleja la determinación de estructuras reproductivas.

Se analizó la información histórica disponible de la pesquería artesanal que operó con espinel o red de enmalle sobre ambas especies de raya en la zona centro-sur y sur-austral desde el año 1997 hasta el 2022. Estos registros históricos fueron obtenidos en terreno (a bordo o en tierra) por observadores científicos (OC) del Instituto de Fomento Pesquero (IFOP). Los análisis de datos biológicos de raya volantín indican que los factores más relevantes para predecir la presencia de individuos maduros son el tamaño de los individuos (ya sea en términos de longitud o peso), el tipo de pesquería (preferencia de enmalle sobre espinel), la proporción de sexos y, finalmente, los aspectos temporales.

Los parámetros de la ojiva de madurez fueron significantes ( $p < 0,05$ ) para cada sexo de raya volantín. El tamaño de las hembras maduras abarcó entre los 86 y 125 cm

LT. El valor de  $LT_{50}$  estimada por las hembras fue 100,5 cm (I.C. 95%: 98,1 – 102,4 cm). Mientras que el tamaño de los machos maduros abarcó entre los 80 y 111 cm LT. El valor de  $LT_{50}$  estimada para este sexo fue 84,0 cm (I.C. 95%: 82,2 – 85,4 cm), cuya ojiva estuvo desplazada hacia tallas pequeñas en comparación a la estimada en el caso de las hembras.

Aunque no estaba comprometido en la propuesta técnica, 105 gónadas de hembras de raya volantín fueron sometidas análisis histológico con el objetivo de evaluar la escala de madurez macroscópica utilizada. Estos resultados permitieron corregir y proponer una nueva escala de madurez macroscópica para estas especies. La histología indicó un patrón estacional de la madurez gonadal, similar al predicho con el índice gonadosomático (IGS), es decir, una mayor ocurrencia de hembras maduras con IGS alto en verano e invierno, las cuales corresponden a las estaciones reproductivas de la raya volantín.

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio se recomienda analizar una modificación de la veda biológica decretada para raya volantín y raya espinosa (D.EXE. 14-2016), donde se considere establecer una veda que incluya desde la estación principal de reproducción en verano hasta el periodo reproductivo secundario en invierno, para que las operaciones de pesca se realicen sólo en primavera. Una vez que la población alcance niveles sustentables, se podría acortar la veda sólo al peak principal de desove en verano, lo cual debe ser analizado por ente administrador y discutido con los actores de la pesquería.

## 1.1.- EXECUTIVE SUMMARY

---

The complete results for Specific Objectives 1, 2, and 3 are presented. These results pertain to the description of data collected during six sampling cruises conducted in autumn, winter, and spring of 2024, and in summer and autumn of 2025. The report also includes a description of training in non-lethal ultrasonography techniques for elasmobranchs, delivered to the scientific-technical personnel involved in this project, as well as the trials carried out on sampled skate specimens in Chile. In addition, the results for the seasonality of maturity in yellownose skate (*Dipturus chilensis*) and roughskin skate (*Dipturus trachyderma*) are presented, based on the historical databases maintained by the Instituto de Fomento Pesquero (IFOP). Histological analyses for the correction of macroscopic maturity staging are also described, along with the estimation of the maturity ogive for yellownose skate. Finally, recommendations for the management of both species are provided, based on the results obtained in this project and supported by a literature review on demersal skate species.

For the biological sampling, a total of 473 specimens of yellownose skate and roughskin skate were randomly collected by Scientific Observers (SO) from CAPES-UC between April 2024 and April 2025. Of these, 3.6% of the specimens were captured in the Biobío Region, 63.6% originated from the Los Lagos Region, and 32.8% from the Aysén Region. Furthermore, yellownose skate and roughskin skate accounted for 83% and 17% of the individuals, respectively. The size composition of the measured specimens ranged from 75 to 251 cm TL for roughskin skate, and from 64 to 125 cm TL for yellownose skate.

For roughskin skate, a total of 82 specimens were assessed for reproductive condition based on macroscopic examination, comprising 56 females and 26 males. In summer, the sexual maturity stage (SMS) was recorded for four females, of which three had gonads in SMS 1 and 2. In autumn, 83% of the females were in SMS 1 and 2, while the remaining 17% had spent gonads (SMS 4). In winter, 39 females were collected, of which 97% were in SMS 1 and 2. For males, the majority of the specimens collected (>50%) were mature (SMS 3) across all four seasons.

For yellownose skate, macroscopic sexual maturity condition was assessed in 233 females and 157 males. Throughout the study period, ovaries in maturity stages 1 and 2 predominated (>60%). Mature, actively reproducing females (i.e., SMS 3A and 3B) were recorded in all seasons, with higher occurrence between summer and winter (>17%). For males, the majority of those examined between summer and winter had fully developed claspers or were in SMS 3 (>50%).

In April 2024, a training workshop was conducted for the scientific-technical staff of CAPES-UC on the use of ultrasonography for determining the gonadal condition of females of marine skate species. The training took place at the Mundo Marino Aquarium facilities in the city of San Clemente del Tuyú, Buenos Aires Province, Argentina. Subsequently, a KL-2 pocket ultrasound device with a linear, wireless transducer (USB and Wi-Fi) was used to assess the gonadal maturity of females in yellownose skate and roughskin skate. Several field trials were conducted; however, the application of this non-lethal technique via ultrasonography proved ineffective for yellownose skate or roughskin skate, primarily due to post-mortem time in the specimens, which greatly complicates the identification of reproductive structures.

An analysis was conducted of the historical information available from the artisanal fishery operating with longlines or gillnets targeting both skate resources in the south-central and southern-austral zones from 1997 to 2022. These historical records were obtained in the field (onboard or dockside) by scientific observers (SO) from the Instituto de Fomento Pesquero (IFOP). The analysis of biological data for yellownose skate indicates that the most relevant factors for predicting the presence of mature individuals are specimen size (in terms of either length or weight), fishery type (with a higher occurrence in gillnet than in longline operations), sex ratio, and, finally, temporal factors.

The parameters of the maturity ogive were significant ( $p < 0.05$ ) for each sex of yellownose skate. The size range of mature females spanned from 86 to 125 cm TL. The estimated  $LT_{50}$  for females was 100.5 cm (95% CI: 98.1 – 102.4 cm). In males, the size range of mature individuals was between 80 and 111 cm TL. The estimated  $LT_{50}$  for males was 84.0 cm (95% CI: 82.2 – 85.4 cm), with the maturity ogive shifted towards smaller sizes compared to that estimated for females.



Although not originally included in the technical proposal, 105 gonads from female yellownose skate were subjected to histological analysis with the objective of evaluating the macroscopic maturity scale used. These results allowed for the correction and proposal of an improved macroscopic maturity scale. Histological analysis revealed a seasonal pattern of gonadal maturity similar to that predicted by the gonadosomatic index (GSI), showing a higher occurrence of mature females with elevated GSI values during summer and winter.

Based on the results obtained in this study, we recommend modifying the biological closure period decreed for both skate species (D. EXE. 14-2016), proposing to implement a seasonal closure starting from the main reproductive peak in summer through the secondary peak in winter, allowing fishing operations to take place during spring. Once the population reaches sustainable levels, the seasonal closure can be shortened to only the primary spawning peak in summer.

## 2.- INDICE GENERAL

---

1.- RESUMEN EJECUTIVO .....	1
1.1.- EXECUTIVE SUMMARY .....	4
2.- INDICE GENERAL .....	7
2.1. INDICE DE FIGURAS .....	9
2.2. INDICE DE TABLAS .....	13
2.3. INDICE DE ANEXOS .....	15
3.- ANTECEDENTES .....	16
4.- OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	21
4.1.    Objetivo general .....	21
4.2.    Objetivos específicos .....	21
5.- METODOLOGIA DE TRABAJO .....	22
5.1-    OBJETIVO ESPECIFICO 1: “Caracterizar el ciclo reproductivo de los recursos raya volantín y raya espinosa.” .....	22
5.2-    OBJETIVO ESPECIFICO 2: “Desarrollar e implementar un marco de monitoreo o de muestreo costo efectivo que abarque desde la región de Ñuble a la región de Magallanes.” .....	28
5.2.1 Técnica experimental de ultrasonido .....	28
5.3-    OBJETIVO ESPECIFICO 3. “Determinar la época reproductiva de raya volantín y raya espinosa, identificando dentro de la misma, el periodo de mayor vulnerabilidad para ambas especies, entre la región de Ñuble a la región de Magallanes.” .....	35
5.3.1. Solicitud y validación de los datos históricos .....	35
5.3.2. Análisis bases de datos históricos .....	35
5.3.3. Indicadores Reproductivos .....	39
5.3.4. Revisión bibliográfica .....	46
6.- RESULTADOS .....	47
6.1-    OBJETIVO ESPECIFICO 1: “Caracterizar el ciclo reproductivo de los recursos raya volantín y raya espinosa.” .....	47
6.2-    OBJETIVO ESPECIFICO 2: “Desarrollar e implementar un marco de monitoreo o de muestreo costo efectivo que abarque desde la región de Ñuble a la región de Magallanes.” .....	58
6.2.1. Limitaciones del uso del ecógrafo en el campo de estudio .....	58

6.2.2. Alternativa para la implementación de ultrasonido en la evaluación de la condición reproductiva de raya volantín y raya espinosa. ....	61
6.3- OBJETIVO ESPECIFICO 3: “Determinar la época reproductiva de raya volantín y raya espinosa, identificando dentro de la misma, el periodo de mayor vulnerabilidad para ambas especies, entre la región de Ñuble a la región de Magallanes.” .....	65
6.3.1. Análisis bases de datos históricas .....	65
6.3.2. Estimación de la madurez a la talla en raya volantín .....	82
6.3.3. Revisión bibliográfica .....	92
7.- DISCUSION DE RESULTADOS.....	116
7.1. Muestreos y aspectos reproductivos obtenidos en el presente estudio.....	116
7.3. Método no-letal .....	121
7.4. Modelación datos históricos .....	122
7.5. Revisión bibliográfica sobre manejo pesquero en elasmobranquios a nivel global.....	123
7.6. Recomendación de la veda biológica (D. EXE. 14-2016). .....	127
8.- CONCLUSIONES .....	131
9.- REFERENCIAS.....	133
10. ANEXOS.....	143
10.1. Anexo 1. Pauta de terreno para muestreo biológico y de madurez de rayas. ....	144
10.2. Anexo 2. Escala de Madurez sexual macroscópica de raya volantín y raya espinosa, y diagnóstico de los modelos seleccionados. ....	167
10.3. Anexo 3. Reunión de Coordinación Equipo de trabajo CAPES-UC / FIPA y Contraparte Técnica SUBPESCA.....	174
10.4. Anexo 4. Asignación de horas hombre por objetivo específico.....	189
10.5. Anexo 5. Taller de difusión de resultados. ....	193

## 2.1. INDICE DE FIGURAS

---

<b>Figura 1.</b> Mapa de la izquierda muestra la distribución de Raya volatín ( <i>Zearaja chilensis</i> ) en Sudamérica, y mapa de la derecha la distribución de Raya espinosa ( <i>Dipturus trachyderma</i> ). Cada mapa esta acompañado por una imagen de una hembra y macho de cada especie. Los números corresponden a los registros documentados de Raya volatín y Raya espinosa que corresponden a 30 y 19, respectivamente. (Diagrama elaborado a partir de las imágenes publicadas en Vargas-Caro et al. 2015). .....	17
<b>Figura 2.</b> Mediciones de longitud (cm) de una raya, basado en el manual de muestreo IFOP. ....	23
Figura 3. Gónadas de raya volatín capturada en aguas interiores. a) hembra con huevos desarrollados, útero, glándula nidamental y cápsulas y b) clasper de un macho. Fuente: Céspedes et al. (2005). ....	24
Figura 4. Análisis de imagen de la glándula oviductal (a) y tamaño del ovocito (b) visible de una gónada de raya volatín colectado en este proyecto FIPA 2023-26. ....	27
Figura 5. Poster del Taller con su cronograma de trabajo. ....	30
Figura 6. Práctica con equipo de ultrasonido. En la foto izquierda, experiencia practica con animales vivos en cautiverio de la especie ( <i>Myliobatis goodei</i> ). Foto derecha: experiencia practica con ejemplares cadavéricos de la especie <i>Myliobatis goodei</i> y <i>Sympterygia bonaparteii</i> . ....	31
Figura 7. Ecógrafo de bolsillo KL-2 con transductor lineal con USB y Wifi utilizado en raya espinosa y raya volatín. ....	32
Figura 8. Resumen de la ecografía portátil en rayas. Recuadro de la información del “Paciente” (a). Posición corporal y uso de la ecografía (b). Las flechas blancas solo indican la posición de la ecografía portátil. Las flechas rojas indican la dirección del movimiento antero-posterior del equipo en cada cuadrante corporal. ....	34
Figura 9. Esquema de la respuesta de las variables reproductivas en función de la talla o edad. Se marcan los puntos de quiebre (PQ). El primero representa el inicio de la madurez y el segundo está asociado a una madurez completa. ....	43
Figura 10. Proporción sexual observada de raya espinosa y raya volatín colectados desde abril 2024 hasta abril 2025. ....	48
Figura 11. Composición de tallas por sexo de raya espinosa y raya volatín colectadas entre abril 2024 y abril 2025. Línea vertical discontinua corresponde L <sub>50</sub> estimada por diferentes fuentes. ....	49
Figura 12. Relación longitud-peso de raya espinosa y raya volatín colectadas. El área sombreada corresponde el intervalo de confianza al 95%. Los coeficientes fueron significantes (p<0,05). .	50

Figura 13. Variación estacional de la condición reproductiva de las hembras (a) y machos (b) de raya espinosa. El número sobre cada barra corresponde la cantidad de individuos analizados. EMS, estadio de madurez sexual macroscópico.....	51
Figura 14. Variación estacional de la condición reproductiva de hembras (a) y machos (b) de raya volantín. El número sobre cada barra corresponde la cantidad de individuos analizados. EMS, estadio de madurez sexual macroscópico.....	53
Figura 15. Variación estacional del índice gonadosomático (%) por longitud total y estadio de madurez sexual de las hembras de raya espinosa y raya volantín. EMS, estadio de madurez sexual macroscópico. ....	54
Figura 16. Ovario en estadio 3B de una raya espinosa de 250 cm LT colectada en invierno. La flecha roja indica los ovocitos vitelados y la flecha azul la cápsula de huevo. El número corresponde el código de identificador único del individuo. ....	55
Figura 17. Variación del ancho de la glándula oviductal, tamaño máximo del ovocito e IGS por estadio de madurez sexual macroscópica de las hembras de raya volantín. Círculo rojo corresponde el promedio. Línea negra horizontal del boxplot corresponde a la mediana.....	56
Figura 18. Variación estacional del ancho de la glándula oviductal, tamaño máximo del ovocito e IGS con el estadio de madurez sexual macroscópica (EMS) y tamaño de las hembras de raya volantín. ....	57
Figura 19. Usando el ecógrafo en una hembra de raya volantín. Imágenes centrales son resultado de la ecografía y correspondientes ovarios. ....	59
Figura 20. Imagen del ecógrafo de la gónada de tres hembras de raya volantín. Círculo rojo indica la posición del ovario. La imagen a-d, b-e y c-f corresponde un ovario inmaduro (estadio 1), desovado (estadio 4a) y maduro (estadio 3a), respectivamente. La flecha indica presencia de líquidos.....	60
Figura 21. Muestreo biológico de raya volantín a bordo de la embarcación Don Mauricio en Lebu, Región del Biobío, Abril 2024. ....	63
Figura 22. Ocurrencia de EMS en raya volantín predichos por año, mes, zona de pesca y sexo. ....	66
Figura 23. Ocurrencia de EMS en raya espinosa predichos por año, mes, zona de pesca y sexo. ..	68
Figura 24. Coeficientes para los predictores incluidos en el modelo logístico en raya volantín.....	70
Figura 25. Curva característica operativa del receptor (AUC-ROC) del modelo logístico en raya volantín.....	72
Figura 26. Indicadores de desempeño del modelo de clasificación en raya volantín.....	73
Figura 27. ROC del modelo de clasificación contrastado con el ROC del modelo logístico en raya volantín.....	74

Figura 28. Árbol de decisión del modelo logístico con remuestreo para validar mediante comprobación cruzada en raya volantín.....	75
Figura 29. Relevancia de predictores según clasificación basada en arboles aleatorios en raya volantín .....	76
Figura 30. Coeficientes para los predictores incluidos en el modelo logístico para raya espinosa....	77
Figura 31. Curva característica operativa del receptor (AUC-ROC) del modelo logístico en raya espinosa.....	78
Figura 32. Indicadores de desempeño del modelo de clasificación en raya espinosa.....	79
Figura 33. ROC del modelo de clasificación contrastado con el ROC del modelo logístico para raya espinosa.....	80
Figura 34. Relevancia de los predictores según una clasificación basada en arboles aleatorios para raya espinosa.....	81
Figura 35. Árbol de decisión del modelo logístico de raya espinosa para validar mediante comprobación cruzada.....	82
Figura 36. Ojiva de madurez estimada para cada sexo de raya volantín colectada por este proyecto FIPA 2023-26. La línea discontinua corresponde la talla la cual el 50% de los individuos se encuentran maduros. El área sombreada corresponde el intervalo de confianza al 95%. .....	84
Figura 37. Regresión segmentada entre la longitud del clasper y diferentes medidas morfométricas de los machos de raya volantín colectados por este proyecto (FIPA 2023-26). La línea discontinua y el cuadro azul indican el punto de quiebre significativo de la relación. El área sombreada corresponde el intervalo de confianza al 95%. .....	85
Figura 38. Comparación espacial de la regresión segmentada entre la longitud del clasper y longitud total de los machos de raya volantín. La línea discontinua y el cuadro azul indican el punto de quiebre significativo de la relación. El área sombreada corresponde el intervalo de confianza al 95%. El número indica la fuente del estudio: 1) Licandeo et al. (2006); 2) presente proyecto FIPA 2023-26; 3) Licandeo & Cerna (2007). .....	87
Figura 39. Importancia de los predictores seleccionados en la modelación del índice gonadosomático de las hembras de raya volantín colectadas en el presente estudio.....	88
Figura 40. Variación del índice gonadosomático modelado con Random Forest de las hembras de raya volantín colectado en el presente estudio.....	90
Figura 41. Importancia de los predictores seleccionados en la modelación del índice de clasper de los machos de raya volantín colectados en el presente estudio.....	91
Figura 42. Variación del índice de clasper modelado con Random Forest en los machos de raya volantín colectado en el presente estudio.....	92

Figura 43. Descripción histológica de las fases de desarrollo ovárico de raya volantín colectado en el presente estudio. a-b: inmadura; c-e, en desarrollo, f, capaz de reproducir; g-h, regresión. CE, células escamosas; CG, células grandes intermedias; CP, células pequeñas; CPi, células piriformes; CT, células tecaes; EF, envoltura folicular; EG, epitelio germinal; F, folículos en desarrollo; FA, folículo atrésico; FP, folículo primordial; FPi, folículo primario; FPO, folículos postovulatorios; FPV, folículo previtelogénico; OE, órgano epigonal; PV, partículas de vitelo; TA, túnica albugínea; ZP, zona pelúcida; VV, vesícula de vitelo. Barra = 500  $\mu\text{m}$  en la Figura a, f-h; barra = 300  $\mu\text{m}$  en la Figura c; barra = 100  $\mu\text{m}$  en la Figura b, d-e..... 111

Figura 44. Variación estacional de la condición reproductiva de las hembras evaluadas con histología en raya volantín colectadas en el presente estudio. EMH, estadio de madurez sexual con histología. .... 114

Figura 45. Condición reproductiva de las hembras a la talla evaluada con histología en raya volantín colectadas en el presente estudio. EMH, estadio de madurez sexual con histología..... 115

## 2.2. INDICE DE TABLAS

---

Tabla 1. Escala de madurez sexual macroscópica de las gónadas de hembras de raya volantín y raya espinosa basado en los criterios de Stehmann (2002), Barone et al. (2007) y Serra-Pereira et al. (2011).....	25
Tabla 2. Escala de madurez sexual macroscópica de las gónadas de machos de raya volantín y raya espinosa basado en los criterios de Stehmann (2002), Barone et al. (2007) y Serra-Pereira et al. (2011).....	26
Tabla 3. Número de ejemplares colectados para el <i>muestreo biológico</i> de raya volantín y raya espinosa por región y estación. ....	47
Tabla 4. Resumen estadístico descriptivo de la composición de talla (LT, cm) de raya espinosa y raya volantín. N, número de ejemplares; d.e., desviación estándar.....	49
Tabla 5. Parámetros de la ojiva de madurez estimada para cada sexo de raya volantín colectado en el proyecto FIPA 2023-26. $\beta_1$ , intercepto; $\beta_2$ , pendiente; e.e., error estándar; $r^2$ , coeficiente de determinación; G.L., grado de libertad; $LT_{50}$ , longitud total en el 50% de madurez; I.C. 95%, intervalo de confianza al 95%. ....	83
Tabla 6. Resumen de los modelos de regresión segmentados entre la longitud del clasper y tamaño del macho de raya volantín colectado en el presente estudio. PQ, punto de quiebre; I.C., intervalo de confianza al 95%; $r^2$ , coeficiente de determinación; G.L., grados de libertad. ....	85
Tabla 7. Resumen de los modelos de regresión segmentados entre la longitud del clasper y longitud total del macho de raya volantín colectados por diferentes estudios. PQ, punto de quiebre; I.C., intervalo de confianza al 95%; $r^2$ , coeficiente de determinación; G.L., grados de libertad.....	86
Tabla 8. Información de estimaciones de tallas medianas de primera madurez sexual ( $L_{50\%}$ ) y ratio $L_{50\%}/l_{max}$ , por especie, para la familia Rajidae. H: Hembras, M: Machos .....	94
Tabla 9. Información de ciclo reproductivo, por especie, para la familia Rajidae.....	97
Tabla 10. Descripción histológica de la fase reproductiva de las hembras de raya volantín de acuerdo a la escala para elasmobranquios ovíparos propuesta por Barone et al. (2007) y Bárbara-Pereira et al. (2011). ....	109
Tabla 11. Clases de madurez que agrupa los estadios asignados con macroscopía e histología en las hembras de raya volantín.....	109
Tabla 12. Comparación de la asignación de estadio de madurez sexual entre la macroscopía e histología aplicada en las hembras de raya volantín colectada por el presente estudio. ....	112



Tabla 13. Resumen de la matriz de confusión para evaluar el rendimiento de la macroscopía en la asignación de la madurez sexual en las hembras de raya volantín colectadas por el presente estudio..... 113

Tabla 14. Evolución de medidas de manejo en la pesquería de rayas bentónicas en aguas de la Unión Europea. Modificado de Peverley & Stewart (2021)..... 125

## 2.3. INDICE DE ANEXOS

---

Anexo 1. Pauta de terreno para muestreo biológico y de madurez de rayas.....	144
Anexo 2. Reunión de Coordinación Equipo de trabajo CAPES-UC / FIPA y Contraparte Técnica SUBPESCA.....	167
Anexo 3. Respuesta a Observaciones y recomendaciones del avance 1.....	174
Anexo 4. Asignación de horas hombre por objetivo específico.....	189
Anexo 5. Taller de difusión e resultados.....	193

### 3.- ANTECEDENTES

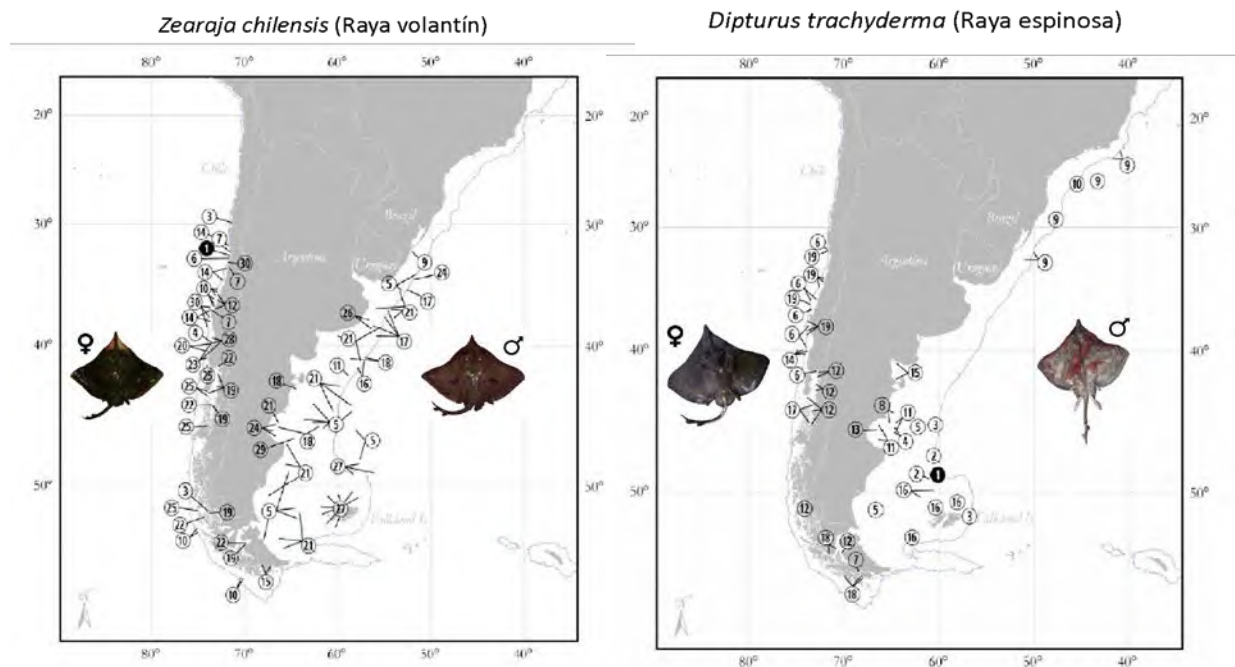
---

La familia Rajidae comprende 27 géneros con más de 245 especies en todo el mundo (Ebert & Compagno, 2007). En el Mar Chileno, cinco géneros de esa familia están presentes, tales como *Amblyraja*, *Dipturus*, *Gurgesiella*, *Rajella* y *Zearaja* (Lamilla et al. 2010; Vargas-Caro, 2010), de las cuales solo dos especies, raya volantín (*Dipturus chilensis*) y raya espinosa (*Dipturus trachyderma*), son recursos objetivos de la actividad extractiva en el país (Lamilla et al. 2010; Vargas-Caro et al. 2017). Se ha reportado que la distribución geográfica de ambas especies abarca desde Chile central (29.5°S) hasta la zona central de Argentina (40°S), incluyendo las islas Malvinas (Bustamante et al. 2014; Vargas-Caro et al. 2017). La raya volantín puede localizarle entre 9 y 512 m de profundidad, mientras que la raya espinosa entre los 111 y 513 m (Ahumada et al., 2025), ambas asociadas en aguas templadas-frías sobre la plataforma continental.

En términos de su distribución en Sudamérica, autores han indicado que ambas especies se distribuyen desde Chile central (29.5°S) hasta la zona central de Argentina (40°S), incluyendo las islas Malvinas (**Figura 1**), aunque la raya volantín podría extender su distribución más allá del Río de La Plata (40°S) (Bustamante et al. 2014; Vargas-Caro et al. 2017). En el Pacífico Sureste, Vargas-Caro et al. (2015) señalaron que raya volantín en Chile se encuentra en aguas templadas-frías entre los 32°S y 56°S, aunque existe registros que datan desde alrededor del 1900 señalando su ocurrencia desde los 29°S. En el caso de raya espinosa, los primeros registros son documentados para el centro-sur de Chile, actualmente incluye la Patagonia y Chile austral (Bustamante et al. 2014). En el Atlántico Suroeste, la presencia de raya volantín se ha documentado a lo largo de la costa argentina desde los 34°S a los 54°S, incluyendo las Islas Malvinas. En el caso de la raya espinosa, según Vargas-Caro et al. (2015) registros tempranos indicaban estar restringida a aguas argentinas, sin embargo, actualmente se le describe co-ocurriendo con raya volantín alrededor de las Islas Malvinas. También se le ha descrito hacia el Sur de Brasil, sin embargo, los autores discuten que en esta zona podría estar siendo confundida con otra especie *D. menni*. Cabe indicar que, recientemente, la clasificación taxonómica y la distribución de la raya volantín ha sido revisada, aunque

previamente se clasificaba como *Zearaja chilensis* en la actualidad es clasificada como *Dipturus chilensis*, y restringida su distribución sólo a aguas del Océano Pacífico, reportándose que la información proveniente de ejemplares capturados en el Atlántico corresponde en realidad a otras especies, específicamente *Zearaja brevicaudata* y *Dipturus lamillai* (Gabbanelli et al. 2018, 2022; Concha et al. 2019).

Respecto de la distribución batimétrica, la raya volantín puede localizarse principalmente entre profundidades de 150-350 m, mientras que la raya espinosa entre los 180 y 350 m (Quiroz et al. 2009). Es importante señalar el estudio de Vargas-Caro et al. (2017), quienes encuentran evidencia (variación genética) que sugiere que la especie raya volantín constituiría tres unidades distintas en Chile, frente a las costas de San Antonio y Valdivia, Mar Interior de Chiloé, y Punta Arenas recomendando un manejo pesquero distinto para cada unidad. Los mismos autores, sin embargo, no encuentran ninguna evidencia de diferenciación poblacional para el caso de raya espinosa.



**Figura 1.** Mapa de la izquierda muestra la distribución de Raya volantín (*Zearaja chilensis*) en Sudamérica, y mapa de la derecha la distribución de Raya espinosa (*Dipturus trachyderma*). Cada mapa esta acompañado por una imagen de una hembra y macho de cada especie. Los números corresponden a los registros documentados de Raya volantín y Raya espinosa que corresponden a 30 y 19, respectivamente. (Diagrama elaborado a partir de las imágenes publicadas en Vargas-Caro et al. 2015).

La explotación pesquera de estas especies en Chile comenzó el año 1977 como fauna acompañante de la flota industrial espinelera con bajos rendimientos de pesca (Pérez et al. 2017), aunque los desembarques oficiales (SERNAPESCA,) de raya comenzaron desde el año 1979. Los autores señalaron que la pesquería comenzó el año 1979 con raya volantín como especie objetivo, sin embargo, hasta el año 2004 al menos seis especies incluyendo raya volantín y raya espinosa fueron desembarcadas bajo la categoría general de 'raya' (Vargas-Caro et al. 2015). Pérez-Cuesta & González (2017) discute que al considerar la captura de raya volantín y raya espinosa por separado, desde el año 2004 a la actualidad, se puede observar que la raya espinosa no es una fracción importante de las capturas, estimándose un porcentaje máximo el año 2016 de un 6,3% del desembarque. Sin embargo, debe considerarse que la captura de raya volantín comienza a ser declarada una vez que su cuota extractiva anual se ha completado, influenciando posiblemente la composición específica del desembarque.

Los rasgos de historia de vida de los elasmobranquios son caracterizados por un crecimiento lento, madurez tardía, baja fecundidad, mayor longevidad y baja mortalidad natural, expresando una baja capacidad de resiliencia frente a la explotación (Frisk et al. 2001; Dulvy et al. 2014). Estudios de crecimiento en raya volantín estimaron una talla asintótica ( $L_{\infty}$ ) entre 128.3-149.6 cm para las hembras y 107.8-124.88 cm en los machos (Céspedes et al. 2005; Licandeo et al. 2006; Licandeo & Cerna, 2007), mientras que el  $L_{\infty}$  estimado en raya espinosa fue de 265 y 246.5 cm para las hembras y machos, respectivamente (Bahamondes et al. 1996; Gili et al. 1999), revelando que raya espinosa sería más longeva que raya volantín (Licandeo & Cerna 2007). Por otro lado, la mortalidad natural ( $M$ ) fue estimada entre 0.12-0.15 y 0.14-0.18 año<sup>-1</sup> para las hembras y machos de raya volantín, respectivamente, valores superiores en comparación a raya espinosa que abarcaron entre 0.09 y 0.15 año<sup>-1</sup> para sexos combinados (Quiroz et al. 2010).

Las hembras de raya volantín y espinosa son ovíparas simples, es decir, depositan una cápsula de huevo por el oviducto a la vez, cuyo tamaño podría variar entre el océano Pacífico y el Atlántico debido al tamaño de las hembras o a la variación ambiental (Concha et al. 2012). En ambas rayas la fecundidad ovárica total varió

entre 24-84 y 28-68 ovocitos vitelados en la zona sur-austral, respectivamente (Licandeo & Cerna, 2007; Licandeo et al. 2007). A partir de la información compilada, la longitud (edad) a la cual el 50% de los individuos son maduros ( $L_{50}$ ) fue estimada en 103-104 cm (14 años) para las hembras y 82.2-87.94 cm (11 años) cm para los machos de raya volantín (Céspedes et al. 2005; Licandeo et al. 2006; Licandeo & Cerna, 2007; Quiroz et al. 2009). En raya espinosa,  $L_{50}$  (edad) fue estimada en los 215 cm (17 años) y 195 cm (15 años) cm para las hembras y machos, respectivamente (Licandeo & Cerna, 2007). Ambos rasgos, la fecundidad y  $L_{50}$ , revelan un potencial reproductivo bajo y madurez tardía en ambas especies, característicos de las especies de condriictios.

El ciclo reproductivo de raya volantín y raya espinosa ha sido escasamente estudiado y con un bajo número de individuos frente las costas chilenas (Céspedes et al. 2005). En aguas interiores de la Región de los Lagos hasta Magallanes y Antártica Chilena, se ha reportado presencia de individuos maduros de ambos sexos durante un periodo más extenso, indicando actividad reproductiva entre primavera-otoño en raya volantín y entre verano-invierno en raya espinosa (Fuentealba & Leible, 1990; Bahamonde et al. 1996; Gili et al. 1999; Céspedes et al. 2005). Aunque el máximo proceso de ovulación y postura de capsulas de huevos de las hembras en raya volantín ocurren en el verano (Licandeo & Cerna, 2007). En este contexto, un Decreto Exento N°239-2006 modificado por el Decreto Exento N°14-2016 establece un periodo de veda biológica para ambas especies a partir del 01 de diciembre hasta 31 de marzo del año calendario siguiente para proteger el proceso reproductivo. Sin embargo, la justificación del estudio señalado en los términos de referencias técnica (Res. Ex.1521-2003) indica que el periodo reproductivo ha sido extrapolado del comportamiento de otras especies (Lamilla *com pers*, 2015). Además, los representantes del sector artesanal en el Comité de Manejo de raya volantín y raya espinosa (41°28.6'-57°S) y representantes de la Unidad de Pesquería (Zona Centro-Sur) manifestaron la necesidad de corroborar el periodo reproductivo, dado que, desde su experiencia en terreno, esta actividad también estaría ocurriendo en otra época del año (Acta CM-RVRE-N°1/2023; CI SUBPESCA N°410/2023). Estas observaciones por parte de los representantes del sector artesanal corroboran lo señalado previamente por diferentes investigaciones, es decir, que ambas especies

poseen un periodo reproductivo prolongado. Por lo tanto, toma mucha relevancia el validar si el ciclo reproductivo de raya volantín y raya espinosa es estacional, es decir, mayor actividad durante el verano y menor intensidad en el resto del año.

El presente informe contiene la totalidad de los resultados asociados al proyecto, incluyendo análisis de bases de datos colectadas por el Instituto de Fomento Pesquero, la capacitación de observadores tanto en el muestreo de especies de rayas como también en uso de técnicas de ultrasonido para determinar madurez. Además, el informe contiene un análisis de los datos colectados en las campañas de muestreo realizadas durante 2024 y 2025, así como también, recomendaciones para la veda y manejo de ambas especies de rayas en Chile.

## 4.- OBJETIVOS DEL PROYECTO

---

### 4.1. Objetivo general

Determinar la época reproductiva de raya volantín (*Zearaja chilensis*) y raya espinosa (*Dipturus trachyderma*) entre la región de Ñuble y la región de Magallanes.

### 4.2. Objetivos específicos

4.2.1. Caracterizar el ciclo reproductivo de los recursos raya volantín y raya espinosa.

4.2.2. Desarrollar e implementar un marco de monitoreo o de muestreo costo efectivo que abarque desde la región de Ñuble a la región de Magallanes.

4.2.3. Determinar la época reproductiva de raya volantín y raya espinosa, identificando dentro de la misma, el periodo de mayor vulnerabilidad para ambas especies, entre la región de Ñuble a la región de Magallanes.



## 5.- METODOLOGIA DE TRABAJO

---

**5.1- OBJETIVO ESPECIFICO 1:** *“Caracterizar el ciclo reproductivo de los recursos raya volantín y raya espinosa.”*

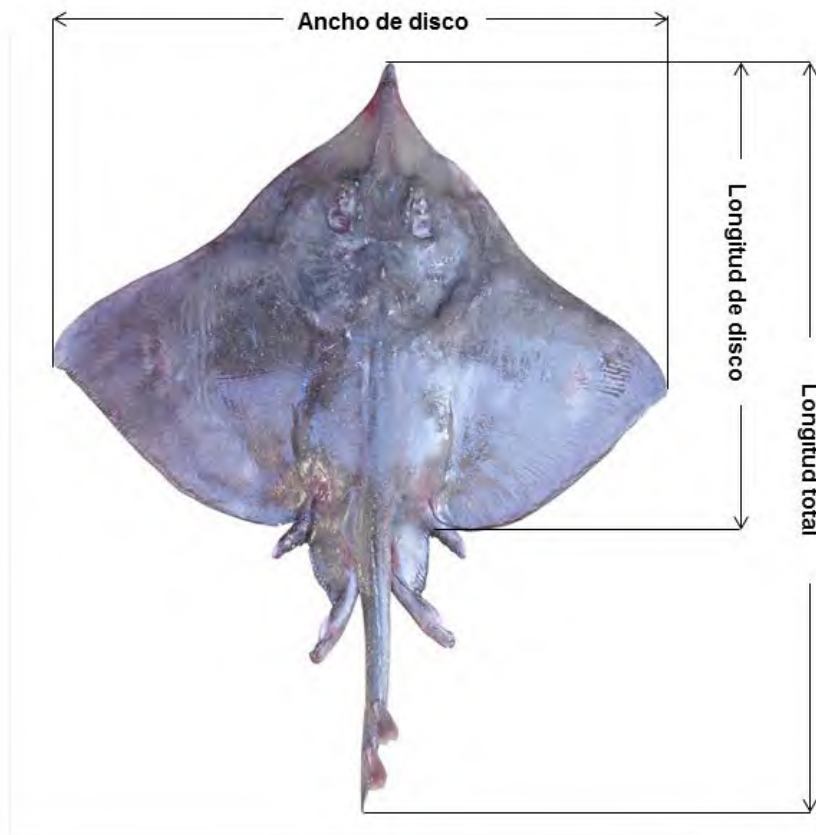
### **Muestreos**

Durante el estudio se llevó a cabo seis campañas de muestreos biológicos entre abril de 2024 hasta abril de 2025 en las regiones de Biobío, los Lagos y Aysén. El muestro se planificó para ser desarrollado en las cuatro estaciones del año, considerando tanto, muestras provenientes de pesca comercial, como de Pesca de Investigación. Cabe señalar que la estrategia indicada fue acordada con la contraparte técnica de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (Ver **Anexo 3**, Acta de Reunión de Coordinación), conforme a las características de la pesquería que impone limitantes temporales para el muestreo y a la baja disponibilidad del stock.

Los muestreadores fueron capacitados en la toma de información y reconocimiento de especies siguiendo la guía generada para estos efectos en **Anexo 1**.

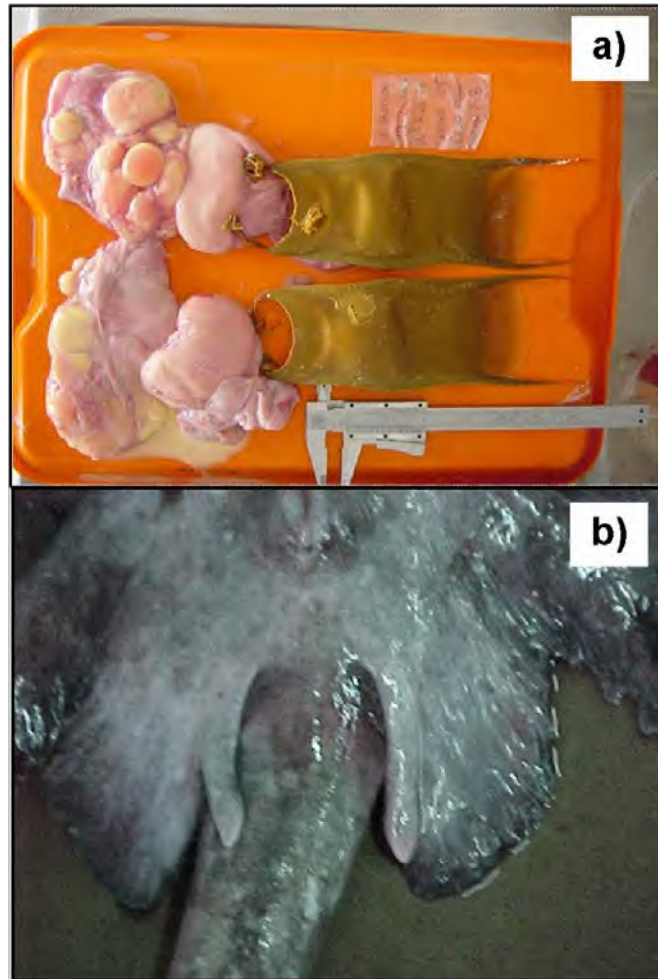
### **Informacion a coleccionar**

A los ejemplares coleccionados se les registró la longitud total (comprendida desde el extremo de la nariz hasta el extremo más distal del pedúnculo caudal), longitud de disco (entre el extremo de la nariz hasta el lóbulo de la aleta pélvica), ancho de disco (corresponde a la máxima longitud comprendida entre las alas), todas al centímetro (**Figura 2**). También se obtuvo el peso total (sin eviscerar, gr.), peso ovario (gr.), sexo del ejemplar (conforme a características morfológicas externas) y el estado de madurez. Cada una de las rayas muestreadas fueron fotografiadas.



**Figura 2.** Mediciones de longitud (cm) de una raya, basado en el manual de muestreo IFOP.

Para determinar la condición reproductiva de los individuos se aplicó el método macroscópico. En el caso de las hembras, éstas fueron evisceradas para evaluar los pares de ovarios, glándulas nidamentales, útero y presencia de huevos (**Figura 3a**), mientras que en los machos, se evaluaron las características externas de los clasper según su longitud respecto a la aleta pélvica y grado de calcificación (**Figura 3b**).



**Figura 3.** Gónadas de raya volantín capturada en aguas interiores. a) hembra con huevos desarrollados, útero, glándula nidamental y cápsulas y b) clasper de un macho. Fuente: Céspedes et al. (2005).

La asignación del estadio de madurez en ambos sexos estuvo basada en la escala macroscópica estandarizada para especies de elasmobranquios desarrollada por Stehmann (2002), Barone et al. (2007) y Serra-Pereira et al. (2011), descrita en la **Tabla 1** para las hembras y **Tabla 2** para machos. Las respectivas imágenes de cada estadio se encuentran en el **Anexo 1 (Tabla S1 y Tabla S2)**.

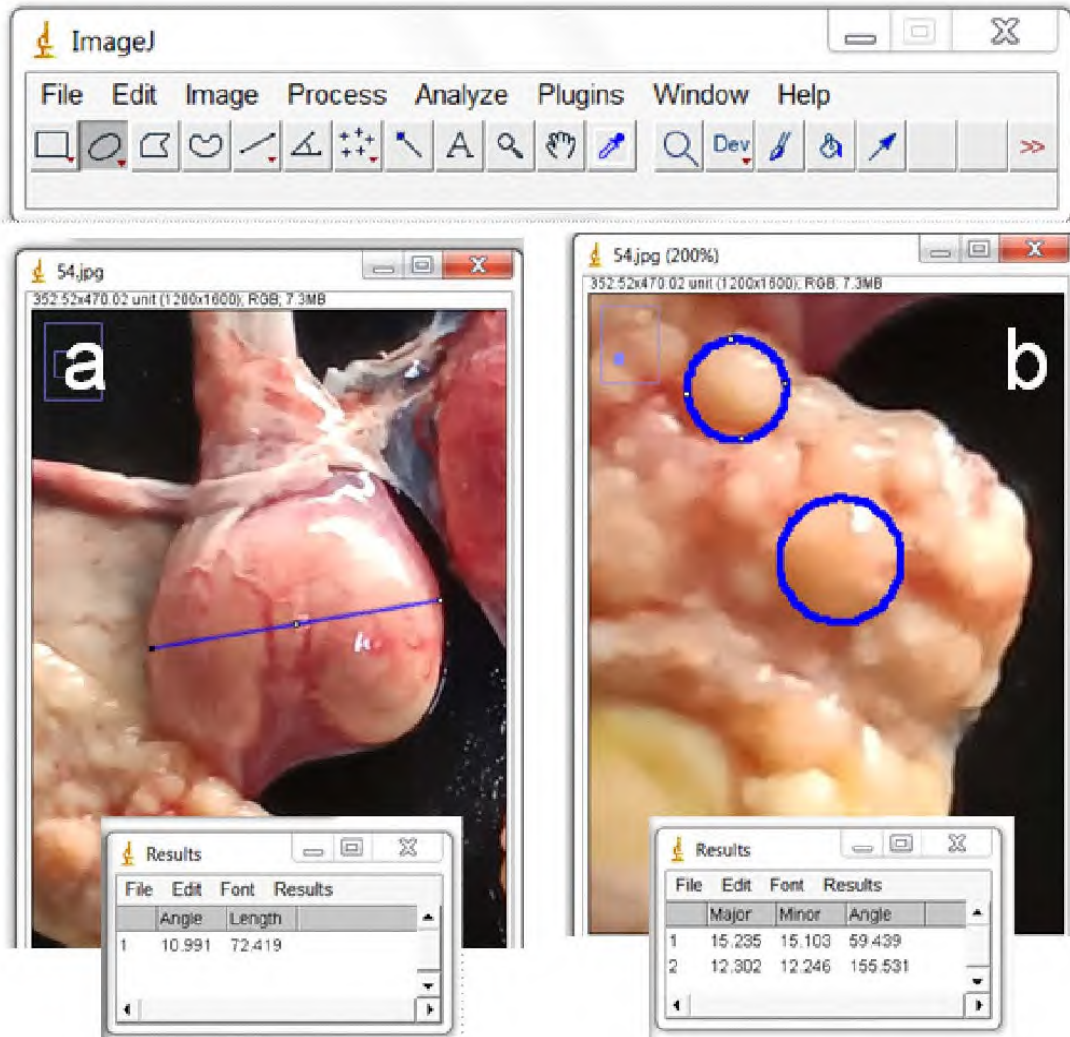
**Tabla 1.** Escala de madurez sexual macroscópica de las gónadas de hembras de raya volantín y raya espinosa basado en los criterios de Stehmann (2002), Barone et al. (2007) y Serra-Pereira et al. (2011).

ESTADIO	DESCRIPCIÓN
<p style="text-align: center;"><b>1.</b> <b>Inmaduro</b></p>	<p>Ovario pequeño, delgado y blanquecino con superficie lisa. No se distinguen folículos (ovocitos). Glándulas oviductal a menudo no visibles. En algunas especies puede verse un engrosamiento del útero donde se desarrollará la glándula. Útero filamentosos y estrecho.</p>
<p style="text-align: center;"><b>2.</b> <b>En desarrollo</b></p>	<p>Ovario de mayor tamaño y blanquecino con superficie granulosa por la presencia de folículos (ovocitos) de diferentes tamaños (grado de desarrollo). Pueden estar presentes algunos folículos vitelinos de tamaños pequeños y medianos (color anaranjado pálido). Glándula oviductal distinguible y en desarrollo. Tamaño del útero en aumento.</p>
<p style="text-align: center;"><b>3a.</b> <b>Capaz de reproducir</b></p>	<p>Ovario de gran volumen, ocupando gran parte de la cavidad visceral. Presencia de folículos vitelinos grandes (color anaranjado intenso). Glándula oviductal completamente desarrollada. Útero alargado y ensanchado en casi toda su longitud.</p>
<p style="text-align: center;"><b>3b.</b> <b>Capaz de reproducir (con cápsula de huevos)</b></p>	<p>Descripción similar al estadio 3a, pero úteros con presencia de cápsulas de huevos.</p>
<p style="text-align: center;"><b>4.</b> <b>Post-deposición de huevos o regresión</b></p>	<p>Ovario flácido con pocos folículos (ovocitos) de diferentes tamaños y algunos folículos grandes están vitelados (color anaranjado intenso). Glándula oviductal completamente desarrollada, pero de tamaño reducido. Útero dilatado y flácido.</p>
<p style="text-align: center;"><b>5.</b> <b>En regeneración</b></p>	<p>Ovario grande con folículos vitelinos pequeños y medianos (color anaranjado). Glándula oviductal completamente desarrollada, pero puede estar reducida. Útero expandido.</p>

**Tabla 2.** Escala de madurez sexual macroscópica de las gónadas de machos de raya volantín y raya espinosa basado en los criterios de Stehmann (2002), Barone et al. (2007) y Serra-Pereira et al. (2011).

ESTADIO	DESCRIPCIÓN
<b>1.</b> <b>Inmaduro o juvenil</b>	Claspers (CL) no sobrepasan las puntas de las aletas pélvicas (AP). Testículos pequeños y blancos que ocupan hasta la mitad de la cavidad abdominal. Conductos espermáticos rectos y filiformes.
<b>2.</b> <b>Adolescente o sub-adulto</b>	Claspers (CL) sobrepasan las puntas de las aletas pélvicas (AP), pero sin calcificar. Testículos agrandados, no completamente llenos de folículos seminíferos. Aunque los conductos espermáticos comienzan a enrollarse.
<b>3.</b> <b>Maduro o adulto</b>	Claspers (CL) sobrepasando las puntas de las aletas pélvicas (AP) y calcificados. Conductos deferentes llenos. Testículos anchos de color rosado y con folículos seminíferos que llenan todo el volumen. Conductos espermáticos enrollados en casi toda su longitud.
<b>4.</b> <b>Evacuado o Regresión</b>	Claspers (CL) sobrepasan las puntas de las aletas pélvicas (AP), completamente formados y rígidos (similar al estadio 3). Testículos que apenas ocupan la mitad de la cavidad abdominal. Testículos encogidos o apenas ocupan la mitad de la cavidad abdominal. Conductos espermáticos vacíos y flácidos.

En las hembras de raya volantín y raya espinosa, el ancho de la glándula oviductal (mm) y tamaño (ancho y largo) de los ovocitos (mm) visibles en las gónadas fueron medidos mediante análisis de imagen usando el programa ImageJ 1.52a (<https://imagej.net/ij/>). Estos registros permitieron evaluar su asociación con la variabilidad del IGS y estadios de madurez macroscópicas (**Figura 4**).



**Figura 4.** Análisis de imagen de la glándula oviductal (a) y tamaño del ovocito (b) visible de una gónada de raya volantín colectado en este proyecto FIPA 2023-26.

## 5.2- OBJETIVO ESPECIFICO 2: “Desarrollar e implementar un marco de monitoreo o de muestreo costo efectivo que abarque desde la región de Ñuble a la región de Magallanes.”

### 5.2.1 Técnica experimental de ultrasonido

En la propuesta técnica se mencionó la complejidad de evaluar el grado de madurez gonadal de las hembras porque se debe eviscerar el ejemplar, lo cual implica un método invasivo y letal. Por ese motivo, paralelamente probamos de **manera experimental** la técnica de ultrasonido o ecografía, aplicada exitosamente en estudios reproductivos en otras especies de elasmobranquios y teleósteos, cuya base de método no-letal es la misma que se aplica en humanos y en áreas de la veterinaria (Whittamore et al. 2010).

En este proyecto, la actividad con la ecografía consistió de dos etapas. La primera se basó en un curso de capacitación intensivo realizado en el Centro Acuático Mundo Marino de San Clemente, Argentina, para aprender a utilizar y leer imágenes de la ecografía en ejemplares vivos y muertos de elasmobranquios del género *Sympterygia*. La segunda etapa se basó en la elaboración de un protocolo para aplicar la ecografía en terreno.

#### **Primera etapa:** Curso de capacitación para el personal CAPES-UC.

Los días 5 y 6 de abril de 2024 se realizó un taller de capacitación en el uso de ultrasonido para la determinación del estado gonadal de las hembras de especies de rayas marinas en instalaciones del Aquarium Mundo Marino, ciudad de San Clemente del Tuyu, Provincia de Buenos Aires, República Argentina.

El taller estuvo a cargo del Médico Veterinario Juan Pablo Loureiro (Fundación Mundo Marino) y de la Medica Veterinaria Natalia Demergassi (Fundación Temaiken). En la capacitación participaron Andrés Flores (CAPES-UC), Enrique Aguilar (CAPES-UC), Andrés Milessi (MarAzulUruguayo, Uruguay), Andrés Jaureguizar (CIC-IADO-UPS) y la estudiante Marcelina Lekawska de la

Universidad of St. Andrews, Reino Unido, todos los participantes colaboraron en este proyecto FIPA.

Durante ambos días, la capacitación siguió un cronograma (**Figura 5**) que constó de presentaciones institucionales relacionadas a las actividades que desarrollan las fundaciones Mundo Marino y Temaiken. En estas charlas se abordaron conocimientos teóricos sobre el uso de ultrasonido para el estudio de la anatomía y estadios reproductivos en peces cartilagosos para su aplicación en la conservación de condriictios. A la vez, Andrés Flores realizó una presentación sobre los objetivos del proyecto FIPA 2023-26 y la diversidad de rayas en Chile.



# TALLER TEÓRICO PRÁCTICO SOBRE ANATOMÍA Y ULTRASONOGRAFÍA EN ELASMOBRANQUIOS

**PRIMER DÍA** VIERNES 5 DE ABRIL DE 2024

- **Teórico 9:00 horas - Lugar: Encuentro submarino.**  
Presentación institucional Fundación Mundo Marino – Mundo Marino.  
Trabajo con tiburones.  
Presentación institucional Fundación Temaikén.  
Trabajo con rayas.  
Presentación del Proyecto Chile Sur.  
Atención clínica general en rayas bajo cuidado humano.
- **Almuerzo 13:30 horas.**
- **Práctico 14:30 horas - Lugar: Arrecife de Rayas.**  
Trabajo con rayas: toma de muestras medidas y ultrasonografía.

**SEGUNDO DÍA** SÁBADO 6 DE ABRIL DE 2024

- **Teórico 9:00 horas - Lugar: Encuentro submarino.**  
Generalidades de Anatomía en Rayas.  
Visita Acuarios del Parque Educativo Mundo Marino.
- **Almuerzo 13:30 horas.**
- **Práctico 14:30 horas - Lugar: Sala de Necropsia.**  
Trabajo con rayas: disecciones y ultrasonografía con material cadavérico.



**Figura 5.** Poster del Taller con su cronograma de trabajo.

Durante ambos días se realizaron trabajos prácticos para la prueba del equipo de ultrasonido y la adquisición de experiencia práctica utilizando animales vivos criados en cautiverio. Para tal fin se utilizaron ejemplares vivos de la especie *Myliobatis goodei* (primer día, **Figura 6**) y ejemplares cadavéricos de la especie *M. goodei* y *Sympterigia bonaparteii* (segundo día, **Figura 6**). Se realizaron trabajos de laboratorio (frotis), extracción de sangre y muestreo clásico, tales como tallas, pesos y sexo. Se dio por finalizada la actividad con la entrega de certificados.

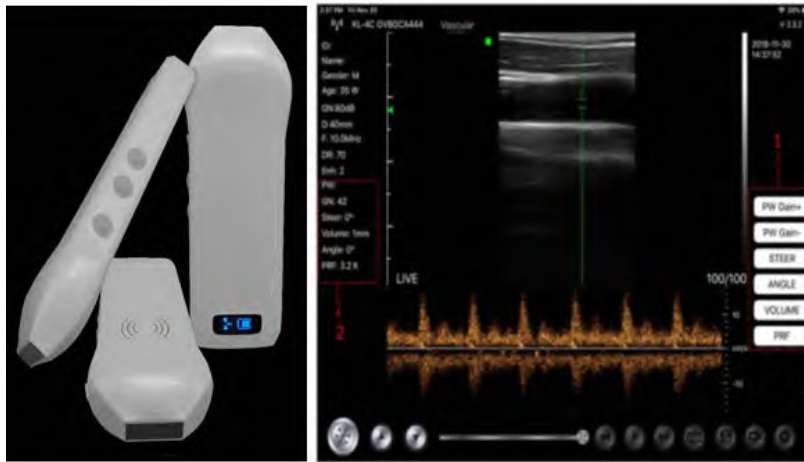


**Figura 6.** Práctica con equipo de ultrasonido. En la foto izquierda, experiencia practica con animales vivos en cautiverio de la especie (*Myliobatis goodei*). Foto derecha: experiencia practica con ejemplares cadavéricos de la especie *Myliobatis goodei* y *Sympterigia bonaparteii*.

Cabe señalar la gran disposición de los técnicos de la Fundación Mundo Marino, que en todo momento estuvieron presentes facilitando todo el proceso para el desarrollo de la actividad. Se lograron los objetivos planteados inicialmente, que fueron capacitar a los técnicos del Proyecto FIPA en la utilización del equipo de ultrasonido, así como, la generación de un vínculo institucional y personal con ambas Fundaciones.

**Segunda etapa:** Protocolo y aplicación de la ecografía en terreno.

Se utilizó el ecógrafo de bolsillo modelo KL-2, el cual es un transductor lineal e inalámbrico (USB y Wifi), seleccionado para evaluar la madurez gonadal de las hembras en raya volantín y raya espinosa (**Figura 7**). El tamaño (125 mm \* 55 mm \* 25 mm) y peso (109 g) de la sonda es ideal para su uso en terreno. Además, este modelo es aplicable para superficie corporal y prevista para analizar imágenes en ginecología y obstetricia, riñón abdominal, órgano pequeño, arteria carótida y cardiaco.



**Figura 7.** Ecógrafo de bolsillo KL-2 con transductor lineal con USB y Wifi utilizado en raya espinosa y raya volantín.

Para facilitar prontamente los ejemplares a la planta, el protocolo del muestreo biológico y uso de la ecografía en las hembras consistió en los siguientes pasos:

- Se registró en la planilla biológica un identificador único del ejemplar.
- Se registró la longitud total, el largo del disco, el ancho del disco y el peso total.
- Se procedió con la ecografía (más adelante se detalla esta actividad).
- Posteriormente se realizaron incisiones o cortes quirúrgicos en la cavidad visceral (o abdominal) para extraer y obtener registros visuales de las gónadas y la asignación de estadio de madurez.

- Finalmente, se pesó la hembra eviscerada y fue devuelta a la bandeja del personal de la planta.

#### Protocolo de la actividad con el ecógrafo:

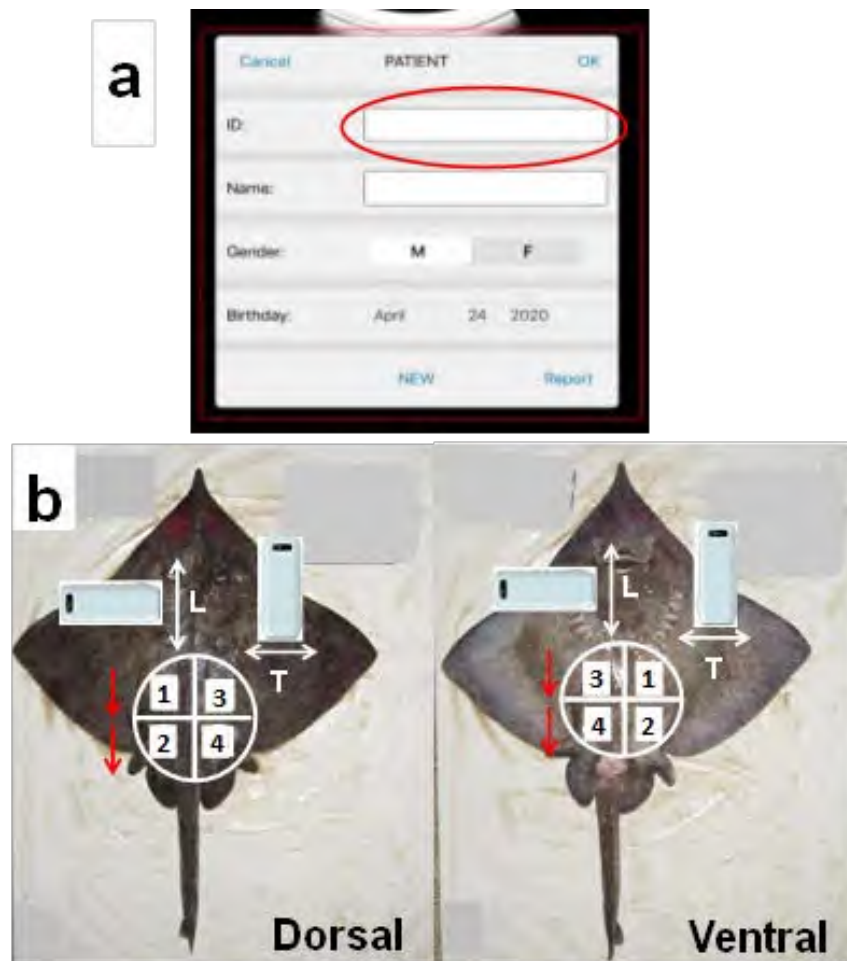
- Primero, dentro de una bolsa de látex (guante u otro material) se agregó gel conductor y a continuación se introdujo el ecógrafo portátil tal que su parte lineal haga contacto con el gel.
- La ecografía portátil siempre se movió en la dirección antero-posterior (desde la cabeza hacia el pedúnculo caudal), independiente de la posición de la sonda, es decir, longitudinal o transversal.
- Identificar un órgano referencial para interpretar correctamente la imagen (e.g., estómago o riñón) y después se movió la ecografía hasta localizar el ovario.
- Se ingresó la información del ejemplar en el ID del recuadro “Paciente” del software (círculo rojo de la **Figura 8a**) y después se grabó video e imagen sin levantar el ecógrafo de la superficie del ejemplar.
- En el ID del recuadro “Paciente”, se registró la siguiente información del ejemplar (**Figura 8b**):
  - Número identificador de la ecografía que incluye el N° Registro único del ejemplar.
  - Posición del ejemplar para la ecografía (D: dorsal o V: ventral).
  - Posición de la ecografía portátil (L: longitudinal o T: transversal).
  - Cuadrante corporal por la que se pasó la ecografía. (1: anterior-izquierdo; 2: anterior-derecho; 3: posterior-derecho; 4: posterior-izquierdo).
  - Finalmente, si se obtuvo más de un video o imagen del mismo cuadrante del ejemplar se puso una letra.

#### Ejemplos de la información que debe ingresar en el ID:

2DL1-A = ejemplar 2; posición dorsal; ecografía longitudinal; cuadrante 1; primera imagen.

2DL1-C = ejemplar 2; posición dorsal; ecografía longitudinal; cuadrante 1; tercera imagen.

5VT3-A = ejemplar 5; posición ventral; ecografía transversal; cuadrante 3; primera imagen.



**Figura 8.** Resumen de la ecografía portátil en rayas. Recuadro de la información del “Paciente” (a). Posición corporal y uso de la ecografía (b). Las flechas blancas solo indican la posición de la ecografía portátil. Las flechas rojas indican la dirección del movimiento antero-posterior del equipo en cada cuadrante corporal.

**5.3- OBJETIVO ESPECIFICO 3.** *“Determinar la época reproductiva de raya volantín y raya espinosa, identificando dentro de la misma, el periodo de mayor vulnerabilidad para ambas especies, entre la región de Ñuble a la región de Magallanes.”*

#### 5.3.1. Solicitud y validación de los datos históricos

Una vez adjudicado el proyecto por parte del Consejo de Investigación Pesquera y de Acuicultura (CIPA) al Centro CAPES-UC, se solicitó oficialmente al Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), las bases de datos e información relacionada con el proyecto **“Seguimiento de las Pesquerías Demersales y Aguas Profundas”** en sus secciones: Pesquería Demersal Centro Sur y Pesquería Demersal Sur Austral Artesanal (Sección III) y Pesquería Demersal Sur Austral Industrial (Sección IV), ambos ejecutados periódicamente por IFOP.

Las bases de datos biológicos correspondientes a la raya volantín y raya espinosa fueron analizadas para tres zonas: al norte de la unidad de pesquería (NUP, IV – VII Región), unidad de pesquería (UP, VIII – 41°28,6’S) y al sur de la unidad de pesquería (SUP, 41°28,6’S – XII Región).

El presente proyecto recibió la información histórica disponible de la pesquería artesanal que operó con espinel o red de enmalle sobre ambos recursos de rayas en la zona centro-sur y sur-austral desde 1997 hasta 2022. Estos registros históricos fueron obtenidos en terreno (a bordo o en tierra) por observadores científicos (OC) de IFOP.

#### 5.3.2. Análisis bases de datos históricos

Utilizando las bases históricas provenientes de IFOP, se realizó una modelación de la condición reproductiva en raya volantín y raya espinosa, explorando diferentes características biológicas y pesqueras, tales como el lugar de captura, la temporada de pesca, el tamaño del individuo y sexo de ambas rayas muestreadas en el puerto. Estos atributos pueden ofrecer información valiosa sobre el ciclo de vida y los patrones reproductivos de las especies, lo que facilita a los investigadores y

administradores pesqueros la toma de decisiones fundamentadas en cuanto a prácticas de explotación sostenible.

Se utilizó un conjunto de datos que incluyó información de 18614 muestreos biológicos realizados entre los años 2002 y 2022. Estos datos fueron analizados con el propósito principal de obtener una descripción cuantitativa de la dinámica reproductiva de la raya volantín y raya espinosa.

### *Modelo generalizado con respuesta binomial*

Se utilizó un análisis de regresión generalizada para investigar la relación entre varias variables independientes y una variable dependiente binaria. La regresión logística es especialmente adecuada para situaciones en las que la variable dependiente es binomial, asumiendo valores de 0 (maduro) o 1 (inmaduro). Este método permite modelar la probabilidad de que la variable dependiente sea igual a 1, dadas las variables independientes o predictores (McCullagh & Nelder, 1989; Peng et al. 2002). El análisis se llevó a cabo utilizando el software estadístico R (R Core Team, 2020), que ofrece un entorno sólido para implementar la regresión logística generalizada mediante la función `glm()`, especificando el argumento `family = binomial` para indicar la naturaleza binaria de la variable dependiente. El modelo de regresión logística se definió de la siguiente manera:

$$\text{logit}(P(Y = 1)) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n$$

donde  $P(Y = 1)$  es la probabilidad de que la variable dependiente  $Y$  sea igual a 1,  $\beta_0$  es la intersección, y  $(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$  son los coeficientes de los predictores independientes  $X_1, X_2, \dots, X_n$ . Se utilizó la sintaxis `glm(formula = Y ~ X1 + X2 + ... + Xn, family = binomial, data = dataset)` para especificar el modelo, donde `dataset` es la base de datos que contiene las variables de interés.

Una de las ventajas del algoritmo `glm() - family = binomial` es su capacidad para manejar modelos de regresión logística de manera flexible y robusta. Utiliza un método iterativo llamado mínimos cuadrados ponderados iterativos (IRLS) para estimar los coeficientes del modelo, lo que permite una convergencia eficiente hacia

las estimaciones de máxima verosimilitud, incluso en presencia de multicolinealidad o problemas de separación en los datos. Además, `glm()` ofrece herramientas de diagnóstico exhaustivas y estadísticas resumidas, como el Criterio de Información de Akaike (AIC) para la selección de modelos y pruebas de Wald para evaluar la hipótesis de los coeficientes, fundamentales para analizar el ajuste del modelo y la relevancia de los predictores.

El modelo de regresión logística ajustado con `glm()` puede ampliarse fácilmente para incluir términos de interacción y polinomiales, lo que permite modelar relaciones complejas entre variables (Agresti, 1996). También admite la inclusión de pesos, útil cuando las observaciones requieren ponderaciones diferentes. Esta adaptabilidad convierte a `glm()` en una herramienta poderosa para realizar análisis de regresión logística en datos dispersos y discontinuos como los de rayas.

### *Remuestreo del modelo logístico*

Para garantizar una evaluación robusta y prevenir el sobreajuste de los modelos logísticos, se utilizaron técnicas de remuestreo basadas en validación cruzada. Las técnicas de remuestreo son esenciales para evaluar el rendimiento de los modelos, ya que proporcionan una evaluación más representativa de cómo el modelo generaliza a datos no realizados y proporcionan intervalos de confianza y predicciones que son más robustos a la naturaleza de los datos.

En específico, la validación cruzada es útil en contextos con datos de alta dimensión/dispersión o cuando se manejan numerosos predictores. Esta técnica corrige el optimismo en la evaluación del rendimiento del modelo al utilizar los mismos datos de entrenamiento. Al aplicar el remuestreo para seleccionar el modelo óptimo, se garantiza que el modelo muestre un buen desempeño con datos nuevos y no realizados. Además, el remuestreo es eficaz para identificar y reducir el sobreajuste, que puede resultar en un rendimiento deficiente con datos nuevos. El sobreajuste se produce cuando un modelo captura el ruido o las fluctuaciones aleatorias en los datos de entrenamiento en lugar de reflejar la distribución subyacente de éstos (Hastie et al. 2009).



Se implementó un método de validación cruzada para evaluar los modelos de regresión logística previamente indicados. La evaluación se realiza mediante el muestreo repetido de los datos con reemplazo para crear múltiples conjuntos de entrenamiento y validación. Para esto, se dividió el conjunto de datos en  $k$  subconjuntos, donde el modelo se entrena (o ajusta) en  $k - 1$  subconjuntos y se valida (o contrasta) en el subconjunto restante. Este proceso se repitió  $m$  veces, siendo cada subconjunto el grupo de validación. Varias métricas de rendimiento, como puntuación Brier, sensibilidad, especificidad y el área bajo la curva característica operativa del receptor (AUC-ROC) se promediaron a través de todos los subconjuntos para estimar el rendimiento predictivo y la variabilidad del modelo. Se utilizó la función `bootstraps()` del paquete `rsample` para obtener  $m$  réplicas de los datos.

La validación cruzada ayuda a asegurar que el rendimiento del modelo no sea demasiado optimista debido a los datos de entrenamiento, ya que evalúa el modelo en múltiples subconjuntos de los datos, estimando así la variabilidad de los parámetros del modelo y las métricas de rendimiento (Kuhn & Johnson, 2013). Esta técnica tiene como objetivo optimizar los parámetros de regularización y elegir el modelo que alcanza el equilibrio óptimo entre sesgo y varianza, mejorando así su capacidad de generalización a nuevos datos (James et al. 2013).

### *Clasificación de predictores*

Se utilizó una metodología de clasificación basada en árboles utilizando bosques aleatorios para modelar la relación entre los predictores y la respuesta binaria maduro versus inmaduro. Los bosques aleatorios son una técnica de modelado efectiva que ofrece mayor flexibilidad en comparación con los modelos de regresión logística tradicionales (Breiman, 2001). Como un modelo de conjunto, un bosque aleatorio consiste en un gran número de árboles de decisión, donde cada árbol se entrena en una versión ligeramente diferente de los datos de entrenamiento. Cada árbol aprende una secuencia de reglas de división para hacer predicciones, y la agregación de estos árboles individuales resulta en un modelo robusto y estable que es de naturaleza no lineal (Kuhn & Johnson, 2013).

Una de las principales ventajas de usar bosques aleatorios es su capacidad para manejar una amplia variedad de tipos de predictores, incluyendo variables dispersas, sesgadas, continuas y categóricas, con un mínimo preprocesamiento. Esto los hace particularmente adecuados para conjuntos de datos complejos donde los modelos tradicionales podrían tener dificultades (Wright & Ziegler, 2017). La naturaleza de conjunto de los bosques aleatorios les permite capturar patrones intrincados en los datos, lo que lleva a un rendimiento predictivo mejorado sobre los árboles de decisión individuales.

Para construir y optimizar el modelo de bosque aleatorio sobre los atributos reproductivos maduro versus inmaduro, el análisis se centró en ajustar dos hiperparámetros que influyen el rendimiento del modelo: (i) el número de árboles en el bosque y (ii) el número de características consideradas para la división en cada nodo. Aunque los hiperparámetros por defecto a menudo producen resultados razonables, el ajuste fino de estos parámetros puede mejorar la precisión del modelo y sus capacidades de generalización. Ya que los bosques aleatorios pueden ser computacionalmente intensivos para entrenar y ajustar, se implementó el algoritmo `ranger`, que proporciona una implementación eficiente de bosques aleatorios con soporte integrado para procesamiento paralelo (Wright & Ziegler, 2017). Este permitió utilizar múltiples núcleos, reduciendo significativamente el tiempo de entrenamiento sin la necesidad de herramientas de paralelización externas.

Posterior a la selección del modelo logístico específico respaldado por la validación cruzada, se empleó un único conjunto de validación para medir el rendimiento del modelo, optimizando de esta forma la carga computacional. Esta estrategia facilitó la construcción eficiente de un modelo robusto de bosque aleatorio, garantizando que el modelo logístico final fuera preciso y escalable.

### 5.3.3. Indicadores Reproductivos

En la oferta técnica se propuso un análisis de la condición reproductiva de cada recurso en escala temporal (trimestral) y espacial (puerto de desembarque seleccionados según objetivo específico 1). No obstante, dado la baja y dispersa

actividad extractiva en esta pesquería, desafortunadamente no se logró coleccionar suficientes ejemplares para cumplir con esta resolución temporal y espacial. Por lo tanto, las muestras coleccionadas fueron analizadas solo a escala estacional. Para cada individuo  $i$  se determinó tres indicadores biológicos, tales como el índice hepatosomático (IHS), el índice gonadosomático (IGS) y factor de condición relativo (Le Cren, 1951), definidos como:

$$\mathbf{IHS}_i = PH / PE \times 100; \mathbf{IGS}_i = PG / PE \times 100; \mathbf{K}_i = PE / (\alpha LT^\beta)$$

donde PH es el peso del hígado, PE, peso eviscerado, PG, peso de la gónada, LT, longitud total,  $\alpha$  es el intercepto y  $\beta$  la pendiente de la relación longitud-peso.

La proporción de estadios de madurez sexual macroscópica (EMS) fue evaluada para determinar la incidencia estacional de los individuos maduros en el área de estudio.

### **Estimación de la madurez a la talla en raya volantín**

Dado que el objetivo específico 3 requiere identificar la estación reproductiva, también es importante señalar que debe estar complementada con la talla de madurez sexual bajo el supuesto que los individuos tienen que desovar al menos una vez en su vida antes de ser capturados. Ambos criterios (i.e. estación de desove y ojiva de madurez) son esenciales para revisar la veda biológica decretada actualmente para ambas especies de rayas. Si bien, en la oferta técnica se propuso determinar la madurez a la talla de machos mediante regresión segmentada, en este estudio también incluimos la estimación de la ojiva de madurez basada en la escala macroscópica de ambos sexos. Sin embargo, en esta sección solo se analizó la dinámica reproductiva de raya volantín por tener un mayor tamaño de muestra en comparación a la raya espinosa, donde se obtuvieron muy pocos ejemplares.

### **Ojiva de madurez en raya volantín**

La ojiva de madurez aplicada a la proporción madura a la talla ( $P_{LT}$ ) determinada por macroscopía fue ajustada mediante un Modelo Lineal Generalizado (GLM). La proporción de individuos maduros modelado se describe como:

$$P_{LT} = \frac{1}{1 + e^{(\beta_1 + \beta_2 \times LT)}}$$

donde  $\beta_1$  y  $\beta_2$  son parámetros de intercepto y pendiente, respectivamente.

La talla media de madurez ( $LT_{50}$ ), definida como la talla a la cual el 50% de los individuos se encuentran maduros, fue calculada  $P_{LT}=0.5$  como:

$$LT_{50} = -\frac{\beta_1}{\beta_2}$$

Los coeficientes que definen la proporción madura fueron estimados usando máxima verosimilitud y asumiendo una distribución binomial del error por la naturaleza binaria de la data de madurez (Welch & Foucher, 1988). La incertidumbre en la ojiva de madurez fue incorporada usando un método bayesiano del paquete sizeMat en R. El diagnóstico del modelo fue analizado usando pruebas de Kolmogorov-Smirnov (KS), dispersión y valores atípicos, junto con gráficos de residuos simulados frente a valores previstos utilizando el paquete DHARMA v0.4.7 del programa R (Hartig, 2020). Para la comparación de la ojiva de madurez entre sexo se usó la prueba de Wald.

### **Regresión segmentada de los clasper de machos de raya volantín**

Existe una herramienta analítica alternativa a la macroscopía para evaluar el desarrollo sexual de los machos. El cambio gradual del largo del clasper depende del desarrollo de los gametos y, por lo tanto, su medición puede proporcionar una señal morfométrica asociada con su estado de madurez. El método de regresión segmentada desarrollado por Muggeo (2003) se ha aplicado con éxito para determinar la madurez en elasmobranquios (Segura et al., 2013). Así, se aplicó la regresión segmentada para identificar cambios abruptos o puntos de quiebre (PQ) en las relaciones entre la longitud total (LT) y la longitud del clasper de raya volantín, suponiendo que los valores PQ reflejan la LT en la que se produce la transición a la madurez de los individuos.

De forma esquemática (**Figura 9**), se espera que cambios en el desarrollo generen cambios en las tasas de crecimiento relativo de los órganos reproductivos. En una primera fase, con organismos juveniles inmaduros, el crecimiento es lento y continuo. Luego comienza una etapa de rápida madurez, donde se registran cambios abruptos en el crecimiento (maduración), para luego llegar a una fase de crecimiento lento o ausencia de crecimiento (organismos maduros). Esta estimación permite diferenciar con precisión las diferentes etapas (**Figura 9**) y ha sido utilizada para estimar estadios de madurez en varias especies de tiburones (Segura et al. 2013; Fernández-Carvalho et al. 2015; ICCAT 2017).

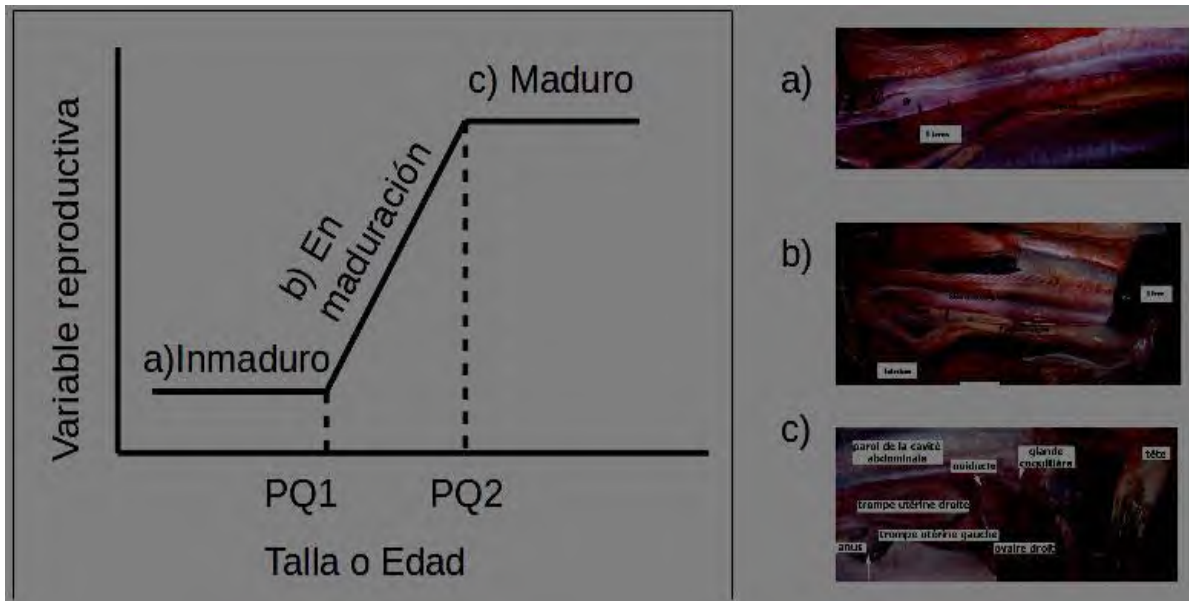
Como variable explicativa se utilizó a la LT (cm) en todos los casos. El modelo propuesto se describe de la siguiente forma:

$$Y = \alpha_1 + \beta_1 LT \quad \text{si } LT < PQ_1$$

$$Y = \alpha_2 + \beta_2 LT \quad \text{si } PQ_1 \leq LT < PQ_2$$

$$Y = \alpha_3 + \beta_3 LT \quad \text{si } LT \geq PQ_2$$

donde Y es la variable de respuesta (o longitud del clasper),  $\alpha_{1-3}$  son los interceptos,  $\beta_{1-3}$  son las pendientes y  $PQ_{1-2}$  son los puntos de quiebre del modelo (Segura et al. 2013).



**Figura 9.** Esquema de la respuesta de las variables reproductivas en función de la talla o edad. Se marcan los puntos de quiebre (PQ). El primero representa el inicio de la madurez y el segundo está asociado a una madurez completa.

Los modelos de regresión segmentada se implementaron utilizando el paquete segmented v2.1-3 (Muggeo, 2008) del programa R. La selección del modelo se realizó utilizando el criterio de información de Akaike (AIC), y la significancia en las diferencias entre las pendientes se evaluó mediante la prueba de David bajo la hipótesis nula que las diferencias entre pendientes ( $\beta$ ) son iguales a cero, indicando que no hay PQ (Muggeo 2008). Se calcularon los intervalos de confianza del 95% para cada parámetro estimado y los coeficientes de determinación ( $r^2$ ) para evaluar la bondad de ajuste de los modelos. Se consideró que existieron diferencias entre los dos modelos cuando existe una diferencia mayor a dos unidades de AIC entre ambos (Burnham & Anderson, 2002).

Además, la regresión segmentada entre la longitud total y longitud del clasper obtenida en este proyecto (FIPA 2023-26) fue comparada con las medidas morfométricas de raya volantín capturada en la zona centro sur y la Patagonia norte y sur reportada por Licandeo et al. (2006) y Licandeo & Cerna (2007). Dado que no se dispuso de los datos de aquellos estudios, en este caso fueron extraídos desde los gráficos utilizando el paquete digitize v4.3.3 (Poisot, 2011) del programa R. Esta función implica tres pasos: (a) cargar la figura (JPEG, PNG o BMP) en la ventana;

(b) calibrar los ejes del gráfico seleccionando dos puntos conocidos en cada eje (x e y); e (c) importar los datos señalando y haciendo clic en el gráfico, lo que da como resultado un marco de datos con dos columnas (x e y) que contienen los valores escalados para cada punto en el que se ha hecho clic en la figura original (Poisot, 2011). Finalmente, se aplicó la regresión segmentada a esa información para identificar PQ siguiendo el procedimiento previamente señalado.

## **Modelación de la condición reproductiva de raya volantín con Machine Learning**

A partir de las muestras colectadas en el presente proyecto se modelaron variables reproductivas representativas de cada sexo de raya volantín, tales como el índice gonadosomático de las hembras y el índice de clasper (i.e. la razón entre la longitud del clasper y longitud total) de los machos. En esta sección, se seleccionó Random Forest (RF) de Machine Learning (Aprendizaje Automático) dado que resultó una herramienta ideal y flexible que no requiere de supuestos estadísticos clásicos (e.g., la colinealidad, normalidad, etc). Además, ha sido aplicado exitosamente en modelar la CPUE y esfuerzo de pesca en la pesquería de raya volantín (Wiff et al., 2022).

Este algoritmo RF fue implementado con el aprendizaje supervisado, es decir, intervenimos para indicarle que la matriz de datos tiene una variable respuesta (Y) y predictores (X), tal que el modelo es entrenado para predecir (Breiman, 2001). RF ensambla la variabilidad de árboles de decisión, alterando la construcción de cada uno de ellos mediante la selección aleatoria, tanto de los datos como de los predictores, cuyos árboles resultantes se combinan para construir la decisión final con un alto poder predictivo (Genuer and Poggi, 2020). Esto la convierte en una herramienta no paramétrica muy atractiva por su simplicidad e interpretación.

En este proyecto, un RF de regresión fue usado con el paquete randomForest v.4.6-14 (Liaw y Wiener, 2002) del programa R, dado que las variables respuesta índice gonadosomático y el índice de clasper son continuas. En el caso de las hembras, los predictores categórico fueron el estadio de madurez macroscópica y la estación del año, mientras que los predictores continuos fueron la longitud total, el índice hepatosomático y el factor de condición. En el caso de los machos, los predictores

fueron los mismos, excepto el índice hepatosomático que no pudo ser medido en terreno.

El error out of bag (OOB) evaluó la calidad de los modelos de regresión. Este es un tipo de validación cruzada que cuando alcanza el valor mínimo y la estabilización del error OOB determina el número de predictores aleatorio seleccionado al azar para la construcción de un árbol y la cantidad de árboles de decisión para el ensamble, respectivamente.

Para la estimación del OOB, un proceso de muestreo aleatorio con reemplazo (bootstrap) utiliza el 2/3 de las observaciones para la construcción de un árbol único y así ajustar el modelo. Los datos restantes (1/3) son muestras OOB que se utilizan para calcular el error del árbol. La estimación OOB de cada bosque aleatorio (i.e., bosque con diferente número de árboles) es la tasa de error media de todos los árboles. Además, la varianza explicada por el RF de regresión fue el otro indicador usado para seleccionar el modelo óptimo.

La importancia relativa de las variables que influyen en la predicción fue determinada mediante permutaciones sin reemplazo. Este método baraja de los valores de un predictor de la muestra OOB (denominado “schuffling”), dejando intacto los valores de las restantes variables. Este procedimiento estima OOB y determina qué tan imprecisa resulta la predicción del modelo, o en otras palabras que tanto pierde el modelo RF al excluir un predictor específico, jerarquizando su importancia o influencia en la predicción de la variable respuesta.



## **Comparación de la estación reproductiva entre raya volantín y raya espinosa**

En la oferta técnica se propuso comparar los indicadores biológicos y la modelación de la madurez entre ambos recursos de elasmobranquios para probar posibles diferencias de la estación reproductiva, así como también identificar el periodo de mayor vulnerabilidad. No obstante, no se logró cumplir con este propósito por factores exógenos al proyecto, tales como la baja actividad extractiva por la condición de cada recurso, el bajo poder de compra (demanda) y condiciones climáticas que limitaron coleccionar un número representativo de cada recurso.

### 5.3.4. Revisión bibliográfica

Se realizó una revisión bibliográfica en rayas para evaluar la estrategia reproductiva y los distintos tipos de estrategias de manejo que se aplican en estas especies alrededor del mundo. Esta revisión tuvo como objetivo servir como soporte a las recomendaciones de manejo emanadas en este estudio.

## 6.- RESULTADOS

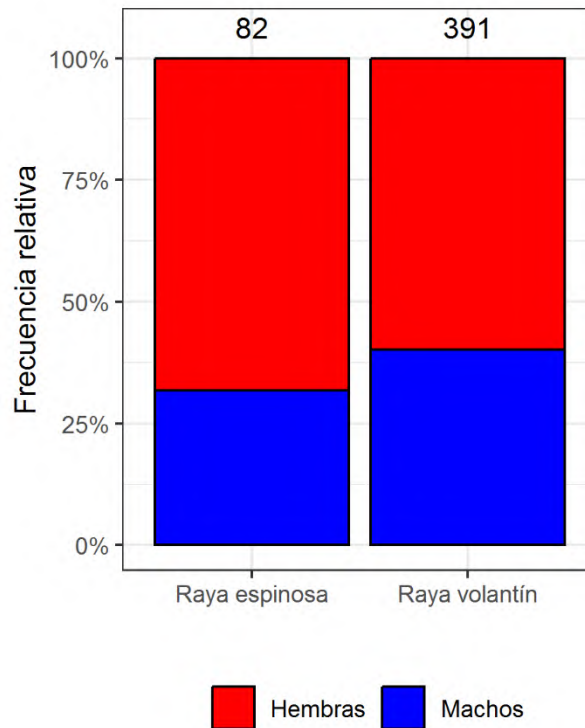
### 6.1- OBJETIVO ESPECIFICO 1: “Caracterizar el ciclo reproductivo de los recursos raya volantín y raya espinosa.”

Para el muestreo biológico, un total de 473 ejemplares de raya volantín y raya espinosa fueron colectados aleatoriamente por Observadores Científicos (OC) de CAPES-UC desde abril 2024 hasta abril 2025. El 3,6% de los ejemplares fueron capturados en la región del Biobío, 63,6% provienen de la región de los Lagos y el 32,8% de la Región de Aysén (**Tabla 3**). Además, el 83% y 17% de los individuos fueron raya volantín y raya espinosa, respectivamente (**Tabla 3**). El número de ejemplares muestreados responde a una actividad operacional compleja en la escala temporal y espacial, en la cual la cuota de captura de otoño se consumió en un período muy acotado (una semana) en la región de los Lagos, mientras que el incremento del muestreo biológico en algunas estaciones y regiones estuvo asociado a pesca de investigación. Debido a lo anterior, la información biológica fue agrupada para evaluar sólo la variabilidad temporal de cada recurso.

**Tabla 3.** Número de ejemplares colectados para el *muestreo biológico* de raya volantín y raya espinosa por región y estación.

Región	Estación	Fuente muestreo	Raya espinosa	Raya volantín	Total
Biobío	Otoño (Abril 2024)	Comercial	-	17	17
	Otoño (Abril 2024)	Comercial	5	62	67
Los Lagos	Primavera (Noviembre 2024)	Pesca investigación	3	124	127
	Verano (Febrero 2025)	Pesca investigación	5	102	107
Aysén	Invierno (Julio 2024)	Comercial	59	40	99
	Otoño (Abril 2025)	Pesca investigación	10	46	56
	Total		82	391	473

En ambas especies de elasmobranquios, hubo un predominio de hembras en el muestreo biológico (**Figura 10**). En raya espinosa, el 68% de los individuos fueron hembras, variación que fue significativa ( $p=1,2e-03$ ), señalando que por cada macho hubo tres hembras en las capturas. En raya volantín, el 60% de los individuos colectados fueron hembras, variación significativa ( $p=1,2e-04$ ) indicando que por cada macho capturado hubo dos hembras.



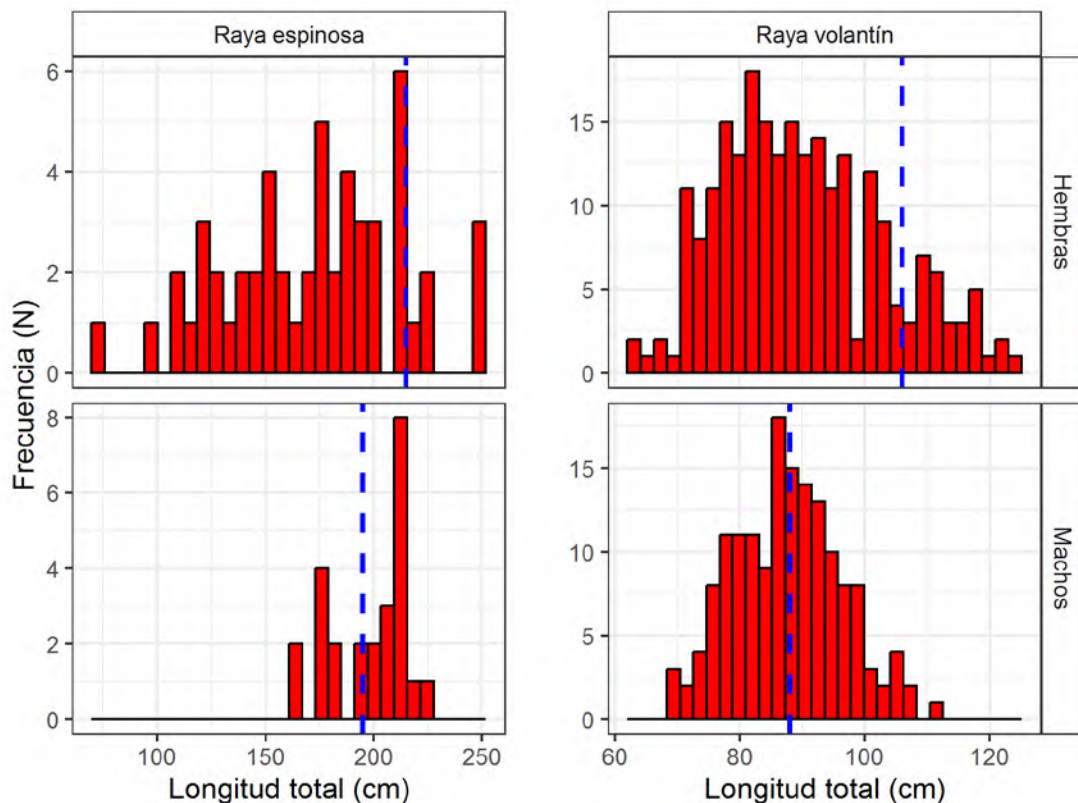
**Figura 10.** Proporción sexual observada de raya espinosa y raya volantín colectados desde abril 2024 hasta abril 2025.

A un total de 469 ejemplares se les midió la longitud total (LT), dado que 4 tuvieron la cola cortada. La composición de tallas de los ejemplares abarcó desde 75 hasta 251 cm LT en raya espinosa y desde 64 hasta 125 cm LT en raya volantín (**Tabla 4** y **Figura 11**). En raya espinosa, el tamaño promedio de los machos fue de 198 cm LT, mientras que las hembras midieron en promedio 173 cm LT. Además, el 36% y 87% de los machos y hembras, respectivamente, midieron por debajo de 195 y 215 cm LT de la talla media de madurez estimada por otras fuentes ( $L_{50}$  = talla la cual el 50% de los individuos son maduros). En raya volantín, el tamaño promedio de los machos fue 88 cm LT, mientras que las hembras midieron en promedio 90 cm LT.

Además, el 49% y 87% de los machos y hembras midieron por debajo de la L<sub>50</sub> de 88 y 106 cm LT, respectivamente (**Figura 11**).

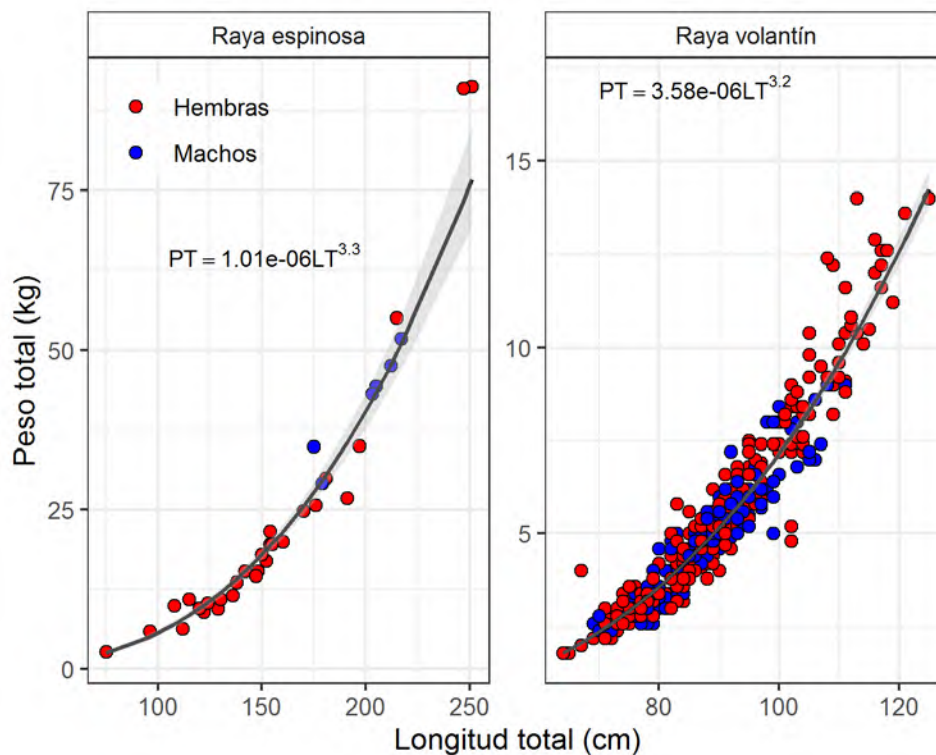
**Tabla 4.** Resumen estadístico descriptivo de la composición de talla (LT, cm) de raya espinosa y raya volántin. N, número de ejemplares; d.e., desviación estándar.

Especie	Sexo	N	Mediana	Media (d.e.)	Rango
Raya espinosa	Machos	25	205	198 (17)	165-224
	Hembras	53	177	173 (41)	75-251
Raya volántin	Machos	157	88	88 (9)	69-111
	Hembras	234	89	90 (13)	64-125



**Figura 11.** Composición de tallas por sexo de raya espinosa y raya volántin colectadas entre abril 2024 y abril 2025. Línea vertical discontinua corresponde L<sub>50</sub> estimada por diferentes fuentes.

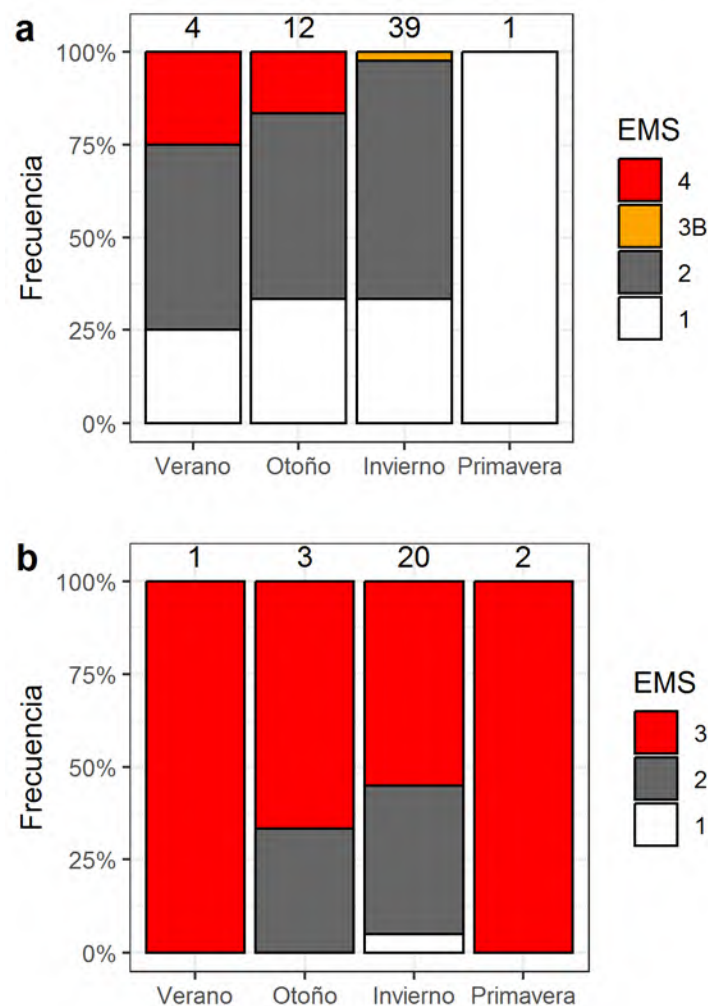
Los pesos a una talla específica se solaparon entre sexos, lo cual indicaría que no habría diferencia, pero lamentablemente por los escasos registros no se ajustó la relación longitud-peso para cada sexo (**Figura 12**). Los coeficientes fueron significantes ( $p < 0.05$ ), cuyo modelo explicó el 97% y 90% de la variabilidad del peso total ( $r^2$ ) en raya espinosa y raya volantín, respectivamente. Además, la relación fue isométrica, es decir, la pendiente no varió significativamente de 3 en ambas especies ( $p > 0,05$ ).



**Figura 12.** Relación longitud-peso de raya espinosa y raya volantín colectadas. El área sombreada corresponde el intervalo de confianza al 95%. Los coeficientes fueron significantes ( $p < 0,05$ ).

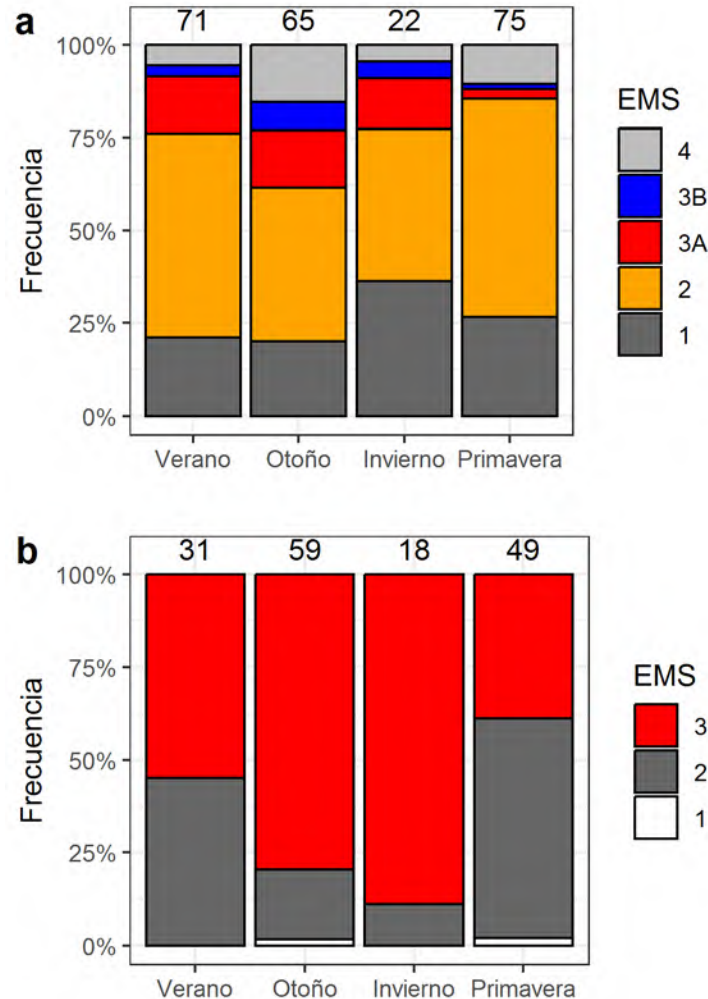
En raya espinosa, a un total de 82 ejemplares se evaluó su condición reproductiva basada en macroscopía, siendo 56 hembras y 26 machos (**Figura 12**). En el verano se registró el estadio de madurez sexual (EMS) de 4 hembras, de las cuales 3 tuvieron gónadas en EMS 1 y 2. En otoño, el 83% de las hembras presentaron EMS 1 y 2, mientras que el restante 17% exhibieron gónadas desovadas (EMS 4). En invierno se colectaron 39 hembras, de las cuales el 97% fueron EMS 1 y 2. Además, una sola hembra se encontró madura con presencia de cápsula de huevos en el

útero. En primavera se colectó una hembra inmadura o EMS 1 (**Figura 13a**). En el caso de los machos, la mayoría de los ejemplares colectados (>50%) estuvieron maduros o EMS 3 en las cuatro estaciones del año, mientras que 8 ejemplares (40%) colectados en invierno tuvieron clasper en estadio de madurez sexual 2 o sub-adolescente (**Figura 13b**). No obstante, la variación estacional de la madurez de ambos sexos de este recurso se debe tomar con cautela por el bajo tamaño de la muestra condicionada por las operaciones de pesca y baja cuota de captura.



**Figura 13.** Variación estacional de la condición reproductiva de las hembras (a) y machos (b) de raya espinosa. El número sobre cada barra corresponde la cantidad de individuos analizados. EMS, estadio de madurez sexual macroscópico.

La **Figura 14** muestra la variación estacional de la condición de madurez sexual macroscópica de 233 hembras y 157 machos de raya volantín. Durante todo el periodo de estudio hubo un predominio de ovarios en estadio de madurez 1 y 2 (>60%). Mientras que la presencia de hembras maduras activas (i.e. EMS 3A y 3B) se registró en todas las estaciones del año, pero con mayor ocurrencia entre verano e invierno (>17%). Las hembras desovadas (EMS 4) se observaron durante todo el periodo, pero siendo más frecuentes en otoño y primavera, representando el 15% y 11% de las muestras colectadas, respectivamente (**Figura 14a**). En el caso de los machos, la mayoría de los ejemplares analizados entre verano e invierno tuvieron clasper maduros o EMS 3 (>50%), mientras que el 59% de aquellos colectados en primavera fueron machos adolescentes o EMS 2 (**Figura 14b**). Solamente se identificaron dos machos juveniles, cada uno colectados en otoño y primavera. En general, la persistente presencia de hembras maduras, incluso con cápsulas de huevos en el útero (EMS 3B) y machos maduros en el muestreo de las cuatro estaciones, indicaría que la raya volantín se reproduce durante todo el año con periodo de mayor actividad reproductiva concentrada entre verano e invierno.

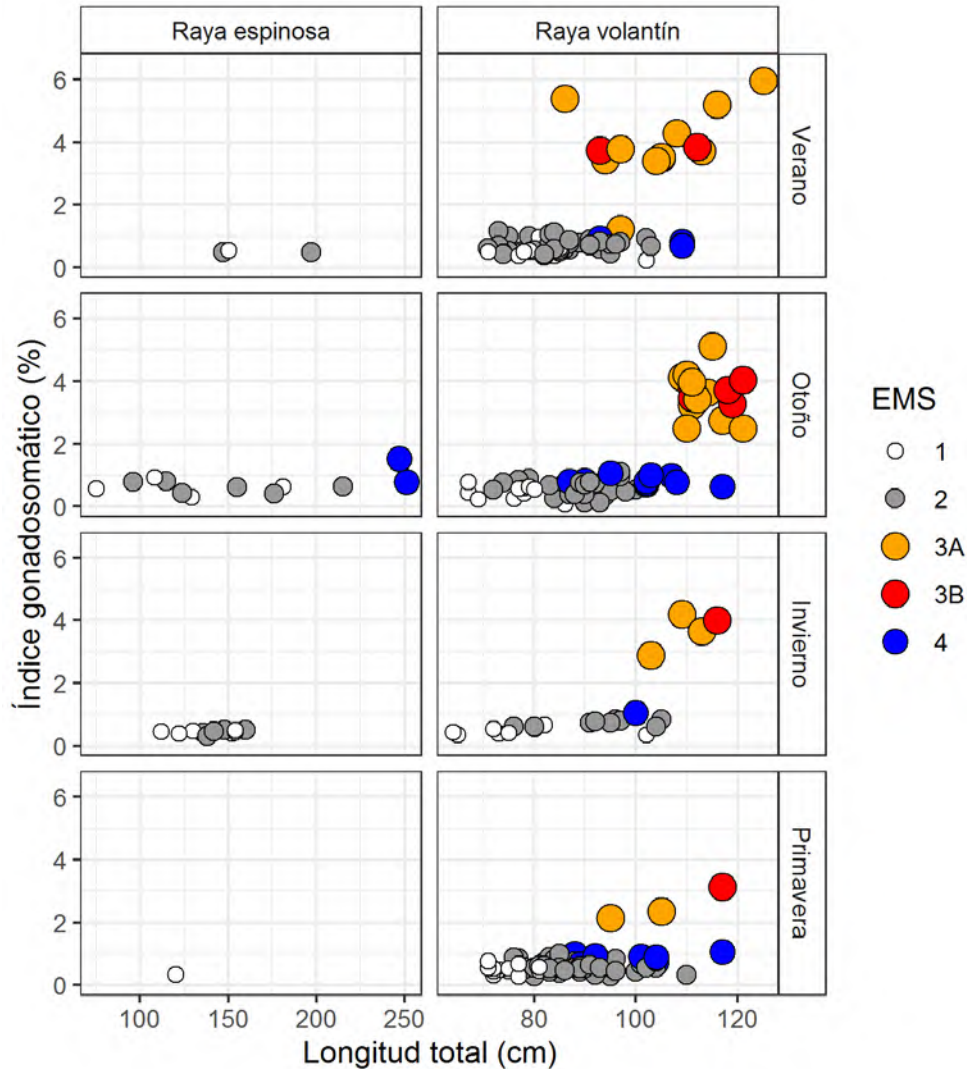


**Figura 14.** Variación estacional de la condición reproductiva de hembras (a) y machos (b) de raya volantín. El número sobre cada barra corresponde la cantidad de individuos analizados. EMS, estadio de madurez sexual macroscópico.

El índice gonadosomático (IGS) fue calculado para 255 hembras, de las cuales 11% y 89% fueron raya espinosa y raya volantín, respectivamente. Los valores del IGS del EMS 1 (inmaduro) y 2 (en desarrollo) fueron inferiores a 2% (promedio <0,7%), los que se mantuvieron estables para un amplio rango de talla en ambas especies (**Figura 15**). En raya volantín, la hembra madura (EMS 3A) más pequeña colectada en el verano midió 86 cm LT y tuvo un IGS de 5,4%, mientras que la mayoría en condición madura activa (i.e. EMS 3A y 3B) midieron más que 93 cm TL con valores de IGS que abarcaron entre el 2% y 6% (promedio >3%). Las hembras maduras inactivas (EMS 4) de raya volantín y raya espinosa midieron entre los 87-117 y 247-



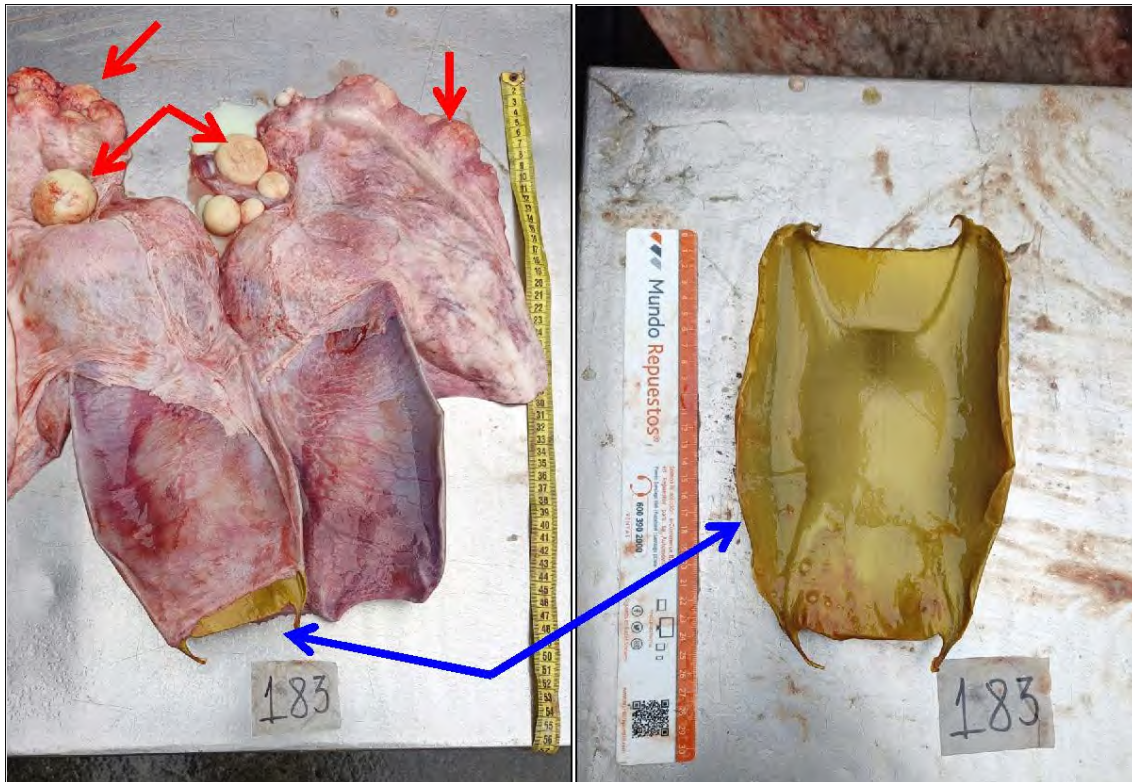
251 cm TL, respectivamente. Además, los valores del IGS fueron inferiores al 1,5% (Figura 15).



**Figura 15.** Variación estacional del índice gonadosomático (%) por longitud total y estadio de madurez sexual de las hembras de raya espinosa y raya volantín. EMS, estadio de madurez sexual macroscópico.

Un aspecto relevante de mencionar sobre el muestreo biológico es el escaso registro del peso total y eviscerado de los individuos de raya espinosa, dado que son de gran tamaño comparativamente. Aun así, una hembra de 250 cm LT con ovario en estadio maduro 3B fue colectada en invierno, caracterizada por la presencia de cápsula de

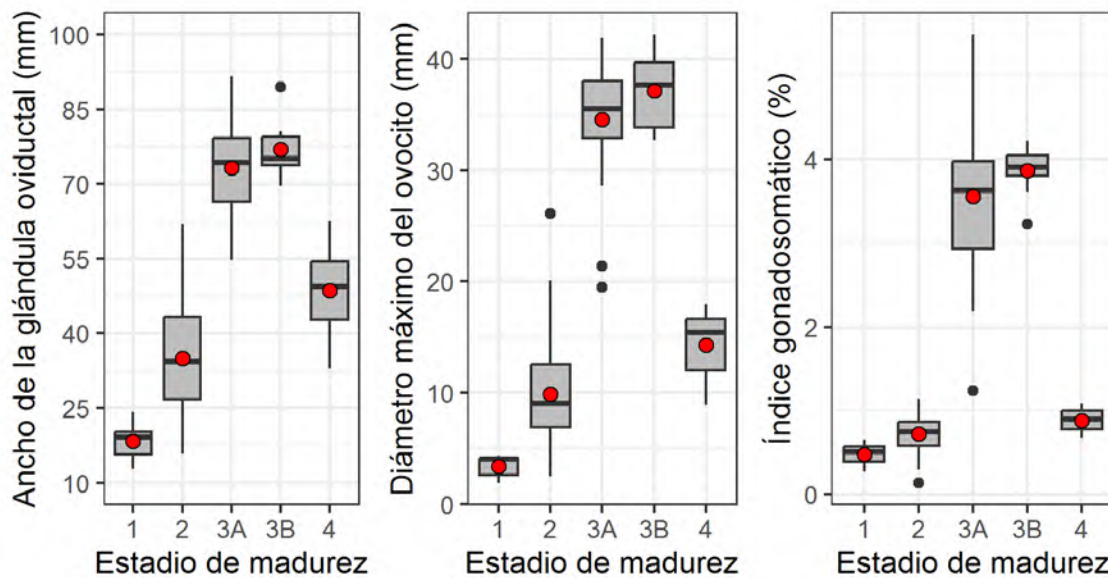
huevo, pero gónada con escasos ovocitos vitelados y lóbulos flácidos, probablemente con la última tanda de deposición (**Figura 16**).



**Figura 16.** Ovario en estadio 3B de una raya espinosa de 250 cm LT colectada en invierno. La flecha roja indica los ovocitos vitelados y la flecha azul la cápsula de huevo. El número corresponde el código de identificador único del individuo.

La **Figura 17** y **Figura 18** describen algunas características adicionales de la condición reproductiva de 108 hembras de raya volantín. En este caso se excluyó la raya espinosa por su bajo número de ejemplares colectados. En raya volantín, los tres índices biológicos evolucionaron en correspondencia al desarrollo gonadal macroscópico de las hembras. El ancho promedio de la glándula oviductal fue inferior a 35 mm en los EMS 1 y 2, alcanzando tamaños superiores a 55 mm en gónadas maduras activas, cuyo promedio fue 73 y 77 mm en EMS 3A y 3B, respectivamente. En hembras desovadas (EMS 4), el tamaño de la glándula oviductal declinó notoriamente, alcanzando un promedio de 49 mm de ancho, aunque éste fue mayor en comparación a los EMS 1 y 2 (**Figura 17**). El diámetro máximo del ovocito fue inferior a los 20 mm en las gónadas en EMS 1 y 2, cuyo promedio alcanzó los 3 y 10

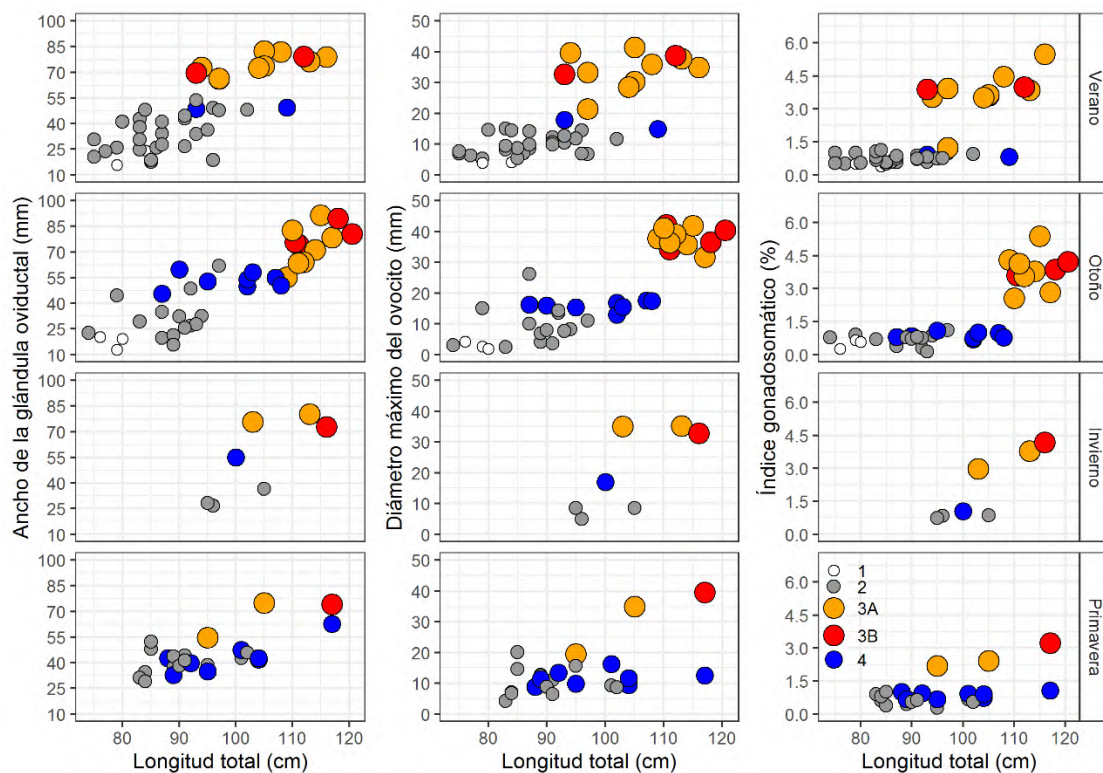
mm, respectivamente. En hembras maduras activas (EMS 3A y 3B), el promedio del diámetro máximo de los ovocitos superó los 33 mm, posteriormente este tamaño declinó a los 14 mm en hembras desovadas (EMS 4), pero siendo mayor que lo observado en los EMS 1 y 2 (**Figura 17**). El IGS promedio fue 0,5% en EMS 1 y 0,7% en EMS 2, promedio que incrementó notoriamente hasta alcanzar valores superiores a 3,3% en las hembras maduras activas 3A y 3B, índice que posteriormente declinó hasta 0,9% en las hembras desovadas (**Figura 17**).



**Figura 17.** Variación del ancho de la glándula oviductal, tamaño máximo del ovocito e IGS por estadio de madurez sexual macroscópica de las hembras de raya volantín. Círculo rojo corresponde el promedio. Línea negra horizontal del boxplot corresponde a la mediana.

La variación de los valores de estos tres índices reproductivos mostró un correlato positivo con la longitud total de la hembra y estacionalmente similares (**Figura 18**). Debemos señalar que el escaso registro en la estación de invierno se debió a la dificultad de medir la glándula oviductal y los ovocitos en gónadas deterioradas. La glándula oviductal más pequeña (<30 mm) estuvo asociada principalmente a hembras en desarrollo (EMS 2) inferiores a 90 cm LT. Las glándulas que midieron entre los 30 y 60 mm de ancho fueron similares para las hembras en EMS 2 y 4, cuya LT de las hembras abarcó desde los 85 hasta 105 cm. Las hembras maduras activas (EMS 3A y 3B) con glándula oviductal superior a los 55 mm midieron entre los 90 y 120 cm LT (**Figura 18**). El diámetro máximo del ovocito más pequeño (<10 mm) se

observó principalmente en hembras en EMS 1 y 2 menores a 90 cm LT colectadas en las cuatro estaciones. Las hembras desovadas (EMS 4) entre los 85 y 110 cm LT tuvieron ovocitos máximos que midieron entre los 15 y 20 mm de diámetro. Mientras que la mayoría de las hembras maduras que midieron entre los 90 y 120 cm LT tuvieron ovocitos mayores a 25 mm de diámetro (**Figura 18**). Finalmente, el IGS mostró dos grupos en correspondencia al estadio de madurez gonadal y secundariamente al tamaño de las hembras (**Figura 18**). La mayoría de las hembras en EMS 1 y 2 con IGS inferiores al 1,2% fueron pequeñas (<85 cm LT), mientras que aquellas desovadas (EMS 4) con valores de IGS en torno al 1,1% midieron entre los 85 y 120 cm LT. La mayoría de las hembras maduras activas (EMS 3A y 3B) con IGS > 2% midieron entre los 90 y 120 cm LT. En general, los tres índices representados en la **Figura 17** y **Figura 18** revelaron que la condición reproductiva en hembras mayores a 90 cm LT es muy dinámica, donde el desarrollo gonadal puede atravesar entre el estadio en desarrollo (EMS 2), madura activa (EMS 3A y 3B) y desovada (EMS 4) a una misma talla, patrón observado en las cuatro estaciones.



**Figura 18.** Variación estacional del ancho de la glándula oviductal, tamaño máximo del ovocito e IGS con el estadio de madurez sexual macroscópica (EMS) y tamaño de las hembras de raya volántín.

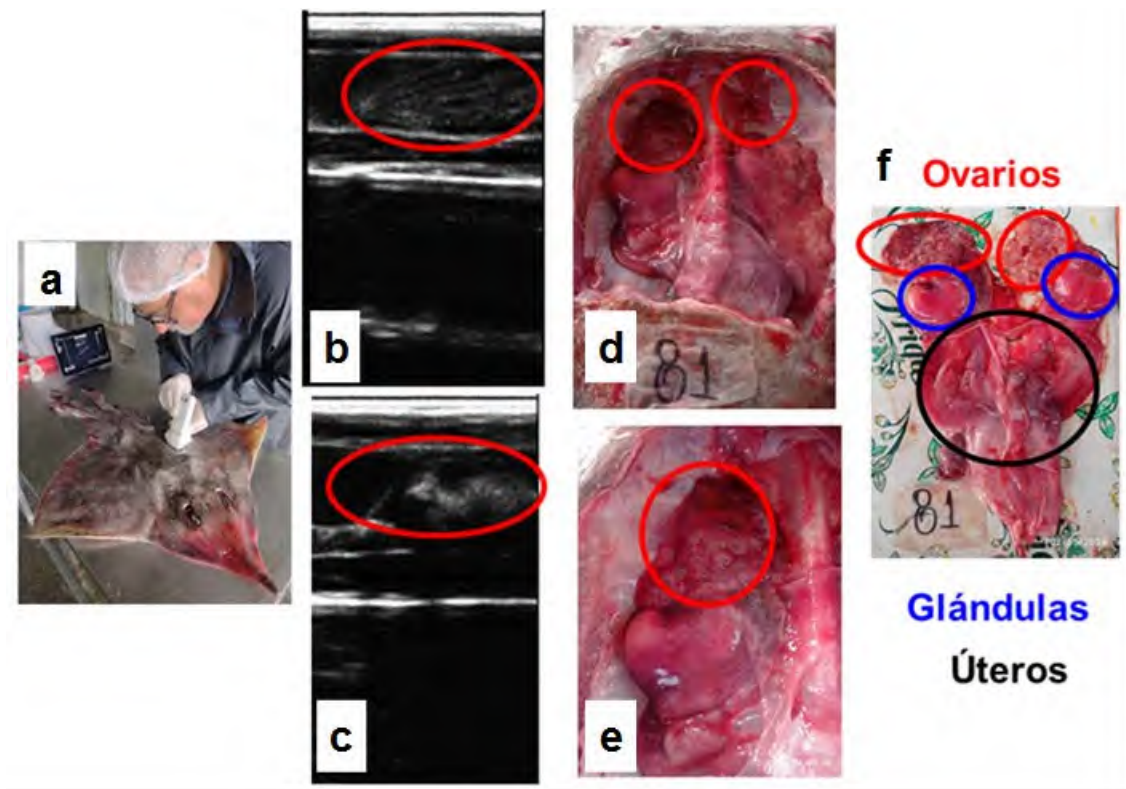
## 6.2- OBJETIVO ESPECIFICO 2: “Desarrollar e implementar un marco de monitoreo o de muestreo costo efectivo que abarque desde la región de Ñuble a la región de Magallanes.”

### 6.2.1. Limitaciones del uso del ecógrafo en el campo de estudio

A continuación, se describen observaciones sobre la experiencia al utilizar el ecógrafo de bolsillo en el campo de estudio:

- Se requiere un espacio adecuado y tiempo para la obtención de imágenes. Primero, la sonda no pudo ser aplicada en Lebu, porque la dinámica de desembarque de la captura es rápida, hacer el muestreo biológico y ecografía retrasa demasiado esa actividad. Además, aplicar esta sonda a bordo de la embarcación en el punto de recalada es difícil por su movimiento, se requiere un espacio estable para poner la Tablet y usar el ecógrafo. Por ese motivo este equipo pudo ser usado sólo en una planta de procesamiento (Pesquera Los Elefantes) de Dalcahue (**Figura 19a**).
- Otra observación obtenida con la ecografía tiene relación con el tiempo que consume su uso en un ejemplar. Por ejemplo, se realizó ecografía a 9 hembras, 5 en Lebu (otoño 2024) y 4 en Dalcahue (invierno 2024), con un promedio de 10 a 15 minutos requeridos para tener la imagen y respaldarla en la tablet, lo cual es bastante tiempo para cumplir con los demás requerimientos de datos biológicos como, las mediciones, pesaje, eviscerado, registrar fotos, etc. Además, el primer día se realizó un muestreo biológico a 22 ejemplares, de los cuales sólo a cuatro se aplicó la ecografía, toda la actividad duró 5 horas y 13 minutos, mientras que en otro día se logró realizar muestreo biológico a 29 individuos sin usar ecografía, demorando 4 horas y 29 minutos. Se debe tomar en cuenta que el 79% de los ejemplares pesaron más de 4 kilos, por lo tanto, la manipulación para hacer el muestreo biológico más ecografías resultó desgastante y poco práctico.

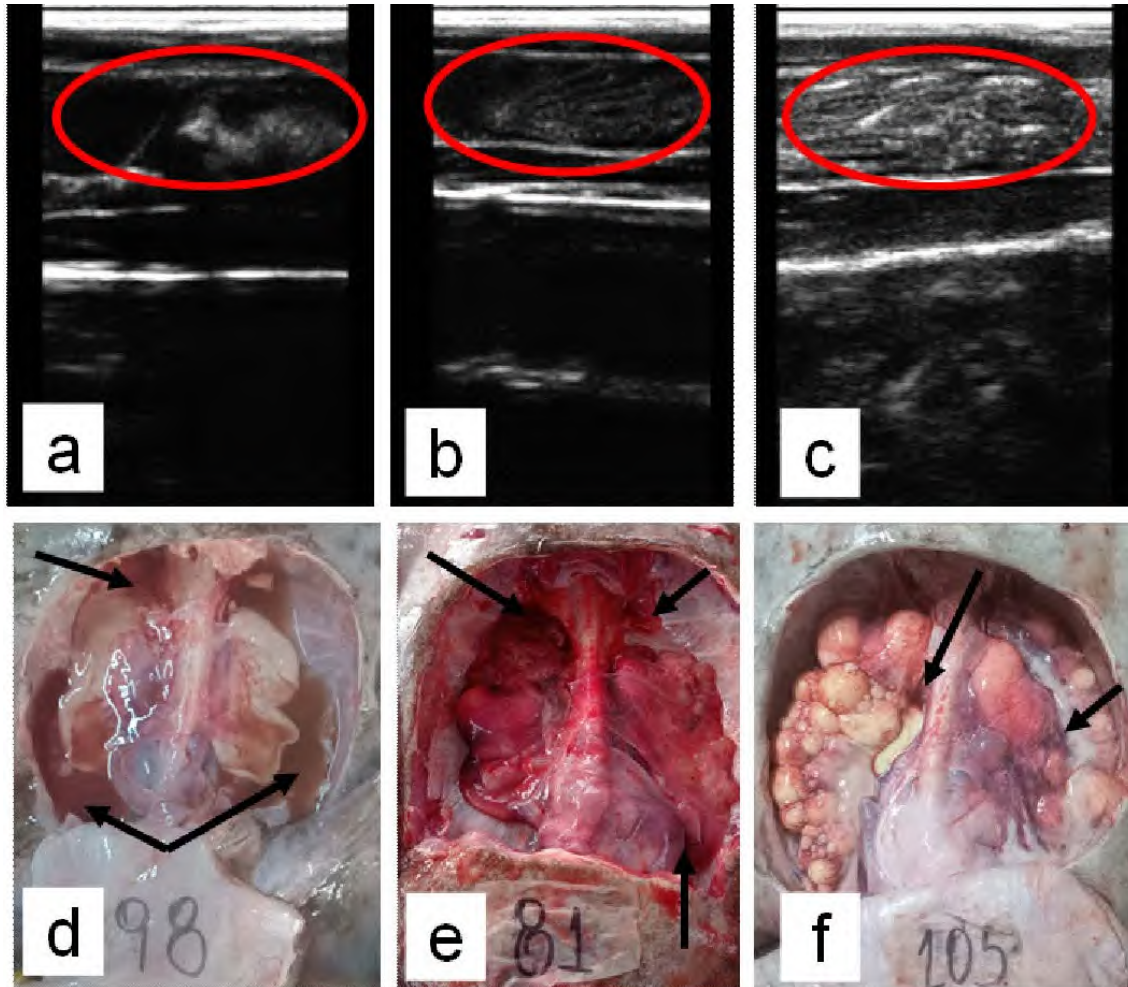
- Fue difícil localizar el ovario con la sonda, se obtuvieron imágenes difusas con zonas grisáceas y blanquecinas producto de vacíos o presencia de líquido (**Figura 19b-c**). A pesar que una hembra tuvo ovario con ovocitos vitelados de gran tamaño, glándulas oviductales bien desarrolladas y útero dilatado, estas partes no pudieron ser observadas claramente con el ecógrafo en la pantalla (**Figura 19d-f**).



**Figura 19.** Usando el ecógrafo en una hembra de raya volantín. Imágenes centrales son resultado de la ecografía y correspondientes ovarios.

Finalmente, el ecógrafo se utilizó en hembras de diferente estadio de madurez (**Figura 20**), sin embargo, fue muy difícil caracterizar los ovarios, tanto inmaduros (EMS 1) como maduros (EMS 3a y 4). En aquellas muestras, las imágenes fueron difusas, con presencia de burbujas, zonas blanquecinas o grisáceas, lo que generó más confusión que certezas sobre el desarrollo gonadal, tomando de 10 o 15 minutos por ovario para decidir qué imagen respaldar (**Figura 20a-c**). Las **Figuras 20d-f**

representan la apariencia macroscópica de las gónadas de las respectivas imágenes respaldadas (**Figura 20a-c**).



**Figura 20.** Imagen del ecógrafo de la gónada de tres hembras de raya volantín. Círculo rojo indica la posición del ovario. La imagen a-d, b-e y c-f corresponde un ovario inmaduro (estadio 1), desovado (estadio 4a) y maduro (estadio 3a), respectivamente. La flecha indica presencia de líquidos.

La presencia de líquidos o espacios en la zona ovárica puede ser explicada por el tiempo desde la captura del ejemplar. Es muy importante tener en cuenta que las gónadas son órganos muy sensibles al proceso de deterioro post-mortem del ejemplar, la tasa de desorganización celular es rápida, por lo que puede ocurrir hasta en horas, llenándose de líquido intersticial, quedando flácido el órgano. Los ejemplares de raya volantín y raya espinosa llegaron al punto de desembarque cuatro días después de ser capturados, por lo tanto, las gónadas mostraron señales

de deterioro avanzado, incluso se deshicieron o disgregaron en la mano al momento de extraerlas desde la cavidad visceral. Por lo tanto, el ecógrafo no ha sido efectivo para determinar el desarrollo gonadal, incluyendo en hembras maduras (EMS 3a y 3b), a pesar que éstas últimas poseen ovarios de gran volumen con ovocitos bien desarrollados (> 3 cm de diámetro).

#### 6.2.2. Alternativa para la implementación de ultrasonido en la evaluación de la condición reproductiva de raya volantín y raya espinosa.

A pesar de las limitaciones del uso de la ecografía en el presente proyecto, esta técnica todavía tiene potencial para evaluar la condición reproductiva de elasmobranquios en terreno, particularmente para la identificación de hembras maduras activas, es decir, ovarios con folículos completamente vitelados (EMS 3A) y presencia de cápsula de huevos (EMS 3B). Sin embargo, su uso no sería recomendada para determinar la proporción madura a la talla, dado que requiere identificar con precisión cada estadio de madurez, cuya histología (ver sección Sobreoferta técnica) reveló que el EMS 2 está compuesto de una fase temprana previtelogénica y otra avanzada en vitelogénesis inicial con tamaños de ovocitos muy similares, que sería muy difícil distinguirlas con la ecografía. Sin embargo, se debe considerar el tiempo transcurrido desde la captura (4 días), hasta el procesamiento (ecografía), ya que como se explicó anteriormente, el deterioro de los órganos internos afecta la calidad de las imágenes que pueden ser obtenidas.

A continuación, se indican los requerimientos necesarios para asegurar su uso en terreno:

##### a) Aplicación en individuos vivos.

- La ecografía puede ser aplicada en individuos capturados vivos como parte de programa de marcaje-recaptura para monitorear su desarrollo gonadal entre las diferentes etapas de recapturas, tal como lo reportado en *Dipturus*



*intermedius* de las costas suroeste de Escocia (Thorburn et al., 2023). En este contexto, las actividades extractivas deben ser ejecutadas bajo una pesca de investigación, tal que permita adaptar el espacio a bordo de la embarcación para el uso del equipo y tiempo apropiado para manipular el individuo vivo (ecografía y marcaje) antes de devolverlo al mar. Paralelamente, se debiera usar la ecografía y realizar muestreo biológico en aquellos ejemplares no vivos para validar los registros visuales.

b) Aplicación en individuos post-mortem.

- El uso de la ecografía a bordo de la embarcación requiere que el ejemplar sea recientemente capturado, es decir, dentro del día, para evitar el deterioro de los órganos. Dada este corto tiempo de reposo del arte de pesca, esto implicaría que la actividad debe realizarse bajo la modalidad de pesca de investigación con las mismas condiciones señaladas en el punto anterior.
- No es recomendable el uso del equipo a bordo de la embarcación durante las actividades extractivas comerciales o bajo un programa de seguimiento, dado por a) la habitabilidad limitada para los equipos y personal, b) tiempo de reposo del arte de pesca que puede durar hasta 4 días, por lo tanto, se produce el deterioro de los órganos objetivos del estudio y c) el ritmo rápido de la faena de virado del arte de pesca, que requiere medidas de seguridad (e.g. evitar el contacto del equipo con el agua o humedad), lo que limita el tiempo requerido para evaluar la gónada de las hembras.
- El uso de la ecografía puede ser viable en plantas procesadoras, como la experiencia del personal del presente proyecto en la planta de Pesquera Los Elefantes de Dalcahue (**Figura 19**). Dado que las capturas llegan a la planta días antes del procesamiento, lo cual posibilita un tiempo razonable para aplicar el ecosonda y realizar el muestreo biológico en los ejemplares capturados, pero mantiene la limitante de que se requiere que no pase más de 1 día desde la captura de los ejemplares por su deterioro interno. Por lo tanto, una gestión previa entre la institución de investigación y la empresa

pesquera es importante para forjar alianza en implementar un programa o protocolo de investigación con la ecografía.

c) Personal encargado de usar la ecografía

- Es recomendable que la ecografía sea realizada por personal capacitado, por ejemplo, un veterinario. Requiere vasta experiencia para una mayor resolución visual y analítica en identificar órganos objetivos en un tiempo apropiado, sea ésta en la modalidad de pesca investigación o un programa de seguimiento de la pesquería.

d) Habitabilidad y equipo ultrasonido

- La habitabilidad requerida a bordo de las embarcaciones para aplicar el equipo de ultrasonido dependerá del tamaño del ejemplar capturado (**Figura 21**).



**Figura 21.** Muestreo biológico de raya volantín a bordo de la embarcación Don Mauricio en Lebu, Región del Biobío, Abril 2024.

- Si bien existe diferentes tipos de modelos de equipos de ultrasonido, se recomienda un ecógrafo de bolsillo (eg, KL-2) e inalámbrico (USB y Wifi) más una tablet para estudios reproductivos en elasmobranchios (**Figura 7**), tal como la usada en el presente proyecto, dado que no ocupa demasiado espacio (**Figura 19a**).

e) Propuesta económica referencial

- Materiales. En este ítem, el gasto fijo corresponde a la adquisición del ecógrafo de bolsillo inalámbrico y una tablet. El costo por unidad de este equipo de ecografía es \$2.000.000 y la Tablet es \$100.000, aproximadamente. El gasto variable corresponde a un gel conductor que permite la transmisión de la señal a la pantalla de la tablet, el cual tiene un valor \$10.000 por 5 litros. Además, gastos adicionales pueden variar con respecto al número de individuos analizados en terreno, cuyo valor abarca entre los \$1.500 y \$3.000 por kilo, dependiendo de la región.
- Aspecto operacional. Los gastos asociados dependerán de la modalidad del estudio. En pesca de investigación, se debe contemplar el arriendo de la embarcación, la compra de algunos ejemplares para validar las observaciones de la ecografía. En un programa de seguimiento, inicialmente sólo requeriría la compra del ejemplar capturado. En ambas modalidades de estudio, también se debe considerar capacitación, viáticos, arriendo de vehículo y seguros al personal, materiales de terreno, entre otros.

**6.3- OBJETIVO ESPECIFICO 3:** *“Determinar la época reproductiva de raya volantín y raya espinosa, identificando dentro de la misma, el periodo de mayor vulnerabilidad para ambas especies, entre la región de Ñuble a la región de Magallanes.”*

#### 6.3.1. Análisis bases de datos históricas

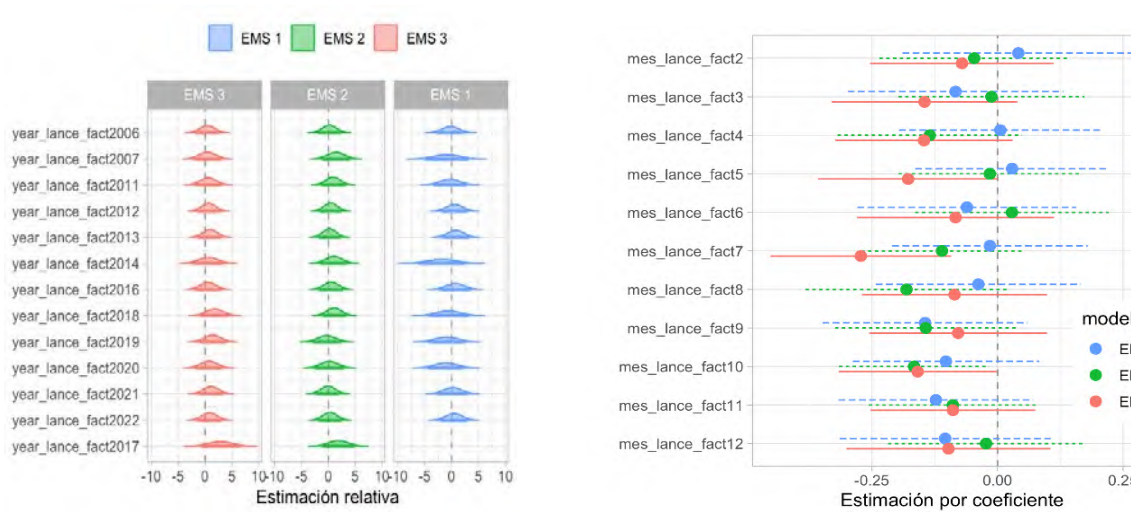
##### **Raya volantín**

Las implementaciones de modelos lineales generalizados con respuesta binomial (maduro versus inmaduro) a predictores temporales (año-mes) y demográficos (zona-sexo) presentan ciertas particularidades.

En una escala anual no destacaron años donde algunos de los estadios de madurez hayan predominado de forma significativa, los intervalos de confianza tienden a sobreponerse durante el rango de años analizados (**Figura 22a**). La máxima ocurrencia de EMS 3, representada por la moda en cada estrato (año/EMS), fue levemente mayor entre 2018 y 2020, lo que indica que durante este periodo podría ser factible identificar eventos reproductivos distintivos (**Figura 22a**). Es importante destacar que el año 2017 fue atípico en términos de la ocurrencia de EMS 2 y 3, debido a un significativo desequilibrio en los EMS causado por la falta de EMS 1.

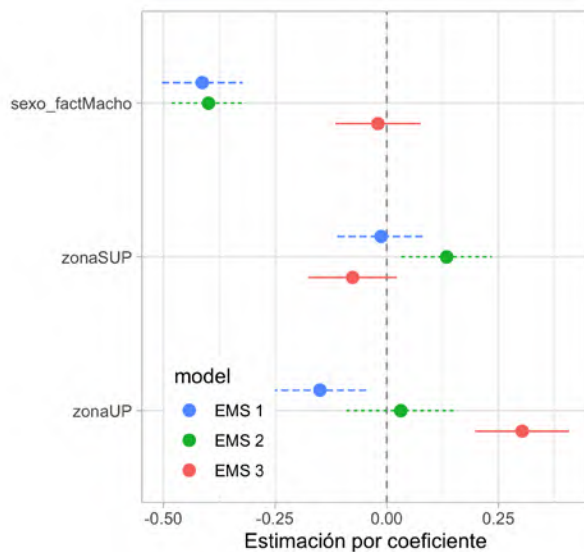
La estacionalidad del proceso reproductivo debería mostrar al menos dos fases. La primera fase ocurre durante el máximo reproductivo, cuando se espera observar meses en los que el EMS 3 se maximiza en conjunto con una retracción gradual del EMS 2, y una clara disminución del EMS 1. Este fenómeno debería manifestarse en la raya volantín hacia finales de año o en los primeros meses del verano. No obstante, este proceso no se observa, posiblemente debido a un patrón donde los EMS 2 y EMS 3 tienden a converger a proporciones y temporalidad similares (**Figura 22b**). Durante la segunda fase que ocurre en invierno, como es previsible, el EMS 3 se redujo debido a una retracción reproductiva, sin embargo, el EMS 2 mantuvo niveles de ocurrencia elevados respecto del EMS 3 y 1, incluso por encima de la media del predictor mensual (línea segmentada vertical, **Figura 22b**). Este patrón anómalo del EMS 2 en el ciclo intra-anual debe ser explorado con mayor profundidad.

En las zonas de pesca UP y SUP fue posible diferenciar la ocurrencia de los EMS. Sin embargo, en la ZONA UP se observó la mayor ocurrencia de EMS 3 destacado por la mayor proporción en machos respecto de las hembras (**Figura 22c**).



(a) Variaciones inter-anales entre los años 2007 y 2022 (2002 pivote)

(b) Variaciones intra-anales entre los meses de febrero y diciembre (Enero pivote)



(c) Importancia relativa entre zona de pesca y sexo (modelo pivote)

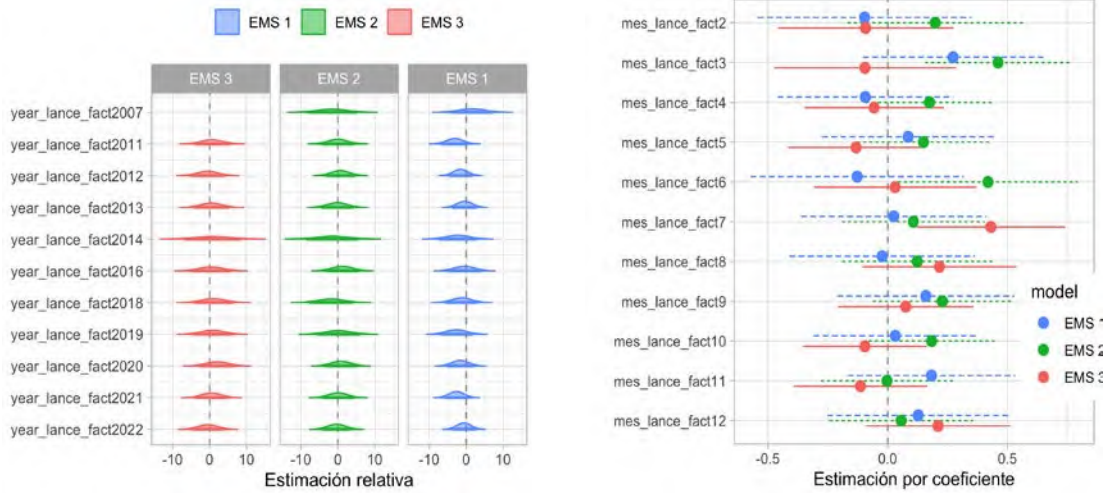
**Figura 22.** Ocurrencia de EMS en raya volántin predichos por año, mes, zona de pesca y sexo.

## Raya espinosa

Al igual que en la raya volantín, el patrón interanual en la raya espinosa no presentó periodos dominados por algún EMS. Los intervalos de confianza para los EMS tendieron a superponerse a lo largo de los años analizados, alcanzando el EMS 3 su máxima ocurrencia (moda en cada estrato año-EMS) entre 2018 y 2020 (**Figura 23a**).

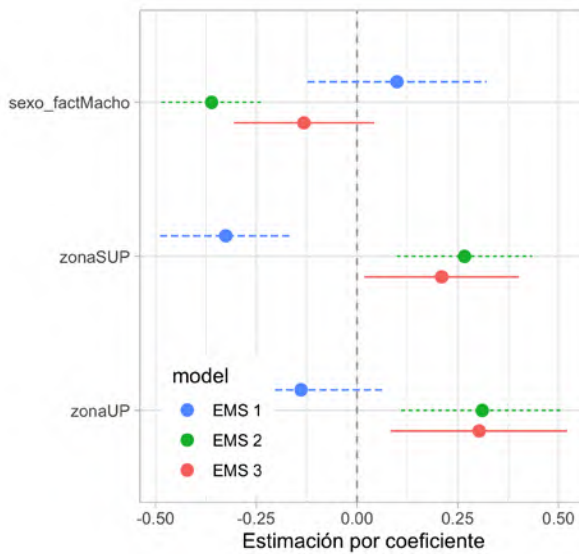
En una escala intra-anual, el máximo del periodo reproductivo pareció ocurrir en los meses de julio y agosto, cuando el EMS 3 alcanzó su máximo, acompañado de una disminución en la incidencia del EMS 1 (**Figura 23b**). Durante el verano, posiblemente tras el periodo de reproducción, donde el EMS 3 tiende a disminuir y progresivamente aumente la importancia relativa del EMS 1 (ver meses entre diciembre y mayo), se observó un patrón en que el EMS 2 mantuvo niveles de ocurrencia elevados, incluso superando la media del predictor mensual en casi todos los años (**Figura 23b**). Esto resulta algo contradictorio con la dinámica reproductiva anticipada en un ciclo anual, en el cual los EMS intermedios tienden a incrementarse a medida que se acerca el periodo máximo de reproducción.

Los predictores de sexo y zona corroboraron en cierta medida el patrón inusual del EMS 2. En ambas áreas de pesca, además de señalar una baja representatividad del EMS 1, se apreció que la ocurrencia de los EMS 2 y 3 fue similar (**Figura 23c**). En términos generales, los machos suelen ser más informativos sobre la ocurrencia del EMS 1 en comparación con las hembras. Sin embargo, esto no explica la similitud de la ocurrencia de los EMS 2 y 3.



(a) Variaciones inter-anales entre los años 2007 y 2022 (2002 pivote)

(b) Variaciones intra-anales entre los meses de febrero y diciembre (Enero pivote)



(c) Importancia relativa entre zona de pesca y sexo (modelo pivote)

**Figura 23.** Ocurrencia de EMS en raya espinosa predichos por año, mes, zona de pesca y sexo.

### *Clasificación de predictores*

Se analizó la probabilidad de encontrar un individuo maduro mediante un modelo logístico que incluyó predictores temporales (año-mes), demográficos (talla-sexo) y operacionales (zona-pesquería). Se evaluaron un total de 18614 registros, de los cuales el 87.8% correspondieron a raya volantín y el 12.1% a raya espinosa. Predominaron las muestras de machos (96% en raya volantín y 94% en raya espinosa), y se observaron diferencias importantes en la proporción de individuos maduros entre las especies. La raya volantín mostró una proporción de madurez adecuada para los análisis al combinar ambos sexos, con un 57% de individuos maduros y un 43% inmaduros. No obstante, el 83% de las hembras fueron inmaduras. En cuanto a la raya espinosa, el 20% de las muestras fueron clasificado como maduras y el 80% como inmaduras, proporciones que se mantuvieron al separar por sexo.

En general, se observó un desequilibrio en las muestras binarias de madurez, el cual se intensifica al analizar por estratos espaciales, como la zona de pesca o el arte de pesca, si se considera que actúa como un indicador espacial. Por este motivo, los análisis se limitaron a la implementación para sexos combinados en ambas especies de rayas.

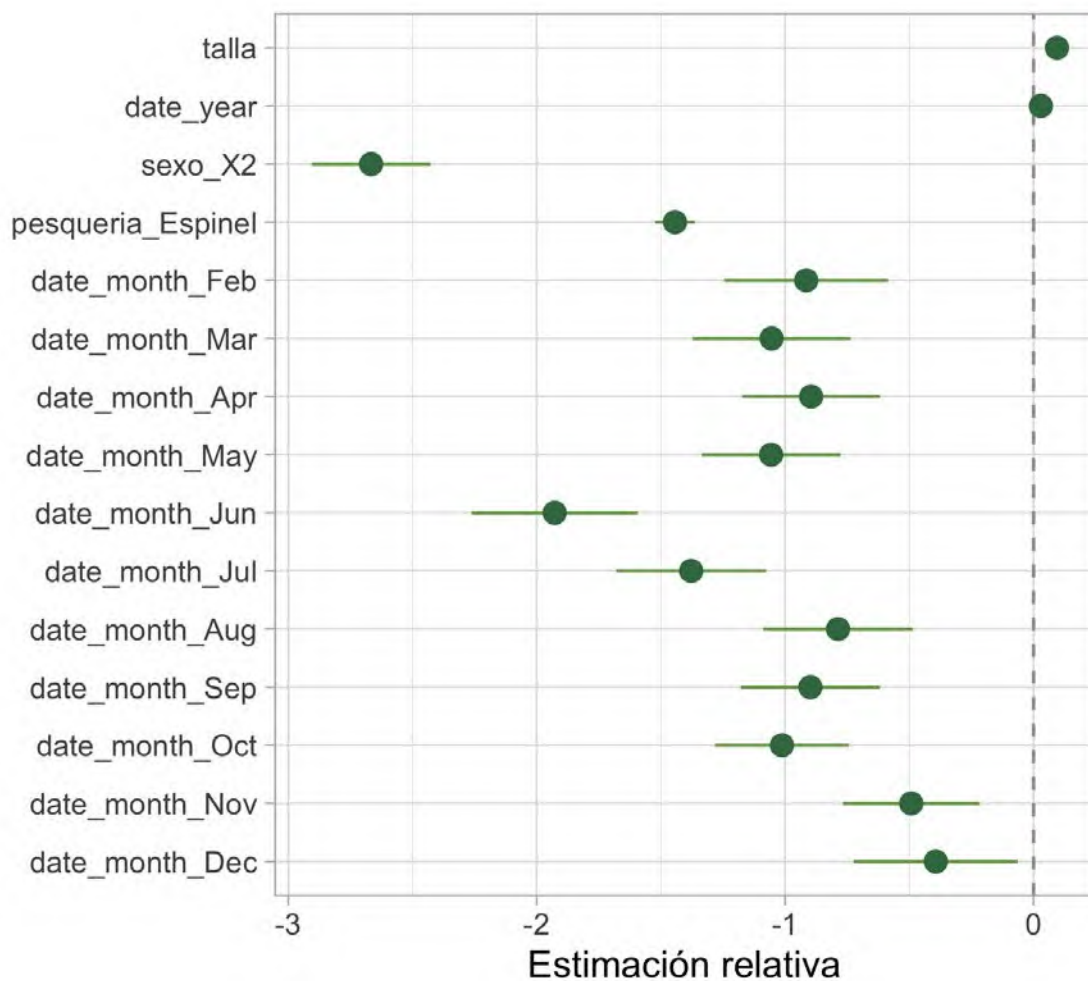
### **Raya volantín**

Los resultados del modelo logístico se presentan en la **Figura 24**. La pendiente positiva en el predictor de talla indicó que la posibilidad de encontrar un individuo maduro es más relevante dentro de un rango de tallas que entre sexos, tiempo o pesquerías. Aunque la mayor variabilidad en la ocurrencia de encuentro de individuos maduros ocurre entre meses, la relevancia ( $>1$ ) de predictor de talla sugirió que los rangos de tamaño en cada nivel de los predictores (mes, pesquería y sexo) fueron muy similares, lo que resultó en una menor discriminación de individuos maduros respecto del rango de tamaños analizados.

En general, el predictor anual aportó poca información, ya que está casi superpuesto al intercepto del modelo (línea vertical en la **Figura 24**), lo que refuerza los resultados



del modelamiento de los EMS, donde sus mayores variaciones se producen intra-anualmente. Los resultados también indicaron que las hembras maduras fueron significativamente menos representadas que los machos, lo cual podría deberse al desbalance en el tamaño de la muestra, una situación que también se observó en la flota espinelera. Por lo tanto, la flota de enmalle parece ser un método de muestreo más apropiado para individuos maduros. Finalmente, se observó una mayor presencia de individuos maduros en noviembre y diciembre, seguida de una disminución de su proporción durante la estación estival.



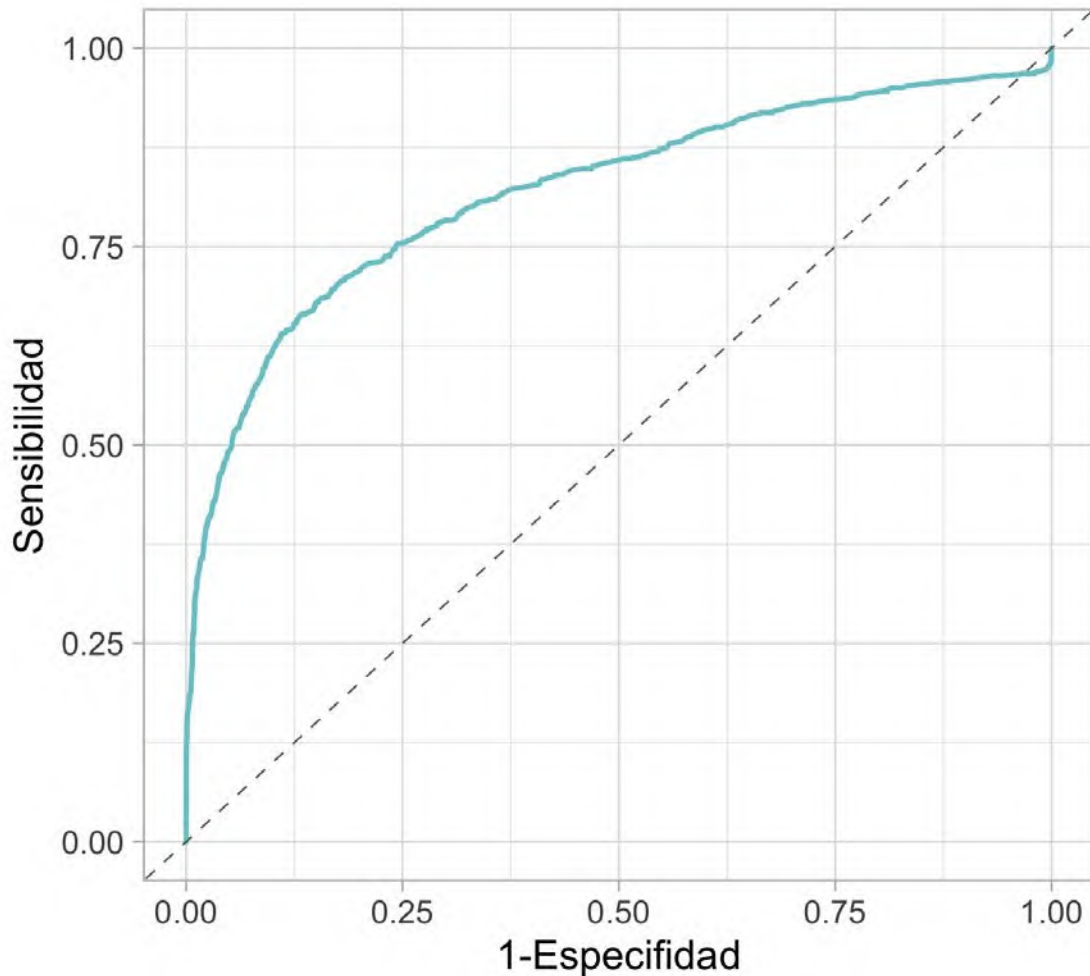
**Figura 24.** Coeficientes para los predictores incluidos en el modelo logístico en raya volantín.

La validación cruzada del modelo logístico bajo un único particionamiento en conjuntos de entrenamiento y validación, donde la proporción de individuos maduros/inmaduros se asegura sea equilibrada, indicó un desempeño moderado a bueno, resumido en los siguientes indicadores:

- Índice de Sensibilidad: 0,78
- Puntuación Brier: 0,17
- ROC: 0,82

El índice de sensibilidad es simplemente la proporción de muestras predichas correctamente y es la tasa de verdaderos positivos (true positive rate) en el conjunto entrenamiento; en este caso 78%. La tasa de falsos positivos está asociada con la especificidad y se calcula como  $1 - \text{especificidad}$  (false positive rate, ver explicación en la **Figura 25**). La puntuación Brier mide la precisión de las predicciones de probabilidad y evalúa el rendimiento de las clasificaciones, en este caso, el conjunto de validación. La puntuación de Brier es una distancia en el dominio de la probabilidad y, por tanto, cuanto más bajo sea el valor de esta puntuación, mejor será la predicción. Una predicción perfecta obtendrá una puntuación de 0, mientras que en el peor de los casos la puntuación se aproximará a 1. El modelo elegido alcanza una puntuación de 0,17.

La curva característica operativa del receptor (AUC-ROC) para los datos de madurez se muestra en la **Figura 25**. El área bajo la curva AUC-ROC es un método común para evaluar modelos, representando la tasa de falsos positivos ( $1 - \text{especificidad}$ ) frente a la tasa de verdaderos positivos. Un modelo eficiente se alinea con el eje-Y y avanza directamente hacia la esquina superior izquierda (indicando ausencia de errores), mientras que un modelo completamente ineficaz seguiría la línea diagonal de puntos. Un modelo óptimo alcanzaría un área bajo la curva ROC de 1, mientras que un modelo deficiente tendría un AUC cercano a 0,50. Para la curva de la **Figura 25**, el AUC-ROC fue de 0,82, lo que sugiere un ajuste razonablemente bueno.



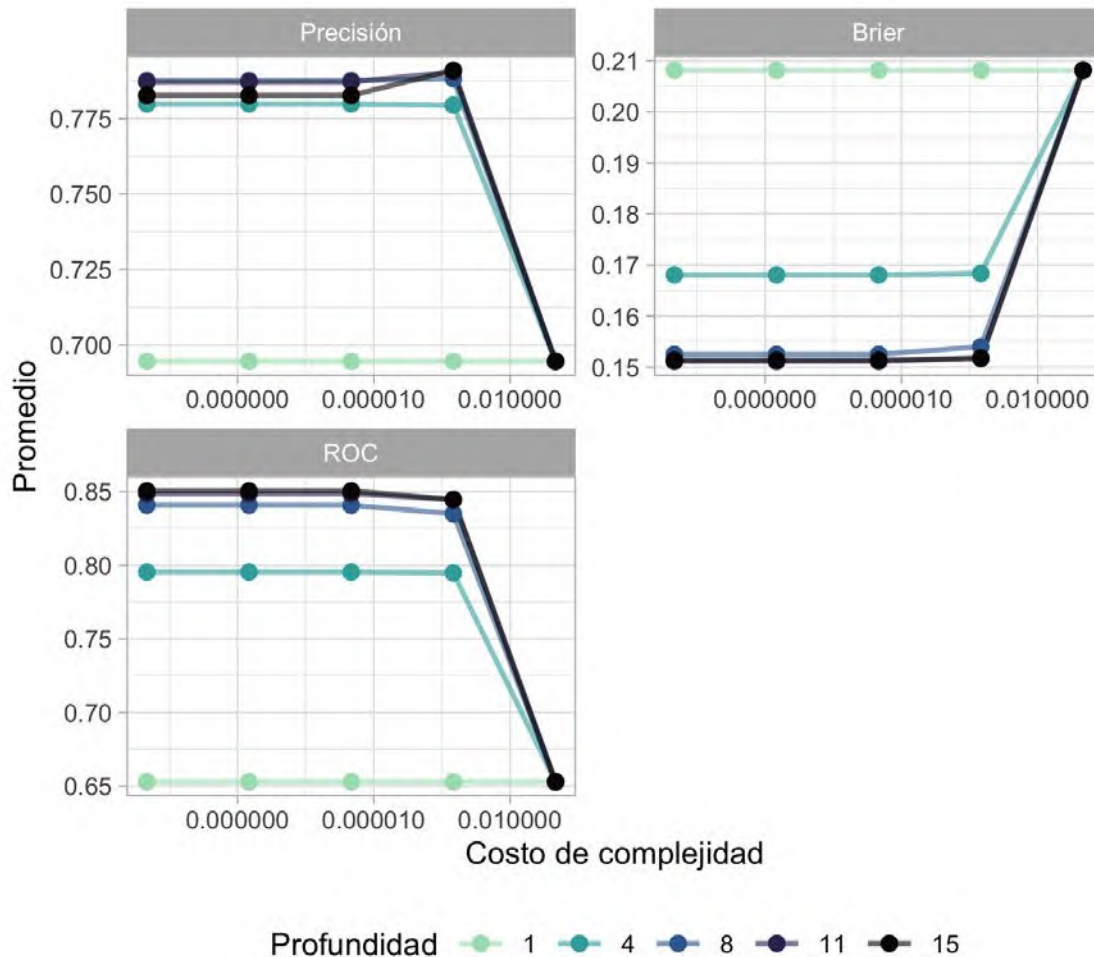
**Figura 25.** Curva característica operativa del receptor (AUC-ROC) del modelo logístico en raya volantín

### *Remuestreo y predicción*

El propósito de los siguientes análisis es predecir si una operación de pesca (ya sea un viaje, un lance, etc.) registra a un animal maduro a partir de datos remuestreados mediante el modelo logístico descrito en la sección de materiales y métodos. Tras el remuestreo del conjunto de datos, su división en un conjunto de entrenamiento y otro de validación, y el ajuste del modelo logístico a cada conjunto en el marco de una clasificación basada en árboles de bosques aleatorios, la **Figura 26** muestra el desempeño del modelo.

Las métricas del ajuste sobre los datos observados (conjunto de entrenamiento) y la validación sobre los registros no utilizados (conjunto de validación), previamente

descritas, se promediaron entre todos los conjuntos para estimar el rendimiento predictivo y la variabilidad del modelo seleccionado a diferentes profundidades de clasificación. Posterior a los 4 niveles de profundidad (**Figura 26**), las métricas de desempeño tienden a concentrarse, alcanzando niveles muy aceptables de precisión y AUC-ROC, con distancias de Brier muy bajas.



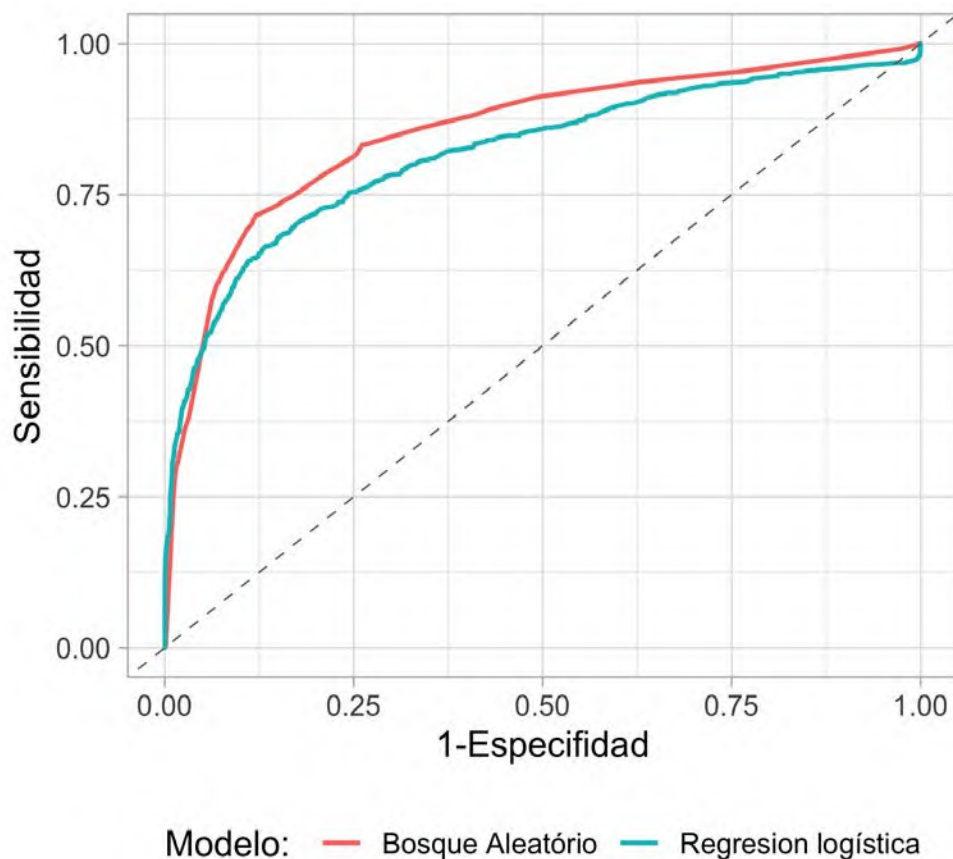
**Figura 26.** Indicadores de desempeño del modelo de clasificación en raya volantín.

La **Figura 27** muestra la curva promedio de AUC-ROC de los diferentes modelos ajustados en el árbol de clasificación. En este contexto, la curva AUC-ROC es útil para abordar el problema del punto de corte en el árbol de clasificación, ya que permite evaluar todos los posibles puntos de corte y observar los cambios en la sensibilidad y la especificidad. Según la **Figura 27**, los modelos logísticos integrados

en el árbol de decisión, combinados en la curva AUC-ROC presentaron un rendimiento superior al del modelo logístico básico. Las métricas de rendimiento en este caso fueron:

- Índice de Sensibilidad: 0,81
- Puntuación Brier: 0,14
- ROC: 0,85

Estos valores demostraron una mejora en todos los indicadores. Los indicadores de rendimiento del conjunto de validación mostraron que no se han sobreajustado los datos.

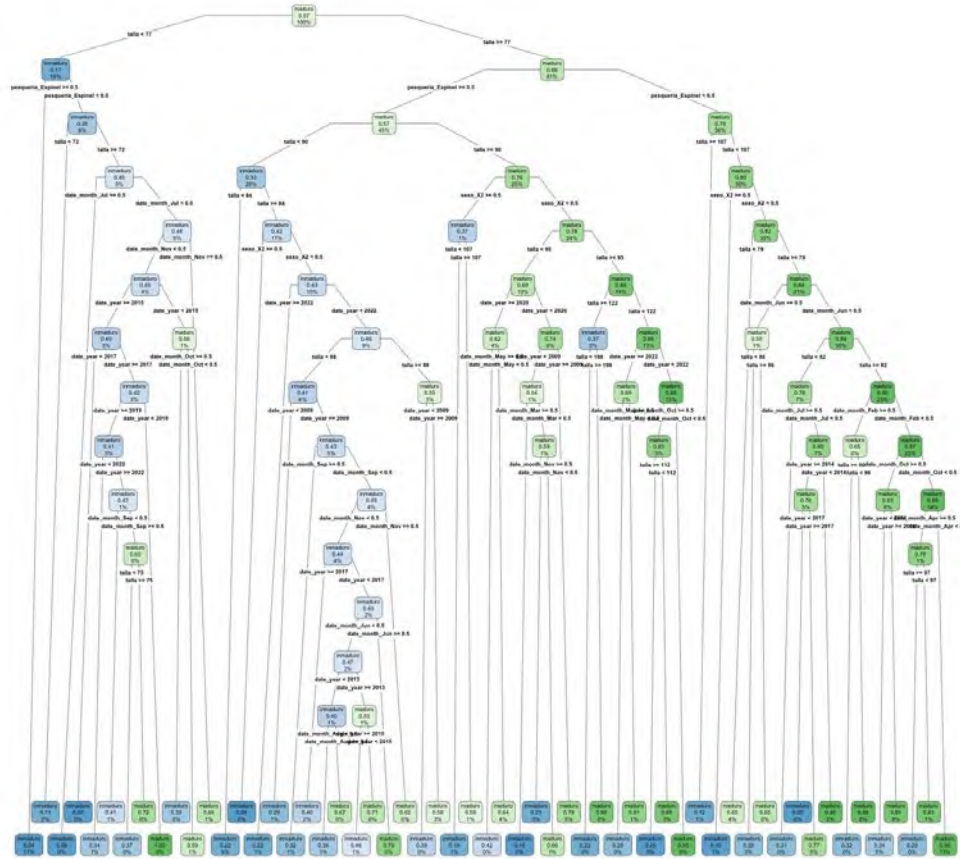


**Figura 27.** ROC del modelo de clasificación contrastado con el ROC del modelo logístico en raya volantín.

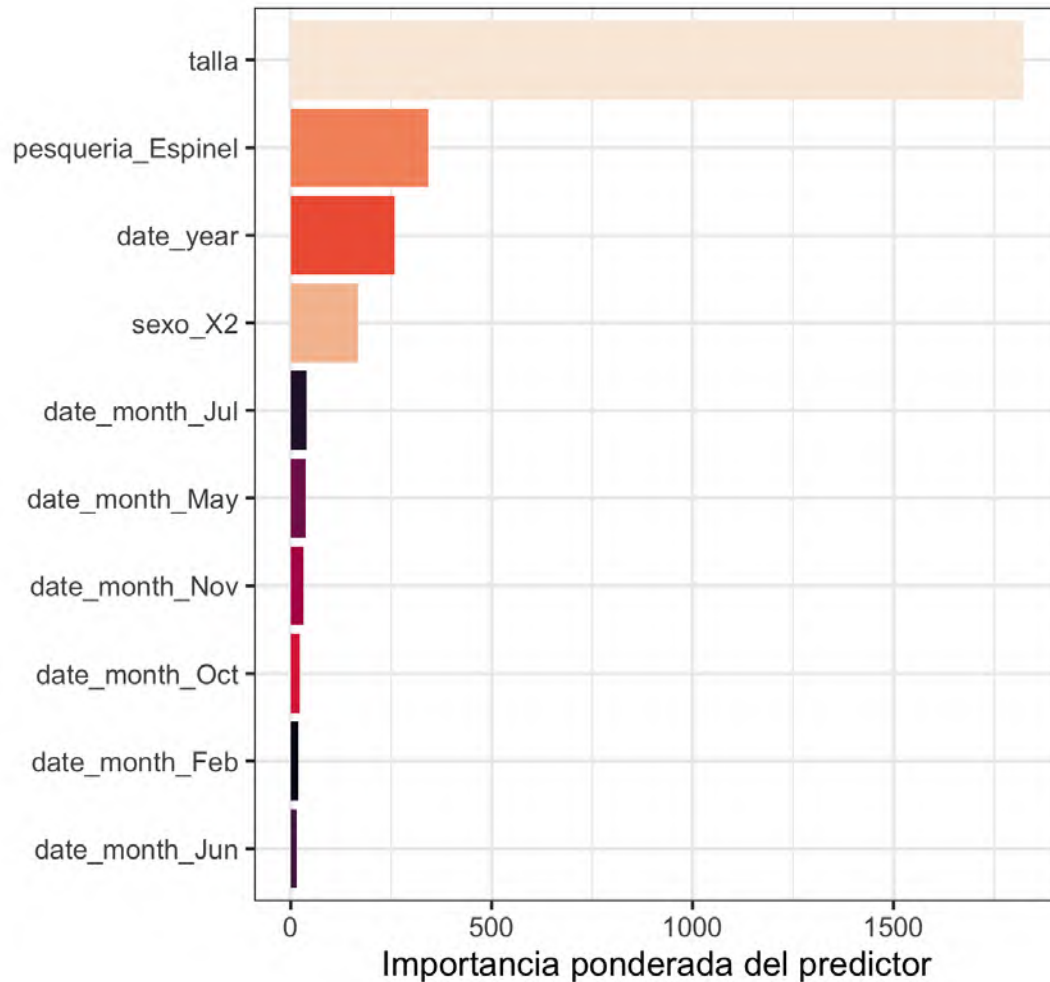
### *Arbol de clasificación*

El rendimiento del modelo quedó en evidencia al utilizar los datos de validación con el modelo derivado del ajuste óptimo, representado en la curva AUC-ROC (**Figura**

27). El flujo de trabajo puede visualizarse en el árbol de decisión desde el cual es posible hacer predicciones sobre nuevos datos o realizar un análisis más profundo de los resultados (**Figura 28**). La **Figura 29** muestra los predictores más importantes del modelo logístico para realizar predicciones sobre la probabilidad de que un individuo sea maduro, basadas en la estructura del modelo.



**Figura 28.** Árbol de decisión del modelo logístico con remuestro para validar mediante comprobación cruzada en raya volántin.

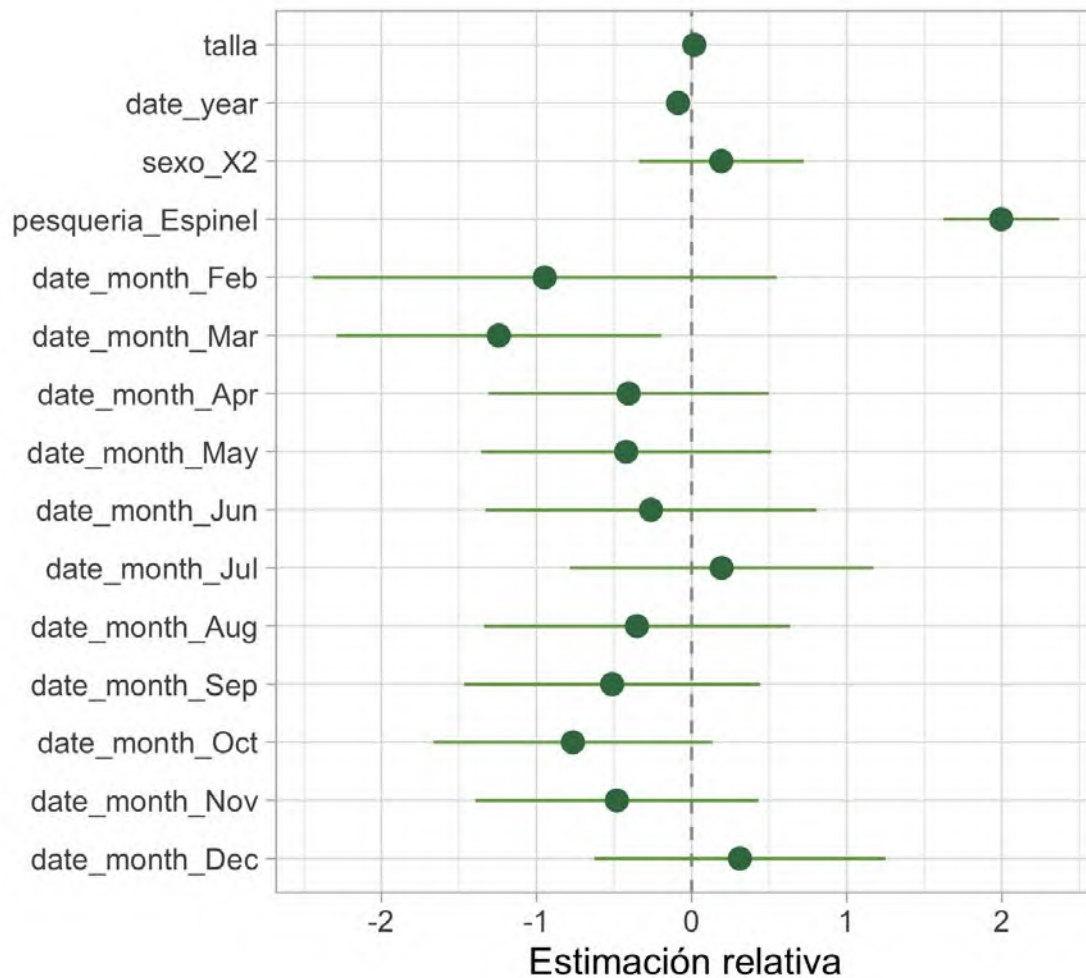


**Figura 29.** Relevancia de predictores según clasificación basada en arboles aleatórios en raya volántin

### Raya espinosa

El modelo logístico indicó que el predictor anual proporciona poca información sobre la variabilidad de encontrar un individuo maduro (**Figura 30**). En general, la media del modelo (intercepto) es similar a los predictores talla y año. De manera similar, el tamaño no aportó información relevante sobre el proceso de variabilidad en la ocurrencia de un individuo maduro, a diferencia de los meses, que mostraron variaciones significativas formando un ciclo estacional con máximos en julio y diciembre. Los resultados también mostraron que tanto las hembras como los machos presentaron una ocurrencia similar de individuos maduros, aunque la

probabilidad se maximizó en los ejemplares capturados por la flota espinelera (Figura 30).



**Figura 30.** Coeficientes para los predictores incluidos en el modelo logístico para raya espinosa.

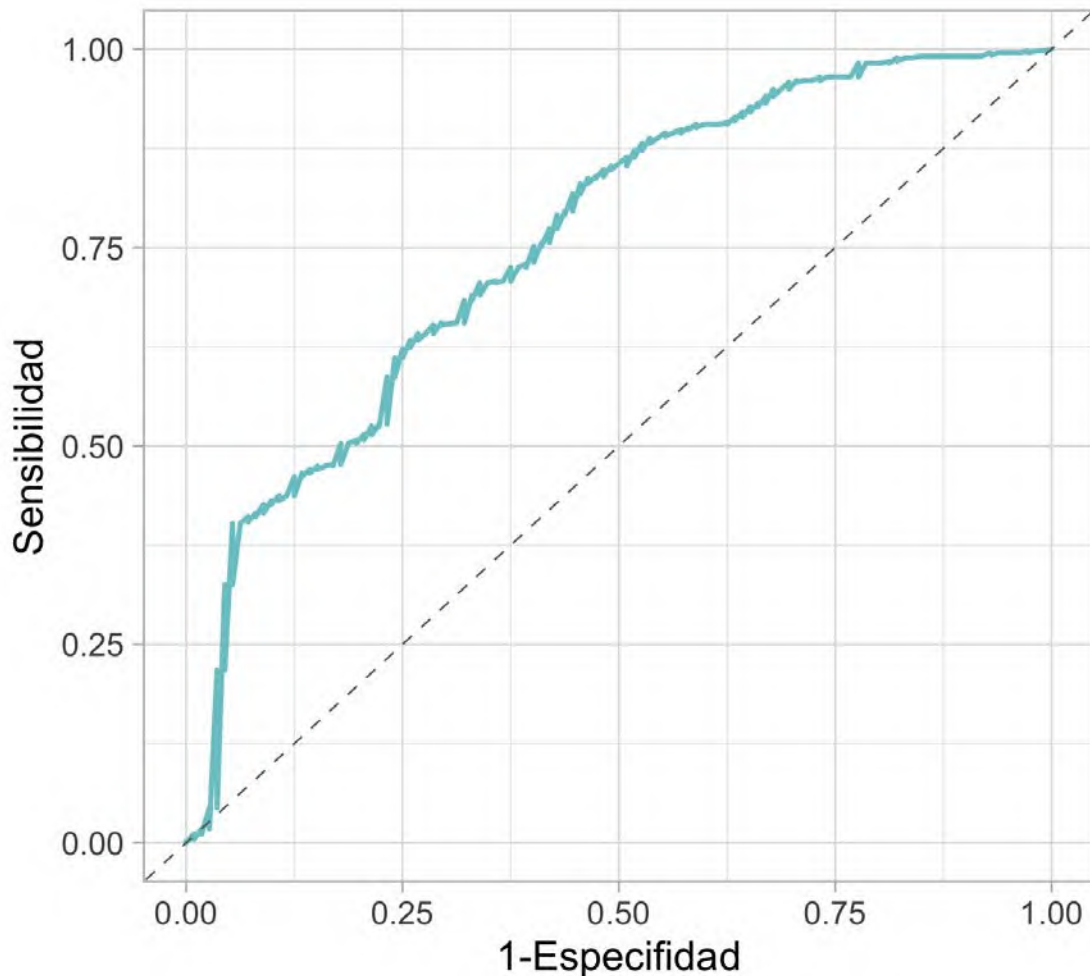
La validación cruzada del modelo logístico para raya espinosa indicó un desempeño moderado a bueno, que se resume en los siguientes indicadores:

- Índice de Sensibilidad: 0,83
- Puntuación Brier: 0,13
- ROC: 0,76

La tasa de verdaderos positivos en el conjunto de datos de entrenamiento alcanzó el 83%, lo que indica que los predictores temporales y operativos garantizan una alta proporción de muestras correctamente predichas. La precisión en la clasificación de



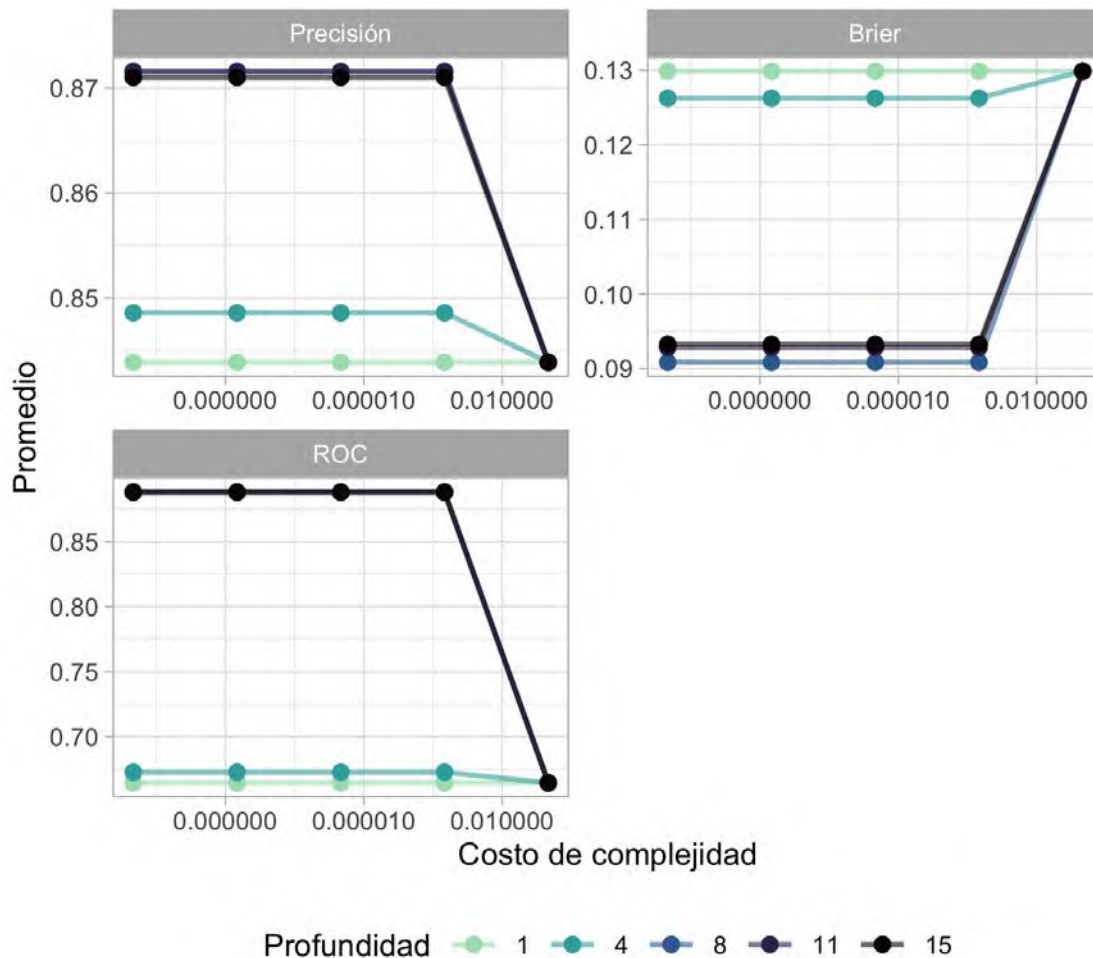
maduro e inmaduro en el conjunto de validación fue de 0,13, un valor bajo que sugiere un modelo con un potencial de predicción adecuado. Una predicción perfecta tendría una puntuación de 0, mientras que, en el peor de los casos la puntuación se acercaría a 1. La curva ROC para los datos de madurez se muestra en la **Figura 31**. El área bajo la curva (AUC-ROC) alcanzó un valor de 0,76, representando un equilibrio entre un modelo eficiente y uno ineficaz.



**Figura 31.** Curva característica operativa del receptor (AUC-ROC) del modelo logístico en raya espinosa.

La **Figura 32** presenta los principales indicadores de rendimiento del modelo para predecir si una operación de pesca (como un viaje, un lance, etc.) registra a un animal maduro, utilizando datos remuestreados mediante el modelo logístico. Las métricas se promediaron en todos los conjuntos para evaluar el rendimiento predictivo y la

variabilidad del modelo a distintas profundidades de clasificación. Como se muestra en la **Figura 32**, a partir del 8vo nivel de profundidad, las métricas de rendimiento tienden a estabilizarse, alcanzando valores satisfactorios de precisión y AUC-ROC, con distancias de Brier reducidas.

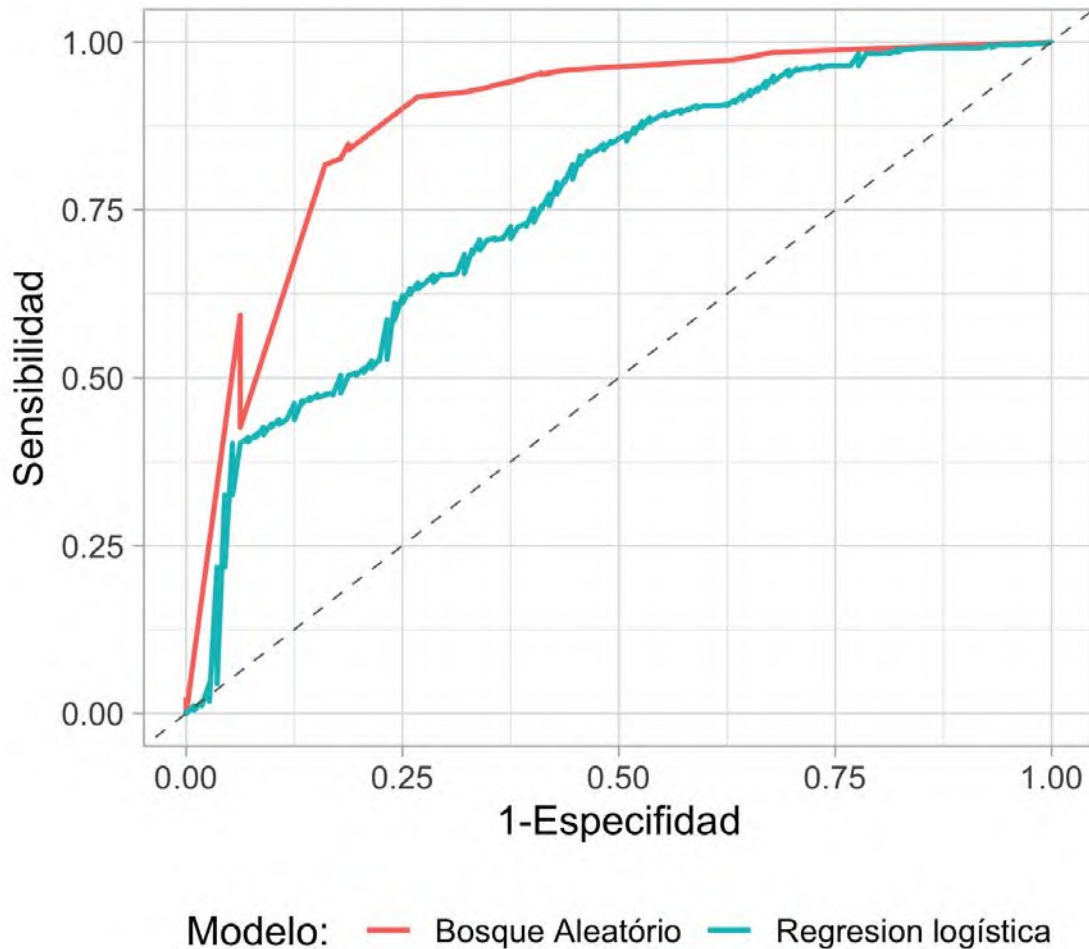


**Figura 32.** Indicadores de desempeño del modelo de clasificación en raya espinosa.

La **Figura 33** muestra la curva promedio de AUC-ROC de los diversos modelos ajustados en el árbol de clasificación. Se observó que los modelos logísticos incorporados en el árbol de decisión, cuando se combinan en la curva AUC-ROC, presentaron un rendimiento superior al del modelo logístico estándar. Las métricas de rendimiento en este caso fueron:

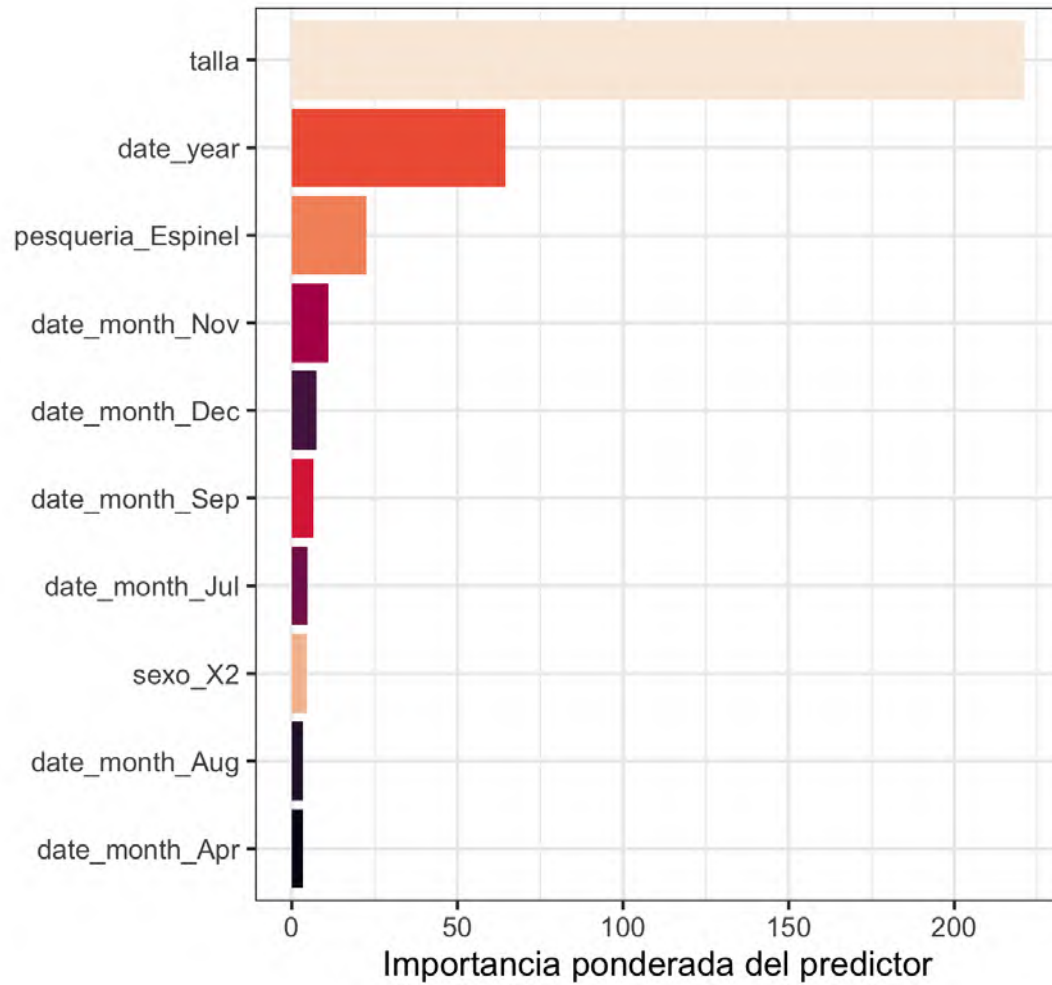
- Índice de Sensibilidad: 0,88
- Puntuación Brier: 0,092
- ROC: 0,89

Estos valores demostraron una mejora en todos los indicadores. Los indicadores de rendimiento del conjunto de validación mostraron que no se han sobreajustado los datos.

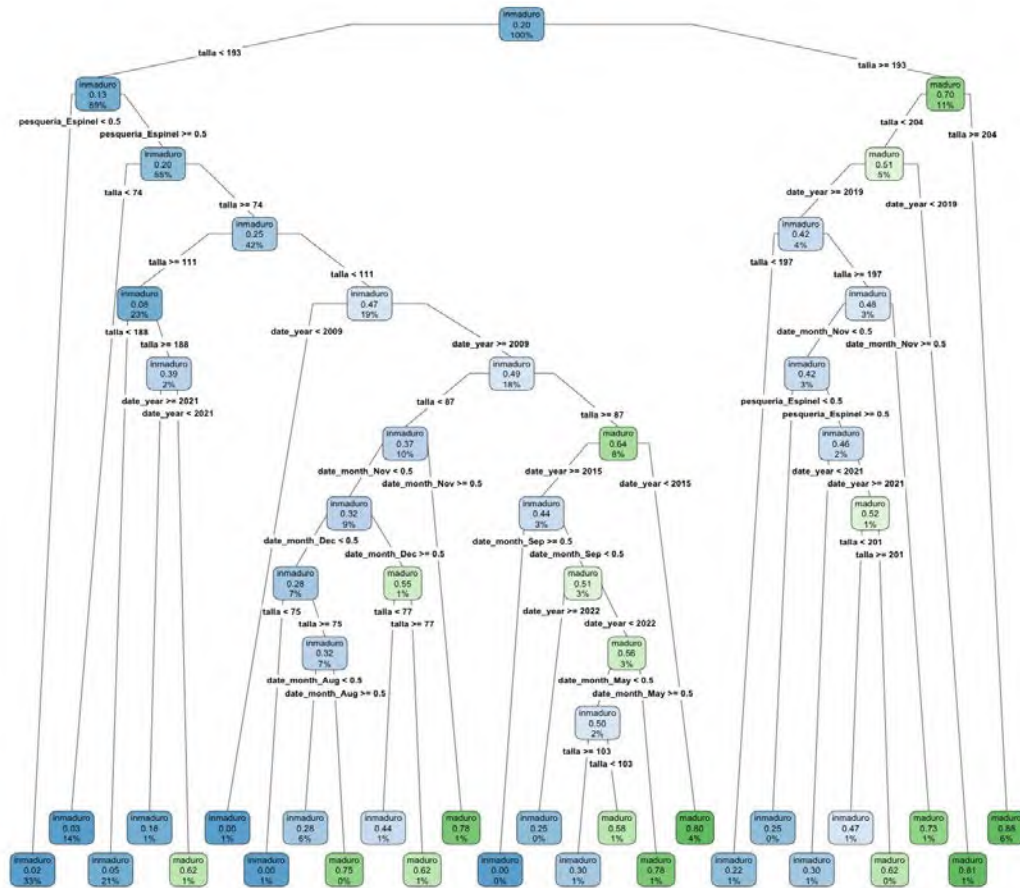


**Figura 33.** ROC del modelo de clasificación contrastado con el ROC del modelo logístico para raya espinosa.

La **Figura 34** muestra los predictores más relevantes del modelo logístico para guiar las predicciones de identificar a un individuo maduro según la estructura del modelo. El desempeño del modelo se evidenció al aplicar los datos de validación al modelo derivado del ajuste óptimo, representado en la curva AUC-ROC (**Figura 33**). El flujo de trabajo es visible en el árbol de decisión, desde el cual fue posible realizar predicciones sobre nuevos datos o realizar un análisis más detallado de los resultados (**Figura 35**).



**Figura 34.** Relevancia de los predictores según una clasificación basada en arboles aleatorios para raya espinosa.



**Figura 35.** Árbol de decisión del modelo logístico de raya espinosa para validar mediante comprobación cruzada.

### 6.3.2. Estimación de la madurez a la talla en raya volantín

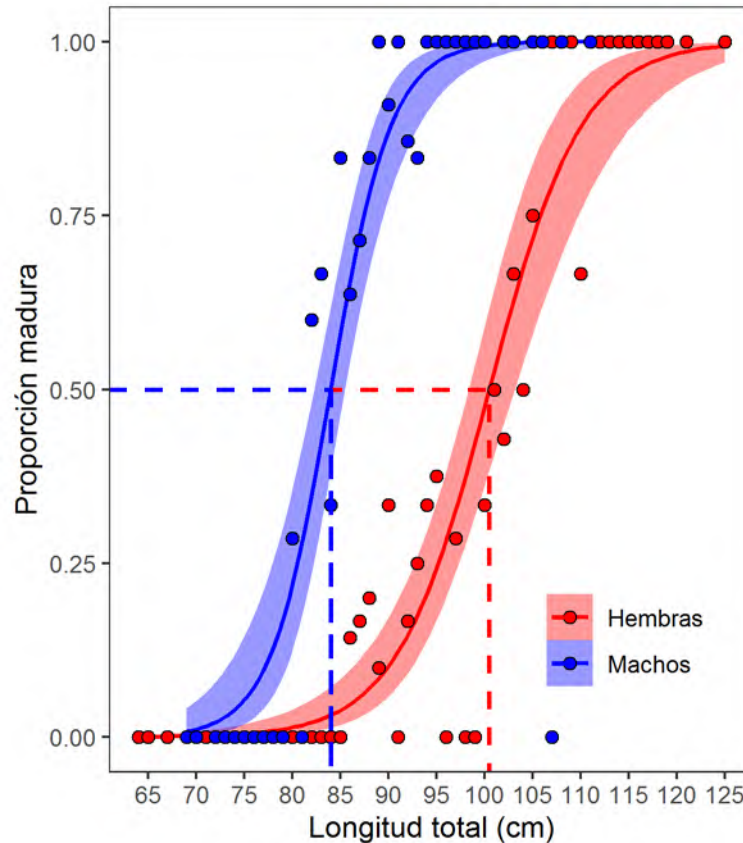
#### *Ojiva de madurez en raya volantín*

Los parámetros de la ojiva de madurez fueron significantes ( $p < 0,05$ ) para cada sexo de raya volantín. El poder predictivo fue 0,51 y 0,46 para las hembras y machos, respectivamente (**Tabla 5**). El diagnóstico estándar para el modelo de cada sexo indicó que los residuos siguieron una tendencia lineal con los cuantiles y no mostraron un patrón gráficamente frente a los valores predictivos lineales (**Figura S1** ver **Anexo 2**). El tamaño de las hembras maduras abarcó entre los 86 y 125 cm LT. El valor de  $LT_{50}$  estimada para las hembras fue 100,5 cm (I.C. 95%: 98,1 – 102,4).

Mientras que el tamaño de los machos maduros abarcó entre los 80 y 111 cm LT. El valor de  $LT_{50}$  estimada por este sexo fue 84,0 cm (I.C. 95%: 82,2 – 85,4), cuya ojiva estuvo desplazada hacia tallas pequeñas en comparación a la estimada en las hembras (**Figura 36**). La prueba de Wald indicó que la ojiva de madurez varió significativamente entre sexos ( $p < 0,05$ ).

**Tabla 5.** Parámetros de la ojiva de madurez estimada para cada sexo de raya volantín colectado en el proyecto FIPA 2023-26.  $\beta_1$ , intercepto;  $\beta_2$ , pendiente; e.e., error estándar;  $r^2$ , coeficiente de determinación; G.L., grado de libertad;  $LT_{50}$ , longitud total en el 50% de madurez; I.C. 95%, intervalo de confianza al 95%.

Sexo	$\beta_1$ (e.e.)	$\beta_2$ (e.e.)	Valor P ( $H_0: \beta_2=0$ )	$r^2$	G.L.	$LT_{50}$ (I.C. 95%)
Hembras	20,8 (2,77)	0,21 (0,03)	3,08e-13	0,51	231	100,5 (98,1 – 102,4)
Machos	26,7 (4,28)	0,32 (0,05)	2,42e-10	0,46	155	84,0 (82,2 – 85,4)



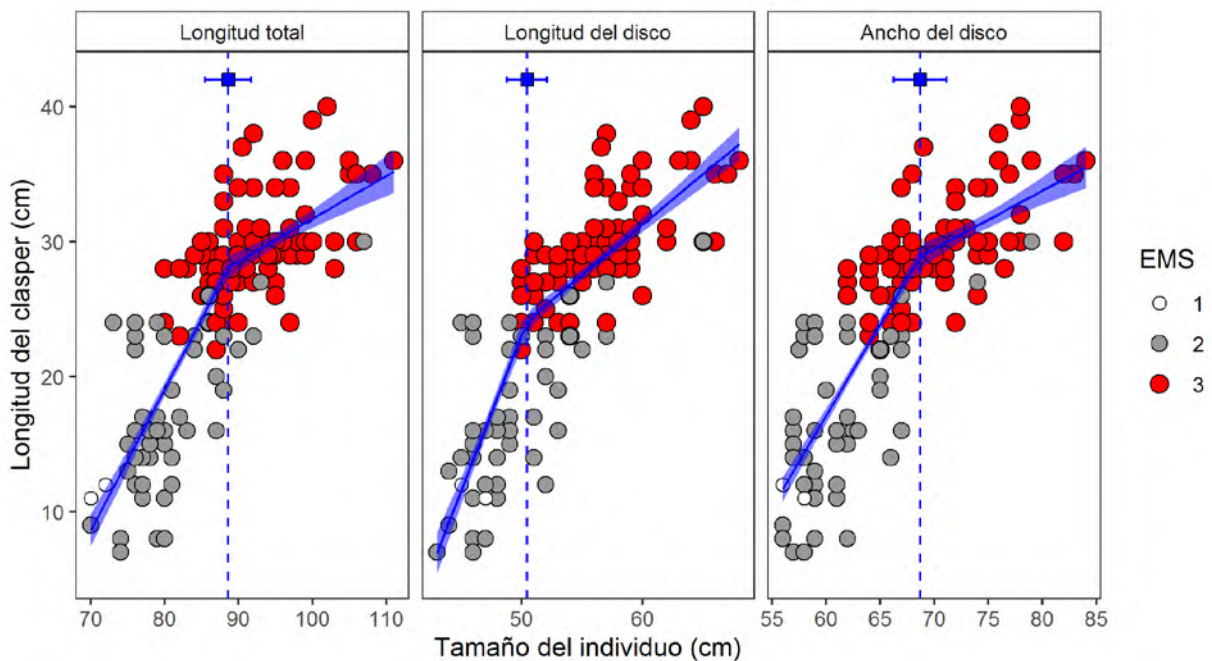
**Figura 36.** Ojiva de madurez estimada para cada sexo de raya volantín colectada por este proyecto FIPA 2023-26. La línea discontinua corresponde la talla la cual el 50% de los individuos se encuentran maduros. El área sombreada corresponde el intervalo de confianza al 95%.

### Regresión segmentada de los clasper en raya volantín

La regresión segmentada identificó un punto de quiebre entre la longitud del clasper y cada medida morfométrica del tamaño de los machos colectados por el presente proyecto (**Tabla 6**). La prueba de Davies reveló diferencias significativas en las pendientes en los modelos segmentados ajustados ( $p < 0,05$ ). Los residuos para cada medida morfométrica no mostraron un patrón con los valores predichos por el modelo (**Figura S2 ver Anexo 2**). Los puntos de quiebre ocurrieron en los 88,6 (I.C. 95%: 85,5 - 91,7) cm de longitud total, 50,5 (I.C. 95%: 48,8 - 52,1) cm de longitud del disco y 68,7 (I.C. 95%: 66,3 - 71,2) cm del ancho del disco (**Tabla 6 y Figura 37**). El cambio en la pendiente coincidió con la transición de EMS 2 (inmaduro o adolescente) a EMS 3 (adulto o maduro), principalmente con la longitud del disco (**Figura 37**).

**Tabla 6.** Resumen de los modelos de regresión segmentados entre la longitud del clasper y tamaño del macho de raya volantín colectado en el presente estudio. PQ, punto de quiebre; I.C., intervalo de confianza al 95%;  $r^2$ , coeficiente de determinación; G.L., grados de libertad.

Medida morfométrica	PQ (cm) (I.C. 95%)	Test de Davies valor de P	$r^2$	G.L.
Longitud total	88,6 (85,5-91,7)	<2,20e-16	0,68	146
Longitud del disco	50,5 (48,8-52,1)	7,45e-12	0,70	146
Ancho del disco	68,7 (66,3-71,2)	<2,00e-16	0,71	146



**Figura 37.** Regresión segmentada entre la longitud del clasper y diferentes medidas morfométricas de los machos de raya volantín colectados por este proyecto (FIPA 2023-26). La línea discontinua y el cuadro azul indican el punto de quiebre significativa de la relación. El área sombreada corresponde el intervalo de confianza al 95%.

Los resultados de la regresión segmentada aplicada en los machos de raya volantín usando datos digitalizados desde Licandeo et al. (2006) y Licandeo & Cerna (2007) se resume en la **Tabla 7**. En esta comparación, cabe destacar dos puntos: 1) los machos fueron analizados como inmaduros y maduros dado que una fuente reportó



los estadios macroscópicos agrupados en esas dos clases y 2) sólo se comparó la relación entre la longitud clasper y longitud total, por la no disponibilidad de información de las otras medidas morfométricas. El modelo identificó dos puntos de quiebre entre la longitud del clasper y longitud total para cada zona (**Tabla 7**). La prueba de Davies reveló diferencias significativas en las pendientes en los modelos segmentados seleccionados, mostrando hasta dos puntos de quiebre ( $p < 0,05$ ). Los residuos para cada zona no mostraron un patrón con los valores predichos por el modelo (**Figura S3 ver Anexo 2**). En la zona centro sur, los puntos de quiebre ocurrieron en los 68,7 (I.C. 95%: 65,2 - 72,1) y 83,5 (I.C. 95%: 80,5 - 86,6) cm LT (**Tabla 7 y Figura 38**). En el norte de la Patagonia, el modelo identificó puntos de quiebre en los 76,1 (I.C. 95%: 73,0 - 79,1) y 89,0 (I.C. 95%: 84,7 - 93,3) cm LT, tallas levemente mayores en comparación a la zona centro sur (**Tabla 7 y Figura 38**). En el sur de la Patagonia, los puntos de quiebre ocurrieron en los 83,9 (I.C. 95%: 82,0 - 85,9) y 87,1 (I.C. 95%: 85,6 - 88,7) cm LT (**Tabla 7 y Figura 38**). En cada zona, el cambio en la pendiente coincidió con la transición de inmaduro a maduro (**Figura 38**).

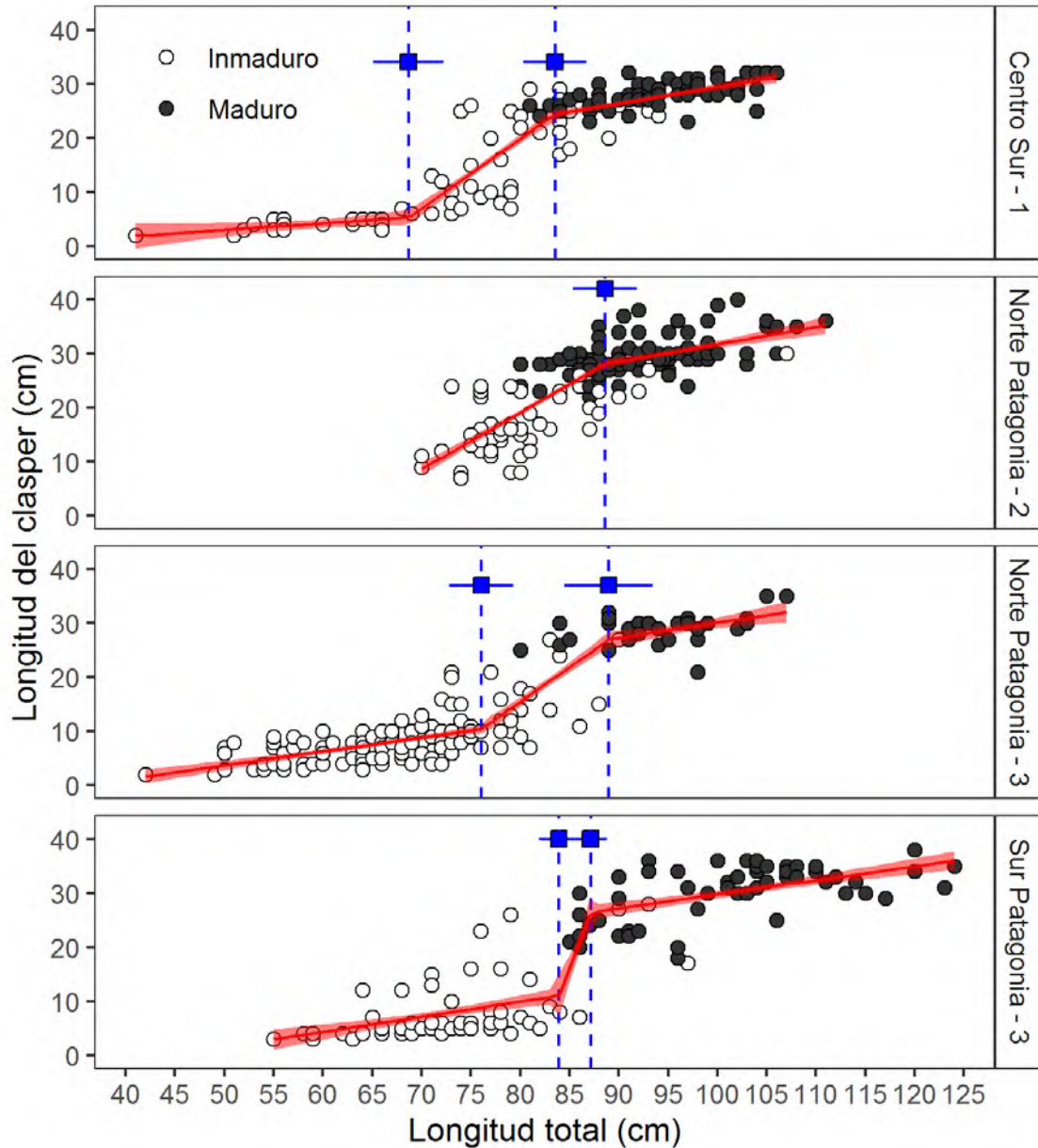
**Tabla 7.** Resumen de los modelos de regresión segmentados entre la longitud del clasper y longitud total del macho de raya volantín colectados por diferentes estudios. PQ, punto de quiebre; I.C., intervalo de confianza al 95%;  $r^2$ , coeficiente de determinación; G.L., grados de libertad.

Zona	1er PQ (cm) (I.C. 95%)	2do PQ (cm) (I.C. 95%)	Test de Davies valor de P	$r^2$	G.L.
Centro sur <sup>1</sup>	68,7 (65,2-72,1)	83,5 (80,5-86,6)	5,37e-06	0,87	115
Norte Patagonia <sup>3</sup>	76,1 (73,0-79,1)	89,0 (84,7-93,3)	5,43e-02	0,84	131
Sur Patagonia <sup>3</sup>	83,9 (82,0-85,9)	87,1 (85,6-88,7)	1,31e-02	0,84	96

<sup>(1)</sup> Licandeo et al. (2006); <sup>(3)</sup> Licando & Cerna (2007). El número del superíndice de la fuente de estudio coincide con aquel de la Figura 12

En la comparación espacial (**Figura 38**), el rango de tamaño de los machos maduros fue similar entre la zona centro sur y norte de la Patagonia, abarcando entre los 81-106 cm LT reportado por Licandeo et al. (2006), 80-107 cm LT por Licandeo & Cerna (2007) y 80-111 cm LT por el presente estudio. Mientras en la zona sur de la

Patagonia, el rango de tallas de los machos maduros abarcó entre los 85-124 cm LT, tamaños más grandes en comparación a las otras zonas (**Figura 38**).

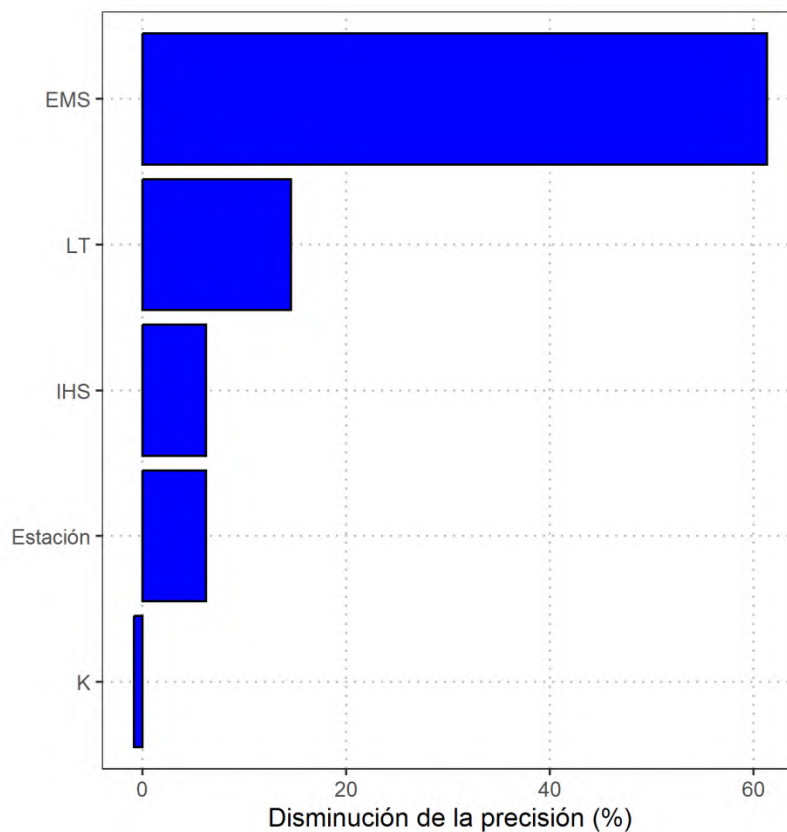


**Figura 38.** Comparación espacial de la regresión segmentada entre la longitud del clasper y longitud total de los machos de raya volantín. La línea discontinua y el cuadro azul indican el punto de quiebre significativo de la relación. El área sombreada corresponde el intervalo de confianza al 95%. El número indica la fuente del estudio: 1) Licandeo et al. (2006); 2) presente proyecto FIPA 2023-26; 3) Licandeo & Cerna (2007).

### 3.2. Modelación de la condición reproductiva de raya volantín con Machine Learning

#### Modelación del IGS de las hembras

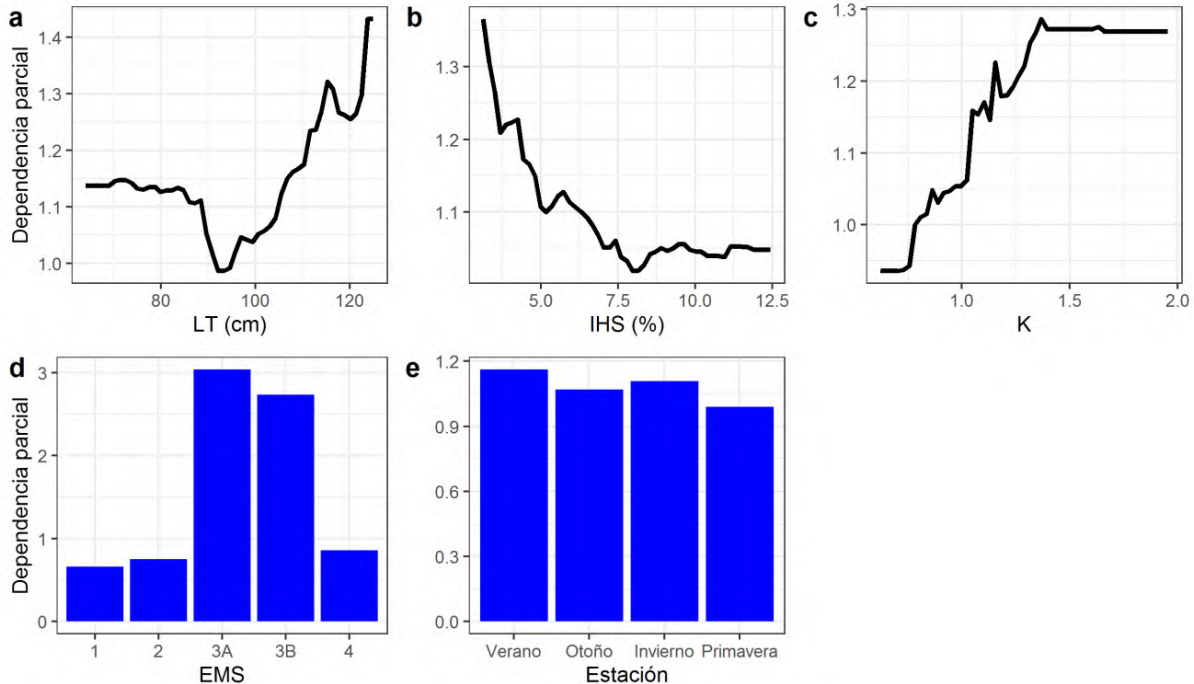
En las hembras de raya volantín, el modelo RF con cuatro predictores seleccionado al azar para construir un árbol de decisión y tamaño del bosque de 500 árboles fue seleccionado debido al valor mínimo de la tasa de error OOB y estable al incrementar el número de árboles (**Figura S4a ver Anexo 2**). La media del cuadrado residual fue de 0,1805 y el modelo RF explicó el 66,62% de la variación del IGS. El EMS fue el predictor más importante para este modelo, ya que al excluir esta variable, el modelo pierde más del 60% de precisión (**Figura 39**). Los siguientes predictores por orden de importancia fueron LT (17%), IHS (6%) y Estación (6%). El predictor K tuvo un valor negativo (-0,8%) indicando que tiene bajo o nulo poder predictivo sobre la variación del IGS (**Figura 39**).



**Figura 39.** Importancia de los predictores seleccionados en la modelación del índice gonadosomático de las hembras de raya volantín colectadas en el presente estudio.

Las asociaciones entre el IGS y predictores son interpretadas mediante gráficos de dependencia parcial (**Figura 40**). El modelo predice que el IGS es bajo en hembras pequeñas (<85 cm LT), pero que éste incrementa continuamente en tallas mayores (>95 cm LT). No obstante, el IGS predicho mostró una asociación inversa con el IHS, indicando una mayor probabilidad de encontrar hembras con mayores valores de IGS (i.e. en proceso reproductivo) cuando su IHS es inferior que 6% de su peso eviscerado, mientras que el IGS disminuyó sobre ese valor umbral de IHS (**Figura 40**).

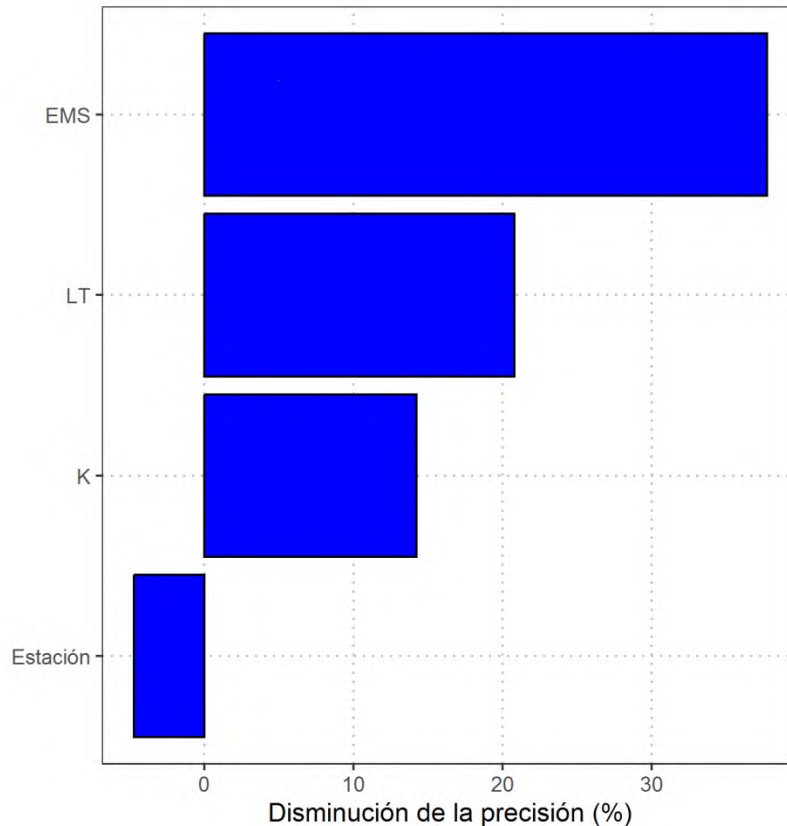
Si bien, el modelo predice que hembras con valores altos de K (i.e. mejor condición nutricional) poseen mayores valores de IGS y, por lo tanto, un desarrollo gonadal más avanzado (**Figura 40**), esta asociación debe tomarse con cautela, dado que el poder predictivo de K fue bajo en el modelo (**Figura 39**). Los cambios de los valores del IGS predicho estuvieron en correspondencia con el estadio de madurez macroscópico, con mayores valores en EMS 3A y 3B así como valores de IGS mínimos en los EMS 1 y 2 (**Figura 40**), coincidiendo con lo descrito en la **Figura 17**. Finalmente, el modelo RF señaló que el IGS predicho varió estacionalmente, mostrando dos peak con IGS máximo, uno principal en el verano y otro secundario en invierno, alcanzando valores mínimos en primavera (**Figura 40**). Esto último indica que la raya volantín se reproduce todo el año, pero con una mayor actividad entre el verano e invierno.



**Figura 40.** Variación del índice gonadosomático modelado con Random Forest de las hembras de raya volantín colectado en el presente estudio.

#### **Modelación del índice de clasper de los machos**

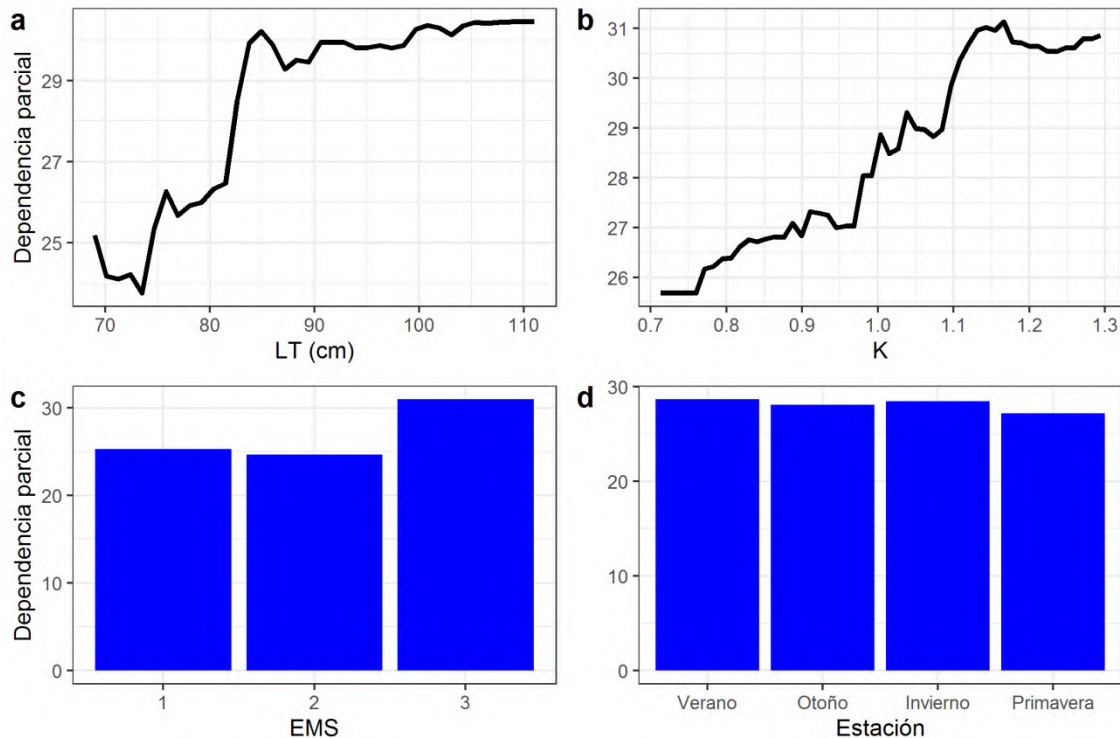
En los machos de raya volantín, el modelo RF con dos predictores seleccionado al azar y un bosque con 500 árboles fue elegido por el valor mínimo de la tasa de error OOB que se mantuvo estable al incrementar el número de árboles (**Figura S4b ver Anexo 2**). La media del cuadrado residual fue de 21,1407 y el modelo RF explicó el 56,79% de la variación del índice de clasper. El EMS fue el predictor más importante, dado que con su exclusión el modelo pierde el 38% de precisión (**Figura 41**). La LT y K son los siguientes predictores de importancia, lo cual con su exclusión en la predicción del índice de clasper significaría una reducción mayor al 10% de la precisión del modelo. La estación es el predictor menos importante por su valor negativo (-3%), indicando una baja o nula influencia sobre la variación de la variable respuesta (**Figura 41**).



**Figura 41.** Importancia de los predictores seleccionados en la modelación del índice de clasper de los machos de raya volantín colectados en el presente estudio.

El modelo predice una asociación positiva entre el índice de clasper con la LT y K (**Figura 42**). Los valores predichos de esta variable respuesta fueron bajos en machos inferiores a 80 cm LT, mientras que este índice alcanzó valores mayores y estables en individuos mayores a 85 cm LT (**Figura 42**). Similar evolución ocurre entre el índice de clasper predicho y K, donde el modelo indica que la probabilidad de encontrar machos con mayor índice de clasper (i.e. mayor desarrollo) incrementa con su condición nutricional ( $>1,0$ ). El índice de clasper predicho varió en correspondencia con el estadio de madurez macroscópico, con mayores valores en EMS 3 (i.e. maduros o adultos) y valores bajos en los EMS 1 y 2 (**Figura 42**). Si bien, el modelo indicó que la estación tuvo bajo o nulo poder predictivo sobre el índice de clasper, la mayor probabilidad de encontrar machos con clasper más desarrollado fue entre verano e invierno (**Figura 42**). Esta variación estacional concuerda con el

IGS de las hembras, reiterando una mayor actividad reproductiva de raya volantín entre verano e invierno.



**Figura 42.** Variación del índice de clasper modelado con Random Forest en los machos de raya volantín colectado en el presente estudio.

### 6.3.3. Revisión bibliográfica

#### Tallas del 50% de madurez y ciclo reproductivo

Las tallas medianas de madurez sexual ( $L_{50\%}$ ), para un total de 32 especies de la familia Rajidae, fueron alcanzadas entre el 39% y 89% de las tallas máximas reportadas para cada especie (66% en promedio). En el género *Dipturus*, incluyendo a *Zearaja chilensis* como perteneciente a dicho género, dichos porcentajes también variaron entre 39% y 89%, con un promedio del 65%.

Se observó dimorfismo sexual en términos de la talla  $L_{50\%}$ . Así, las hembras presentaron mayores tallas de madurez sexual que los machos, alcanzando el  $L_{50\%}$  de madurez al 68% de la longitud total en promedio, en tanto los machos, al 64% (Tabla 8).

Se identificaron un total de 36 publicaciones en las que se menciona un ciclo

reproductivo anual para distintas especies de la familia Rajidae. En un total de 24 especies de rayas bentónicas se reportó un ciclo reproductivo continuo, el cual podría también incluir períodos en los cuales hay máximos de actividad (**Tabla 9**).

En el género *Dipturus*, se identificaron 12 publicaciones que reportaron reproducción continua para un total de ocho especies de rayas de dicho género. Específicamente, *Dipturus cerva*, *Dipturus canutus*, *Dipturus confusus*, *Dipturus gudgeri*, *Dipturus laevis*, *Dipturus nidarosiensis*, *Dipturus oxyrinchus* y *Dipturus polyommata*, especies con distribuciones geográficas que incluyen el mar Mediterráneo, Canadá (costa Atlántica) y Australia.

En Sudamérica, se ha indicado que especies del Atlántico, como *Atlantoraja castelnaui*, *Atlantoraja cyclophora*, *Bathyraja albomaculata*, presentan reproducción durante todo el año, aunque pueden presentar períodos de máxima actividad.



**Tabla 8.** Información de estimaciones de tallas medianas de primera madurez sexual ( $L_{50\%}$ ) y ratio  $L_{50\%}/l_{max}$ , por especie, para la familia Rajidae. H: Hembras, M: Machos

Especie	Sexo	I50 (mm), sexo	I50/lmax	Cita
<i>Raja clavata</i>	H	784 (H)	0,564	Serra-Pereira et al (2011)
<i>Raja clavata</i>	M	676 (M)	0,644	
<i>Raja clavata</i>	H	754 (H)	0,542	Bilgin & Onay (2020)
<i>Raja clavata</i>	M	717 (M)	0,683	
<i>Raja clavata</i>	H	746 (H)	0,537	Saglam & Ak (2012)
<i>Raja clavata</i>	M	718 (M)	0,684	
<i>Raja clavata</i>	H	814 (H)	0,586	Kadri et al (2014)
<i>Raja clavata</i>	M	674 (M)	0,642	
<i>Raja clavata</i>	H	718 (H)	0,517	Gallagher et al (2004)
<i>Raja clavata</i>	M	657(M)	0,626	
<i>Raja clavata</i>	H	720 (H)	0,518	Walker (1999)
<i>Dipturus laevis</i>	H	1163 (H)	0,713	Gedamke et al (2005)
<i>Dipturus laevis</i>	M	1079 (M)	0,662	
<i>Dipturus flossada</i>	H	1975 (H)	0,661	Iglesias et al (2010)
<i>Dipturus flossada</i>	M	1855 (M)	0,693	
<i>Leucoraja ocellata</i>	H	730 (H)	0,487	Sulikowski et al (2005b)
<i>Leucoraja ocellata</i>	M	760 (M)	0,507	
<i>Dipturus oxyrinchus</i>	H	795 (H)	0,53	Alkusaury & Saad (2017)
<i>Dipturus oxyrinchus</i>	M	709 (M)	0,473	
<i>Dipturus oxyrinchus</i>	H	821 (H)	0,547	Kadri et al (2014)
<i>Dipturus oxyrinchus</i>	M	720 (M)	0,48	
<i>Dipturus oxyrinchus</i>	H	1035 (H)	0,69	Bellodi et al (2015)
<i>Dipturus oxyrinchus</i>	M	910 (M)	0,607	
<i>Bathyraja parmifera</i>	H	932 (H)	0,69	Matta (2015)
<i>Bathyraja parmifera</i>	M	917 (M)	0,679	
<i>Bathyraja parmifera</i>	H	920 (H)	0,681	Ebert (2005)
<i>Bathyraja parmifera</i>	M	879 (M)	0,651	
<i>Bathyraja trachura</i>	H	735 (H)	0,826	Ebert et al (2008)
<i>Bathyraja trachura</i>	M	755 (M)	0,83	
<i>Bathyraja kincaidii</i>	H	467 (H)	0,805	Perez-Brazen et al (2014)
<i>Bathyraja kincaidii</i>	M	492 (M)	0,794	
<i>Raja binoculata</i>	H	1486 (H)	0,609	Ebert et al (2008)
<i>Raja binoculata</i>	M	1192 (M)	0,489	
<i>Raja rhina</i>	H	1131 (H)	0,628	Ebert et al (2008)
<i>Raja rhina</i>	M	1029 (M)	0,572	
<i>Raja miraletus</i>	H	359 (H)	0,601	Ferragut-Perelló et al (2023)
<i>Raja miraletus</i>	M	334 (M)	0,53	

**Tabla 8 (continuación).** Información de estimaciones de tallas medianas de primera madurez sexual ( $L_{50\%}$ ) y ratio  $L_{50\%}/l_{max}$ , por especie, para la familia Rajidae H: Hembras, M: Machos

Especie	Sexo	$L_{50}$ (mm), sexo	$L_{50}/l_{max}$	Cita
<i>Raja nabeus</i>	M	568 (M)	0,701	Gallagher et al (2004)
<i>Raja nabeus</i>	H	561 (H)	0,825	
<i>Raja nabeus</i>	H	590 (H)	0,868	Walker (1999)
<i>Leucoraja nabeus</i>	H	565 (H)	0,698	Maia et al (2012)
<i>Leucoraja nabeus</i>	M	560 (M)	0,824	
<i>Dipturus intermedius</i>	H	1229 (H)	0,431	Iglesias et al (2010)
<i>Dipturus intermedius</i>	M	1150 (M)	0,404	
<i>Bathyraja albomaculata</i>	H	653 (H)	0,453	Ruocco et al (2006)
<i>Bathyraja albomaculata</i>	M	628 (M)	0,436	
<i>Dipturus trachyderma</i>	H	2150 (H)	0,814	Licandeo et al (2007)
<i>Dipturus trachyderma</i>	M	1950 (M)	0,739	
<i>Dipturus trachyderma</i>		1940 (H/M)	0,735	Céspedes et al. (2005)
<i>Dipturus trachyderma</i>	M	1540 (M)	0,583	
<i>Zearaja chilensis</i>	H	1090 (H)	0,717	Bustamante et al (2012)
<i>Zearaja chilensis</i>	M	880 (M)	0,579	
<i>Zearaja chilensis</i>	H	1068 (H)	0,703	Céspedes et al. (2005)
<i>Zearaja chilensis</i>	M	822 (M)	0,541	
<i>Zearaja chilensis</i>	H	1060 (H)	0,697	Licandeo et al. (2006)
<i>Zearaja chilensis</i>	M	860 (M)	0,566	
<i>Zearaja chilensis</i>	H	1031 (H)	0,678	Licandao & Cerna (2007)
<i>Zearaja chilensis</i>	M	879 (M)	0,578	
<i>Zearaja chilensis</i>	H	1035 (H)	0,681	
<i>Zearaja chilensis</i>	M	871 (M)	0,573	
<i>Atlantoraja castelnaui</i>	H	1089 (H)	0,825	Colonello et al (2012)
<i>Atlantoraja castelnaui</i>	M	980 (M)	0,742	
<i>Raja montagui</i>	H	574 (H)	0,563	Gallagher et al (2004)
<i>Raja montagui</i>	M	536 (M)	0,525	
<i>Raja montagui</i>	H	580 (H)	0,569	Walker (1999)
<i>Raja brachyura</i>	H	835 (H)	0,668	Gallagher et al (2004)
<i>Raja brachyura</i>	M	819 (M)	0,683	
<i>Bathyraja aleutica</i>	H	1330 (H)	0,864	Ebert (2005)
<i>Bathyraja aleutica</i>	M	1210 (M)	0,752	
<i>Bathyraja maculata</i>	H	990 (H)	0,739	Ebert (2005)
<i>Bathyraja maculata</i>	M	937 (M)	0,699	
<i>Bathyraja minispinosa</i>	H	661 (H)	0,801	Ebert (2005)
<i>Bathyraja minispinosa</i>	M	695 (M)	0,842	

**Tabla 8 (continuación).** Información de estimaciones de tallas medianas de primera madurez sexual ( $L_{50\%}$ ) y ratio  $L_{50\%}/l_{max}$ , por especie, para la familia Rajidae H: Hembras, M: Machos

Especie	SEXO	I50 (mm), sexo	I50/lmax	Cita
<i>Psammobatis rudis</i> *	H	414 (H)	0,781	Mabragaña & Cousseau (2004)
<i>Psammobatis rudis</i> *	M	428 (M)	0,806	
<i>Psammobatis normani</i>	H	403 (H)	0,733	Mabragaña & Cousseau (2004)
<i>Psammobatis normani</i>	M	414 (M)	0,714	
<i>Dipturus polyommata</i>	H	321 (H)	0,892	Kyne et al (2008)
<i>Dipturus polyommata</i>	M	300 (M)	0,833	
<i>Dipturus polyommata</i>	H	304 (H)	0,844	Rigby et al (2016a)
<i>Dipturus polyommata</i>	M	278 (M)	0,772	
<i>Dipturus polyommata</i>	H	303 (H)	0,842	Rigby et al (2016b)
<i>Dipturus polyommata</i>	M	278 (M)	0,772	
<i>Dipturus nasutus</i>	H	591 (H)	0,501	Francis et al (2012)
<i>Dipturus nasutus</i>	M	517 (M)	0,438	
<i>Dipturus innominatus</i>	H	1122 (H)	0,468	Francis et al (2012)
<i>Dipturus innominatus</i>	M	933 (M)	0,389	
<i>Dipturus pullopunctata</i>	H	1041 (H)	0,801	Ebert et al (2008)
<i>Dipturus pullopunctata</i>	M	914 (M)	0,703	
<i>Dipturus pullopunctata</i>	H	812 (H)	0,625	Ebert et al (2008)
<i>Dipturus pullopunctata</i>	M	865 (M)	0,665	
<i>Dipturus batis</i>	F	1400-1800 (F)		Walker (1999)
<i>Dipturus cerva</i>	H	487 (H)	0,738	Treloar (2008)
<i>Dipturus cerva</i>	M	470 (M)	0,712	
<i>Dipturus confusus</i>	H	526(H)	0,757	Treloar (2008)
<i>Dipturus confusus</i>	M	479 (M)	0,738	

\*Se consideró el Lmax indicado en la publicación citada

**Tabla 9.** Información de ciclo reproductivo, por especie, para la familia Rajidae

Especie	Lugar y Ciclo reproductivo	Cita
<i>Amblyraja radiata</i>	Montreal, Canadá. Animales en cautiverio. Puesta de cápsulas todo el año.	Parent et al (2008)
<i>Amblyraja radiata</i>	Golfo de Maine (USA). Reproducción activa todo el año.	Sulikowski et al (2005a)
<i>Atlantoraja castelnaui</i>	Argentina. Hembras se reproducen todo el año con máximos de actividad. Machos sin estacionalidad en la actividad, pueden reproducirse todo el año.	Colonello et al (2012)
<i>Atlantoraja cyclophora</i>	Argentina. Ciclo reproductivo anual con máximos de IGS en diciembre, sugiriendo un máximo reproductivo en hembras durante primavera. Machos con ciclo reproductivo continuo durante el año	Wehitt et al (2018)
<i>Bathyraja albomaculata</i>	Atlántico sur-occidental. Hembras portan cápsulas en abril, septiembre y octubre, sugiriendo desove durante todo el año.	Ruocco et al (2006)
<i>Bathyraja kincaidii</i>	California central. IGS, IHS indican ciclo reproductivo continuo, con máximo estacional en verano y otoño y período de descanso siguiendo a la puesta de cápsulas.	Perez-Brazen et al (2014)
<i>Bathyraja parmifera</i>	Mar de Bering. La ocurrencia de cápsulas y otros indicadores reproductivos indican que se reproduce continuamente durante todo el año.	Matta (2015)
<i>Bathyraja parmifera</i>	Muestras estacionales indican al verano (junio y julio) como el máximo de la actividad reproductiva, aunque alguna actividad reproductiva ocurre durante todo el año.	Hoff (2008)
<i>Bathyraja trachura</i>	IGS, IHS no indican estacionalidad del ciclo reproductivo, sugiriendo que la reproducción podría ocurrir todo el año.	Davis (2006)
<i>Beringrāja pulchra</i>	Corea del Sur. Desove todo el año, con máximo entre abril y junio.	Kang et al (2013)
<i>Dipturus cerva</i>	Sur este de Australia. Ciclo reproductivo continuo.	Treloar (2008)
<i>Dipturus canutus</i>	Sur este de Australia. Ciclo reproductivo continuo.	Treloar (2008)
<i>Dipturus confusus</i>	Sur este de Australia. Ciclo reproductivo continuo.	Treloar (2008)
<i>Dipturus gudgeri</i>	Sur este de Australia. Ciclo reproductivo continuo.	Treloar (2008)
<i>Dipturus intermedius</i>	Costa oeste de Escocia. Evidencia de un ciclo estacional, durante el invierno, hembras depositan huevos durante todo el invierno.	Thorburn et al (2023)
<i>Dipturus laevis</i>	Montreal, Canadá. Animales en cautiverio. Cápsulas observadas todo el año. Hembra deposita cápsulas todo el año. La puesta fue mayor en otoño y menor en primavera.	Parent et al (2008)

**Tabla 9 (continuación).** Información de ciclo reproductivo, por especie, para la familia Rajidae

Especie	Lugar y Ciclo reproductivo	Cita
<i>Dipturus nidarosiensis</i>	Mar Mediterráneo. Hembras maduras durante un período largo (marzo, septiembre y diciembre) sugiere que son desovadores continuos.	Follesa et al (2012)
<i>Dipturus nidarosiensis</i>	Mar Mediterráneo, Cerdeña. Se sugiere una reproducción larga, con ejemplares maduros entre los 550 y 600 m.	Porcu et al (2020)
<i>Dipturus oxyrinchus</i>	Mar Mediterráneo, Cerdeña. Ciclo reproductivo extendido, con hembras desovando y machos activos casi todo el año.	Bellodi et al (2015)
<i>Dipturus oxyrinchus</i>	Túnez, mar Mediterráneo. Hembras vitelogénicas activas y cápsulas observadas todo el año, con la mayor fracción en primavera y verano. IGS, IHS indican que muestra un ciclo reproductivo continuo.	Kadri et al (2014)
<i>Dipturus oxyrinchus</i>	Siria. Tiene un ciclo reproductivo continuo. IGS indica que en las hembras alcanzó su mayor valor en invierno y primavera. En machos, el mayor valor fue en otoño.	Alkusairy & Saad (2017)
<i>Dipturus oxyrinchus</i>	Resultados sugieren reproducción continua durante el año para <i>D. oxyrinchus</i> , confirmado por la presencia de hembras capaces de desovar en todas las estaciones con predominio de ejemplares activos en otoño e invierno (fines de septiembre a fines de marzo)	Porcu et al (2017)
<i>Dipturus polyommata</i>	Noreste de Australia. Parece tener un ciclo reproductivo continuo, aunque se sugiere un máximo entre marzo y abril	Rigby et al (2016)
<i>Dipturus trachyderma</i>	Sur de Chile. Las hembras portan cápsulas en marzo y julio. Ocho hembras activas desde finales de verano hasta principios de invierno.	Licandeo et al (2007)
<i>Leucoraja naveus</i>	Costa de Portugal. Desove todo el año, con actividad máxima en invierno.	Maia et al (2012)
<i>Leucoraja ocellata</i>	Montreal, Canadá. Animales en cautiverio. Puesta de cápsulas todo el año.	Parent et al (2008)
<i>Malacoraja senta</i>	Costa de New Hampshire y Massachusetts, USA. Los parámetros reproductivos permanecen relativamente constantes durante todo el año.	Sulikowski et al (2007)
<i>Raja binoculata</i>	Golfo de Alaska. Reproductivamente activa todo el año sin un ciclo estacional evidente.	Ebert et al (2008)
<i>Raja clavata</i>	Mar Negro, Turquía. Las hembras portan cápsulas en julio y octubre. Variaciones en IGS, IHS indicaron un ciclo reproductivo continuo durante el año.	Saglam & Ak (2012)
<i>Raja clavata</i>	Aguas de Gran Bretaña. Tienen un período de desove extendido, desde febrero a septiembre con máximo en junio.	Holden, M.J. (1975)
<i>Raja clavata</i>	Carmarthen Bay, Gran Bretaña. Máximo desove entre mayo y septiembre.	Ryland & Ajayi (1984)

**Tabla 9 (continuación).** Información de ciclo reproductivo, por especie, para la familia Rajidae

Especie	Lugar y Ciclo reproductivo	Cita
<i>Raja clavata</i>	Languedoc, sur de Francia. Actividad vitelogénica prácticamente todo el año, un poco menos en abril y agosto. Producción de cápsulas durante todo el año, excepto en abril y agosto. Se sugiere actividad reproductiva semipermanente, aunque parece ser más evidente en primavera y un poco menos en invierno.	Capapé et al (2007)
<i>Raja clavata</i>	Túnez, Golfo de Gabès. Hembras con desove activo todo el año. La fracción desovante fue alta entre mayo y septiembre, con máximo en julio. Machos maduros todo el año, las mayores fracciones en junio (71%). No puede ser considerada desovador continuo.	Kadri et al (2014)
<i>Raja clavata</i>	Portugal. Hembras y machos capaces de desovar durante todo el año. Desove principalmente entre mayo y enero, con máximo en agosto. Podrían existir diferencias regionales en la estrategia reproductiva.	Serra-Pereira et al (2011)
<i>Raja clavata</i>	Norte del Mar Egeo. Durante casi todo el año con máximo en primavera e invierno.	Cabbar & Yiğın (2021)
<i>Raja clavata</i>	Mar negro. El IGS indica actividad reproductiva durante todo el año. Desove todo el año.	Bilgin & Onay (2020)
<i>Raja eglanteria</i>	Costa de Florida. Reproducción y puesta de cápsulas desde diciembre hasta mediados de mayo	Luer and Gilbert (1985)
<i>Raja miraletus</i>	Islas Baleares, Mediterráneo occidental. Reproducción principalmente entre primavera y verano con máximo desove, la presencia de cápsulas en todas las estaciones indica que el desove podría continuar el resto del año, aunque con menos intensidad.	Ferragut-Perelló et al (2023)
<i>Raja miraletus</i>	Senegal. Variaciones mensuales en la producción gónadas, aunque la actividad vitelogénica se observó durante todo el año.	Capapé et al (2010)
<i>Raja miraletus</i>	Mar Egeo. Período de desove todo el año, con un máximo en primavera y verano.	Yiğın & Işmen (2021)
<i>Raja naveus</i>	Mar Celta (sur de Irlanda). Puesta de cápsulas durante más de la mitad del ciclo.	Du Buit (1976)
<i>Raja pulchra</i>	Mar Amarillo (China). Desova durante todo el año, excepto en agosto y septiembre, con máximos en abril-junio y noviembre-diciembre	Yeon et al., 1997).
<i>Raja rhina</i>	Golfo de Alaska. Reproductivamente activa todo el año sin un ciclo estacional evidente.	Ebert et al (2008)
<i>Raja velezi</i>	Costa Rica. Ciclo reproductivo continuo, sin máximos aparentes durante el año	Azofeifa-Solano (2021)
<i>Sympterygia acuta</i>	En aguas cercanas a la costa de la provincia de Buenos Aires (Argentina), se ha encontrado un ciclo reproductivo estacional para esta especie, caracterizado por una máxima actividad de puesta de huevos en primavera y eclosión en verano.	Vazquez et al (2022)

## Estrategias de manejo

*Raja clavata* es una especie de raya bentónica que se distribuye desde Islandia hasta Sudáfrica, incluyendo el mar Mediterráneo (Kraft, 2024). Es considerada la especie más abundante de raya en la sección sur occidental del Mar del Norte y al interior del gran estuario del Támesis (Reino Unido) sus capturas alcanzan entre el 93 y 100% de las capturas de rayas, dependiendo del arte de pesca. Las capturas de rayas por parte de naves del Reino Unido son realizadas como especie objetivo, así como fauna acompañante mediante arrastre de fondo, redes de enmalle, longline y, adicionalmente, como especie objetivo de pesca recreativa. En Portugal, es una especie de gran importancia para la flota costera de pequeño y mediano tamaño (Figuereido et al., 2020). En conjunto con otras especies tales como *Raja montagui* y *Raja brachyura*, conforma una pesquería multiespecífica cuyas capturas son denominadas genéricamente “rayas” (Ellis et al., 2008).

En el caso particular del Reino Unido, se han implementado varias iniciativas para la gestión de la pesquería de rayas, las cuales están enfocadas a áreas geográficas específicas y contenidas en Planes de Manejo *ad hoc*. Por ejemplo, en el Canal de Bristol, la Devon & Severn Inshore Fisheries and Conservation Authority (IFCA) (Peverley & Stewart, 2021) promueve un Plan de Manejo centrado en el monitoreo de poblaciones, la integración entre la planificación marina y la gestión pesquera, el avance hacia la evaluación y manejo pesquero monoespecíficos, el fortalecimiento de la comunicación con pescadores, así como el fortalecimiento del control sobre las pesquerías comerciales y recreativas. Un aspecto destacable es la inclusión activa de pescadores en el diseño y ejecución de las acciones. Estas medidas han permitido profundizar en el conocimiento ecológico de otras especies de raya que conforman la pesquería, como *Raja microocellata*, aunque se reconoce la necesidad de seguir evaluando el estado de sus poblaciones.

También en el Reino Unido, el Plan de Manejo Pesquero de pesquerías de rayas bentónicas y rayas del sur del Mar del Norte y del Canal de la Mancha (FMP), cubre las subdivisiones ICES 7d, 7e 4b y 4c, e incluye especies clave como *Raja clavata*, *Raja brachyura*, *Raja microocellata*, *Raja montagui* y *Raja naevus*. El plan está en desarrollo (<https://www.gov.uk/guidance/southern-north-sea-and-english-channel->

[skates-and-rays-fisheries-management-plan](#)) y contempla medidas diversas, como restricciones en las tallas mínimas y máximas de captura (MCRS y MaxCRS), el uso de monitoreo electrónico remoto (REM) y la identificación de hábitats esenciales. Como parte de áreas prioritarias para el manejo, el plan propone explorar en el mediano plazo e implementar, si se considera apropiado, vedas temporales y espaciales para proteger hábitats esenciales para rayas bentónicas. Aunque aún está en proceso de implementación, se espera que su enfoque adaptativo, basado en información científica y participación, contribuya a la recuperación de estas poblaciones (Defra, 2024).

Cabe indicar que la pesquería multiespecie de rayas, en torno a aguas británicas, fue manejada empleando cuotas globales multi específicas de captura entre 1999 y 2009. Posteriormente, se introdujeron cuotas específicas por especie, tallas mínimas y manejo espacial por áreas, en términos de la obligación de reportar desembarques desde zonas de conservación, la prohibición de desembarques y/o cuotas específicas.

En 2005 se adoptó voluntariamente, por parte de la Asociación de Pescadores de North Devon, un cierre o veda estacional, en una zona de 300 km<sup>2</sup>, denominada coloquialmente como "Ray box", en el canal de Bristol, en donde se estableció una prohibición de pesca de arrastre por seis meses al año para proveer de un área protegida para el desove sin presión de pesca y estableciéndose además una talla mínima de 38 y de 45 cm entre punta de alas.

Actualmente, la pesquería incluye medidas de manejo como la prohibición de retención de capturas de algunas especies en ciertas áreas, cuotas globales multi específicas o por especie, restricciones de tamaños de malla y restricciones a aparejos en cierto hábitat costeros y estuarinos.

En 2012, se incluyó una norma relativa a un tamaño mínimo de conservación de referencia (CRS), en donde se prohíbe la venta para consumo humano directo (producto que alcanza su mayor precio), de individuos bajo dicha talla. Si bien desde 2019 hay una norma que establece cero descarte, se exceptúa la devolución de rayas, pues se presume tienen alta probabilidad de sobrevida (Peeverley & Stewart,



2021).

En la costa continental de Portugal una flota multiespecífica captura distintas especies de rayas, principalmente a profundidades menores a 200 m. Entre ellas, destaca: *Raja clavata*, *Raja brachyura*, *Raja montagui*, *Leucoraja naevus* y *Raja undulata*. En la captura se utilizan principalmente redes de trasmallo y arrastre.

En 2009 se estableció una cuota global multiespecífica para rayas y la legislación europea prohibió la captura de algunas especies, como *Raja undulata*, *Dipturus batis* y *Rostroraja alba*, estableciendo la obligatoriedad de devolverlas al mar. No obstante, *Raja undulata* tiene gran importancia económica local para la flota portuguesa de embarcaciones pequeñas, lo cual generó controversia, provocando posteriormente el establecimiento de una cuota de captura reducida para seguimiento en 2015 (Serra-Pereira et al., 2018; Figueiredo et al., 2020).

Portugal ha establecido ordenanzas de veda estacional para rayas como *Raja clavata* entre mayo y junio de cada año (Portaria no 315/2011 y Portaria no 47/2016), además de una talla mínima de desembarque de 52 cm (Kraft et al., 2024). La ordenanza (Portaria) no 315/2011 indica: “Para aumentar la probabilidad de autorenovación de las especies de rayas que habitan en la costa continental, cuya devolución al mar presenta buenas tasas de supervivencia, se establece ahora la prohibición de captura de todas las especies de raya, para todos los artes de pesca, durante dicho mes”, la cual fue modificada por la Portaria no47/2016, que señala “Se prohíbe la captura, retención a bordo o desembarque de rayas de las especies *Raja* spp. y *Leucoraja* spp., cualquiera que sea el arte de pesca utilizado, durante los meses de mayo y junio en la subzona continental de la Zona Económica Exclusiva, excepto como captura incidental, y su peso no podrá exceder el 5% de la captura total retenida a bordo y desembarcada” (<https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/portaria/47-2016-73908228>). Cabe indicar que dicha medida fue criticada por pescadores, debido a que consideraron que la medida fue implementada sin considerar su conocimiento sobre el recurso (Silva et al., 2021).

Portugal igualmente ha explorado el uso de áreas marinas protegidas (AMP) para la

conservación de *Raja clavata* en la región del Algarve en el sur del país. Investigaciones con telemetría acústica indicaron que las rayas presentaban una residencia estacional con alta actividad durante primavera y verano, así como segregación espacial entre machos y hembras. Este hallazgo sugiere que las AMP actuales podrían estar protegiendo de forma inequitativa a los individuos, subrayando la necesidad de un diseño espacialmente explícito de las medidas de protección (Kraft et al., 2024).

En Estados Unidos, en la costa del Atlántico occidental norte, se desarrolla una pesquería de rayas que incluye siete especies: *Dipturus laevis*, *Raja eglanteria*, *Leucoraja erinacea*, *Leucoraja garmani*, *Malacoraja senta*, *Amblyraja radiata* y *Leucoraja ocellata*. La principal especie capturada es *Leucoraja ocellata*, para consumo humano directo de sus aletas, en tanto *Leucoraja erinacea* se captura para su uso como carnada, tanto de langosta como de otras pesquerías.

En esta zona de Estados Unidos, las rayas son capturadas como pesca incidental de pesquerías de arrastre y de enmalle en otras pesquerías demersales. La temporada anual de pesca se desarrolla entre Maine y Carolina del Norte. La pesquería es manejada mediante cuotas separadas para la pesquería de aletas y de carnada, desglosando por período e incluyendo límites por viaje de pesca. Igualmente, la pesquería es manejada indirectamente limitando el esfuerzo de pesca a días en el mar de otras pesquerías demersales que capturan rayas incidentalmente. (<https://www.fisheries.noaa.gov/species/northeast-skate-complex/overview>).

También en Estados Unidos, pero en el Golfo de Alaska, se distribuyen al menos 15 especies de rayas bentónicas de cuatro géneros (*Raja*, *Beringraja*, *Bathyraja* y *Amblyraja*). Antes de 2006, su captura como especie objetivo estaba permitida, no obstante, a la fecha sólo se permite la captura como fauna acompañante. El complejo de rayas que se captura como fauna acompañante se maneja como un grupo multiespecífico de “rayas”, con especificaciones de manejo distintas para dos especies: *Beringraja binoculata* y *Raja rhina*. A la fecha, existen límites de retención de rayas, en calidad de fauna acompañante en pesquerías de peces demersales, con prohibición de retención en el caso de algunas especies (Ormseth, 2021).

En Argentina, tanto en su zona económica exclusiva (ZEEA) como en la Zona Común de Pesca Argentino Uruguayo (ZCPAU), se han registrado más de 30 especies del Orden Rajiformes. Especies de rayas son capturadas por parte de la pesquería multiespecífica Argentina del “variado costero” y por la flota Uruguaya de tamaño medio (rayas costeras) y/o como fauna acompañante de las principales pesquerías Argentinas y Uruguayas de mayor tamaño, las que operan con arrastre de fondo en la captura de merluza común, langostino y otros recursos ícticos (rayas de altura). Sus desembarques suelen declararse indistintamente como “rayas”, con la excepción de *Zearaja brevicaudata* (Sinon. *Dipturus chilensis*) y la raya pintada/a lunares *Atlantoraja castelnaui* (Hozbor et al., 2023).

Al respecto, normativa de la Comisión Técnica Mixta del Frente Marítimo (CTMFM), establece que entre 1 de noviembre de 2024 hasta el 31 de marzo de 2025 queda prohibido el uso de artes de pesca que arrastren de fondo en el área delimitada por Paralelo 36°S y su intersección con el límite exterior del Río de la Plata, Paralelo 37°S, Límite exterior del mar territorial argentino y Meridiano 56°00' W (Resolución CTMFM Nro.13/2024). Dicha norma indica que lo anterior es conforme a la necesidad de contribuir a la conservación y racional explotación de peces cartilaginosos mediante el establecimiento de áreas de veda que protejan las concentraciones de reproductores y las áreas de cría en la zona común de pesca (<https://ctmfm.org/>).

*Beringraja pulchra* (sinon. *Raja pulchra*) se distribuye en las aguas costeras de Corea del Sur, con presencia además en el mar de Ojotsk y en el mar de China. Es explotada en Corea y Japón, en donde es capturada mediante enmalle y arrastre de fondo (Horimoto & Katahira, 2022). En Corea, es la especie objetivo de una flota espinelera que opera desde el puerto de Heuksando, en donde ha sido explotada tradicionalmente por parte de una flota principalmente de palangre. Debido a la sobreexplotación, la pesquería declinó en los años noventa, registrándose la recuperación de la actividad a mediados de la década de 2000 (Jo et al., 2011). La incapacidad de suplir la demanda coreana de raya, mediante la captura de esta especie, impulsó la importación de rayas desde Chile y Argentina.

En Corea, entre las medidas de manejo empleadas para la recuperación de la población, destaca el control de la pesca ilegal, restricciones a la pesca de arrastre

mediante medidas de compensación para el retiro de naves arrastreras, establecimiento de cuotas globales de captura, modificaciones de artes de pesca (empleo de anzuelos sin carnada), vedas estacionales y restricciones de talla (Lee et al., 2013).

Desde 2008, se emplean cuotas globales de capturas a una flota reducida, de 20 embarcaciones de los puertos de Heuksando y Daecheongdo. Durante los años 2007 a 2009, la normativa pesquera coreana estableció una veda de pesca de *Raja pulchra* entre el 1 de abril y el 30 de junio, mientras que desde 2010 la veda se extiende del 1 de junio al 15 de julio, por 45 días de duración (Lee, 2019).

En islas Malvinas/Falkland, existe una pesquería multiespecífica de rayas que opera mediante arrastre de fondo, de la que participan entre 10 y 12 embarcaciones, basada en la captura de especies como *Bathyrāja brachyurops*, *Bathyrāja albomaculata*, *Raja flavirostris* (o *Dipturus chilensis*) y *Bathyrāja griseocauda*, entre otras. Antes de 1993, no había medidas de manejo específicas para la pesquería, introduciéndose licencias de pesca para rayas en 1994 (Wakeford et al., 2004). De la pesquería han participado naves coreanas (hasta 2018) y españolas. Como medidas de manejo, destaca que las rayas no pueden ser capturadas como especie objetivo al sur del paralelo 51°S desde 1996 y la regulación de tamaños de malla mínimos de 400 mm para redes de arrastre, con el fin de reducir la captura como fauna acompañante de ejemplares de pequeño tamaño desde 2021 (Winter & Arkhipkin, 2023). Cabe indicar que, hasta enero de 2021, el tamaño de malla mínimo era de 110 mm y se autorizaba el uso de cadenas (tickler chain) frente al borlón de la red para levantar las rayas desde el fondo marino, con la finalidad de mejorar su eficiencia de captura. Existen igualmente normas comunes a los poseedores de licencias que obligan a transmitir diariamente sus capturas, referenciadas a zonas predeterminadas y a cambiar de posición si la captura de fauna acompañante excede un porcentaje mínimo de la captura total (Arkhipkin et al., 2023).

Por su parte, Musick & Bonfil (2004), hacen referencia particularmente a las grandes especies de rayas como *Dipturus laevis* (barndoor skate), cuyas poblaciones presentan colapsos poblacionales en el Atlántico noroccidental. Las estrategias de manejo implementadas han incluido una combinación de cierres espaciales,

restricciones de captura y prohibiciones específicas. *D. laevis* fue incluida en 1999 en la lista de especies candidatas a ser consideradas en peligro bajo la Ley de Especies Amenazadas de EE.UU. (Endangered Species Act). De modo directo fue protegida mediante el Plan de Manejo (FMP) denominado Northeast Skate Complex FMP, implementado en 2003, el cual determinó el reporte de desembarques de rayas por especie y el descarte por tamaño, incluyendo la prohibición, posesión, retención o desembarque de *D. laevis* (entre 2003 y 2018), lo cual posteriormente fue reemplazado por límites de posesión anuales de aletas y animales enteros para pesquerías regionales (Kulka et al., 2020a). Adicionalmente, debido a que la especie es capturada frecuentemente como fauna acompañante, recibió protección directa a través del North East Multispecies FMP. Entre las medidas adoptadas se incluyeron: la prohibición de retención a bordo, que obliga a liberar inmediatamente ejemplares capturados como fauna acompañante, la implementación de zonas de exclusión pesquera en áreas de concentración reproductiva o juvenil, tallas mínimas, capturas máximas por viaje y restricciones de ciertos artes de pesca de fondo. En 2000, se incluyó en el Plan de Manejo la delimitación de un área cerrada a la pesca en el denominado Georges Bank, durante el mes de mayo, así como otras áreas de cierre adicionales de carácter mensual, estacional y permanente con sobreposición con la distribución de las rayas. En 2004 se incorporaron otras medidas, incluyendo restricciones al número de días de operación y cuotas globales de pesca (Cavanagh & Damon-Randall, 2009).

## **6- SOBRE OFERTA TÉCNICA. Validación de la escala de madurez macroscópica usada en raya volantín.**

---

### **6.1. Análisis histológico**

Durante la ejecución del presente proyecto FIPA 2023-26, se decidió como equipo técnico evaluar la condición de la madurez gonadal de las hembras de raya por tres factores: 1) la existencia de más de una escala de madurez sexual macroscópica usada en estos elasmobranquios en Chile, donde una escala consistía de tres estadios de madurez sexual (i.e. 1: inmadura, 2: en desarrollo y 3: madura) de acuerdo a Richards et al. (1963) aplicada en el FIP 2003-12 (Céspedes et al., 2005) y otra escala de cuatro estadios (i.e. 1: inmadura, 2: madurando, 3: madura activa y 4: madura post-deposición), de acuerdo a Walmsley-Hart et al. (1999) aplicada por Licandeo & Cerna (2007); 2) a partir de los datos históricos disponibles colectados por IFOP se evidenció una discrepancia sobre la evolución estacional de la madurez sexual de las hembras, dado que el estadio 2 o en desarrollo (considerada parte de la fracción inmadura) mostró un incremento o mayor frecuencia de ocurrencia durante el periodo reproductivo de verano; 3) durante el primer muestreo biológico del presente estudio, ejecutado en abril de 2024, se observó macroscópicamente algunos ovarios en estadio de madurez 2 con ovocitos (o folículos) de diferente tamaños y color amarillento pálido, lo cual podría ser señales de inicio de la vitelogénesis. Por lo tanto, era muy importante validar la escala de madurez sexual macroscópica por técnicas más precisas como es la histología, dado que, para un análisis reproductivo de mayor resolución, tal como identificar áreas de desove, determinar estación del desove y estimar ojiva de madurez, es imperativo una asignación precisa de la condición de desarrollo gonadal de los individuos.

Las gónadas extraídas de raya volantín fueron colectadas desde verano hasta primavera, excepto otoño, y almacenadas en bidones con formalina al 10%. El protocolo del muestreo en terreno es el mismo descrito en la Sección de Metodología.

A continuación, se describe el procesamiento histológico.

En laboratorio, 105 gónadas fueron sometidas al método histológico para caracterizar el grado de desarrollo de los gametos. El protocolo consistió en lavados de las gónadas fijadas en agua destilada, un baño de etanol al 50% y tres baños de etanol al 70%, cada etapa por 30 minutos. Las submuestras fueron deshidratadas y aclaradas en un procesador automático de tejidos (Leica TP1020, Alemania) usando una batería creciente de etanol hasta 95%, seguido de una mezcla de etanol 95% y butanol, aclaradas con butanol (Gabe, 1968), para finalmente ser impregnadas e incluidas en Paraplast Plus en un centro de inclusión de tejidos (Leica ED1150H, Alemania). Secciones de 5  $\mu\text{m}$  de grosor obtenidas con un micrótomo (Leica RM2155, Alemania) fueron adheridas a portaobjetos con albúmina de Mayer, utilizando un baño de flotación con agua destilada a 40°C (Lab-Line Lo-Boy, USA) y secadas en una estufa a 40°C (Memmert, Alemania). Estas preparaciones se desparafinaron en xilol y se hidrataron en una batería decreciente de etanol desde etanol absoluto hasta el agua destilada. Posteriormente se tiñeron con hematoxilina para distinguir el núcleo y eosina para la diferenciación del citoplasma y algunos gránulos de secreción. Finalmente, las preparaciones fueron deshidratadas en una batería creciente de etanol, aclaradas con xilol, montadas y cubiertas con un cubreobjeto utilizando Entellan (Merck, Alemania). Las preparaciones se analizaron en un microscopio óptico de campo claro (Leica DM 2500, Alemania) y fotografiadas en un microscopio óptico de campo claro trinocular (Leitz- Leica DMRBE, Alemania), equipado con una cámara fotográfica digital (Leica DFC290, Alemania).

El desarrollo gonadal histológico de las hembras de raya volantín fue clasificado de acuerdo a la escala de madurez sexual estandarizada para elasmobranquios propuesta por Barone et al. (2007) y Bárbara-Pereira et al. (2011), resumida en la **Tabla 10**.

Un requisito clave para comparar y evaluar la precisión de la asignación de estadio de madurez sexual entre métodos mediante la matriz de confusión, es que el número o nombres de las etapas de madurez debe ser coherente entre la macroscopía (**Tabla 1**) e histología (**Tabla 10**). Por este motivo, los estadios (o fases) se agruparon en tres clases, tales como inmadura, madura activa y madura inactiva que se encuentran resumidas en la **Tabla 11**.

**Tabla 10.** Descripción histológica de la fase reproductiva de las hembras de raya volantín de acuerdo a la escala para elasmobranquios ovíparos propuesta por Barone et al. (2007) y Bárbara-Pereira et al. (2011).

Fase	Terminología	Descripción
I	Inmaduro	Ovario solo con folículos (o ovocitos) primordial y primario localizados inmediatamente bajo el epitelio germinal y la túnica albugínea.
II	En desarrollo	Ovario con presencia de folículos primordial, primario, previtelogénico y en estado de vitelogénesis inicial e intermedio (parcial). Alguna atresia puede estar presente.  <i>Subfase Desarrollo Temprano:</i> solo folículos primordial, primario y previtelogénicos de varios tamaños.
III	Capaz de reproducir	Ovario con folículos grandes y completamente vitelados. También se puede observar los otros estados foliculares menos desarrollados. Alguna atresia puede estar presente.  <i>Subfase Desove Activo:</i> Presencia de foliculo postovulatorio.
IV	Regresión	Predominio de folículos menos desarrollados (primordial, primario, previtelogénico). En algunos hay escasa presencia de folículos vitelados. Presencia de foliculo postovulatorio. Atresia folicular puede ser observada.

**Tabla 11.** Clases de madurez que agrupa los estadios asignados con macroscopía e histología en las hembras de raya volantín.

Clases	Estadios macroscópicos (Tabla 1)	Fases histológicas (Tabla 10)
Inmadura	1. Inmaduro	I. Inmaduro
	2. En desarrollo	II. En desarrollo temprano
Madura activa	3A. Capaz de reproducir	II. En desarrollo (avanzando)
	3B. Capaz de reproducir con cápsula de huevos	III. Capaz de reproducir
	4. Regresión	IV. Regresión

Las fases de desarrollo ovárico descritas en la **Figura 43** corresponden sólo a raya volantín. La **Figura 43a** representa el ovario inmaduro (Fase I) de una hembra de 73 cm LT colectada en invierno, la cual se observó con folículos en desarrollo temprano,



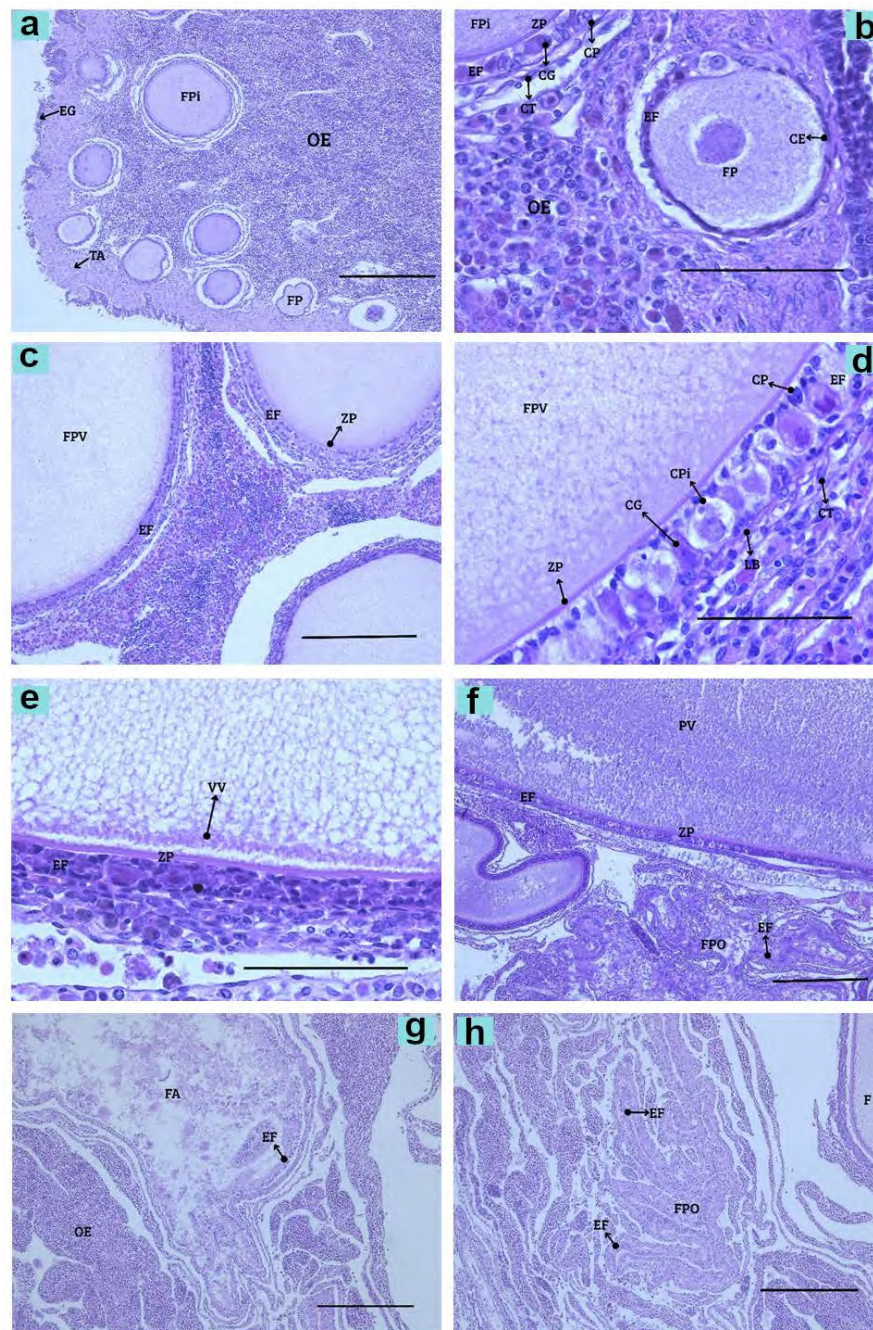
algunos del tipo primordial y otros primarios, dispuestos próximos al epitelio germinal y adyacente a la túnica albugínea. Además, se observó un órgano epigonal que se extendió gran parte del tejido ovárico (**Figura 43a**). En la **Figura 43b** se puede observar un folículo primordial caracterizado por una simple envoltura folicular de células planas o escamosas, mientras que el folículo primario de mayor tamaño (en desarrollo temprano) presentó un engrosamiento del epitelio folicular constituido por células pequeñas en ambos contornos del epitelio y por células intermedias grandes. En este folículo también se pudo observar la zona pelúcida y la envoltura de células tecaes (**Figura 43b**).

La **Figura 43c** describe un ovario en desarrollo (fase II) de una hembra de 82 cm LT colectado en noviembre. Se observó que el folículo primario avanzó hacia folículo previtelogénico, caracterizado por el engrosamiento de la envoltura folicular que a su vez contiene otros tipos de células piriformes. Los folículos previtelogénicos experimentaron crecimientos notorios alcanzando varios tamaños. En el engrosamiento de la envoltura folicular de folículos previtelogénicos se observó claramente tipos celulares, tales como células tecaes y células grandes intermedias (**Figura 43d**). Esta fase de desarrollo abarca hasta folículos que iniciaron vitelogénesis o están parcialmente vitelados. La **Figura 43e** corresponde a un ovario en desarrollo avanzado (fase II) de una hembra de 88 cm LT colectado en noviembre, donde se observa pequeñas vesículas de vitelo dispuestas en la región cortical del folículo, por lo tanto, inicio de la vitelogénesis.

La **Figura 43f** representa un ovario en la subfase capaz de reproducir activo (Fase III) de una hembra de 93 cm LT colectada en febrero. Los folículos poseen grandes glóbulos de vitelos que llenaron el citoplasma. Además, la envoltura folicular en este tipo de ovocitos tiene la apariencia de un epitelio pseudoestratificado. En esta subfase III también se observó folículos postovulatorios, evidencia de desove(s) previo(s).

Finalmente, la **Figura 43g** y **Figura 43h** corresponde un ovario en regresión (Fase IV) de una hembra de 90 cm LT colectada en noviembre. En este ovario se observó atresia, incluyendo folículo atrésico de gran tamaño. Además, hubo presencia de

folículos postovulatorios como evidencia de desoves previos o post eventos reproductivos.



**Figura 43.** Descripción histológica de las fases de desarrollo ovárico de raya volantín colectado en el presente estudio. a-b: inmadura; c-e, en desarrollo, f, capaz de reproducir; g-h, regresión. CE, células escamosas; CG, células grandes intermedias; CP, células pequeñas; CPi, células piriformes; CT, células teca; EF, envoltura folicular; EG, epitelio germinal; F, folículos en desarrollo; FA, folículo atrésico; FP, folículo primordial; FPI, folículo primario; FPO, folículos postovulatorios; FPV, folículo previtelogénico; OE, órgano epigonal; PV, partículas de vitelo; TA, túnica albugínea; ZP, zona pelúcida; VV, vesícula de vitelo. Barra = 500  $\mu$ m en la Figura a, f-h; barra = 300  $\mu$ m en la Figura c; barra = 100  $\mu$ m en la Figura b, d-e.

En la validación del desarrollo gonadal, el valor de Kappa fue 0,10 indicando un pobre nivel de concordancia en la asignación de la madurez sexual entre la macroscopía e histología. La mayor tasa de error se observó en dos clases correspondientes a la macroscopía. Según la histología, el 60,5% y 100% de las hembras evaluada con macroscopía fueron mal asignadas como inmadura y madura inactiva, respectivamente (**Tabla 12**), dado que la mayoría de aquellas gónadas sometidas a histología tuvieron ovocitos más desarrollados (i.e. en vitelogénesis) característicos de hembras madura activa.

**Tabla 12.** Comparación de la asignación de estadio de madurez sexual entre la macroscopía e histología aplicada en las hembras de raya volantín colectada por el presente estudio.

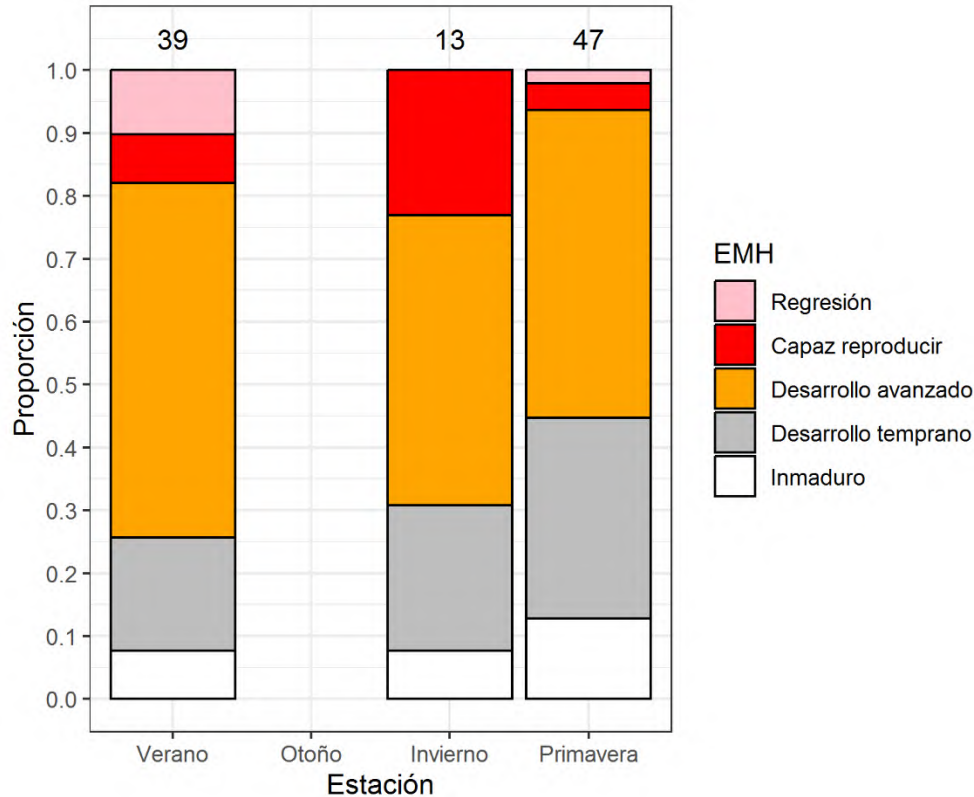
Macroscopía	Histología			Error (%)
	Inmadura	Madura activa	Madura inactiva	
Inmadura	34	47	5	60,5
Madura activa	0	8	0	0
Madura inactiva	1	4	0	100

El análisis de concordancia entre ambos métodos se resume en la matriz de confusión (**Tabla 13**). A partir de la histología, la sensibilidad de la clase inmadura fue 97%, mientras que la baja y nula sensibilidad en madura activa (13,5%) y madura inactiva (0%) se debe a la errónea asignación macroscópica, principalmente como inmadura (**Tabla 12 y Tabla 13**). La baja especificidad fue obtenida para la clase inmadura (**Tabla 13**). La mayor especificidad y prevalencia fue obtenida para la clase madura activa con valores de 100% y 59,6%, respectivamente (**Tabla 13**).

**Tabla 13.** Resumen de la matriz de confusión para evaluar el rendimiento de la macroscopía en la asignación de la madurez sexual en las hembras de raya volantín colectadas por el presente estudio.

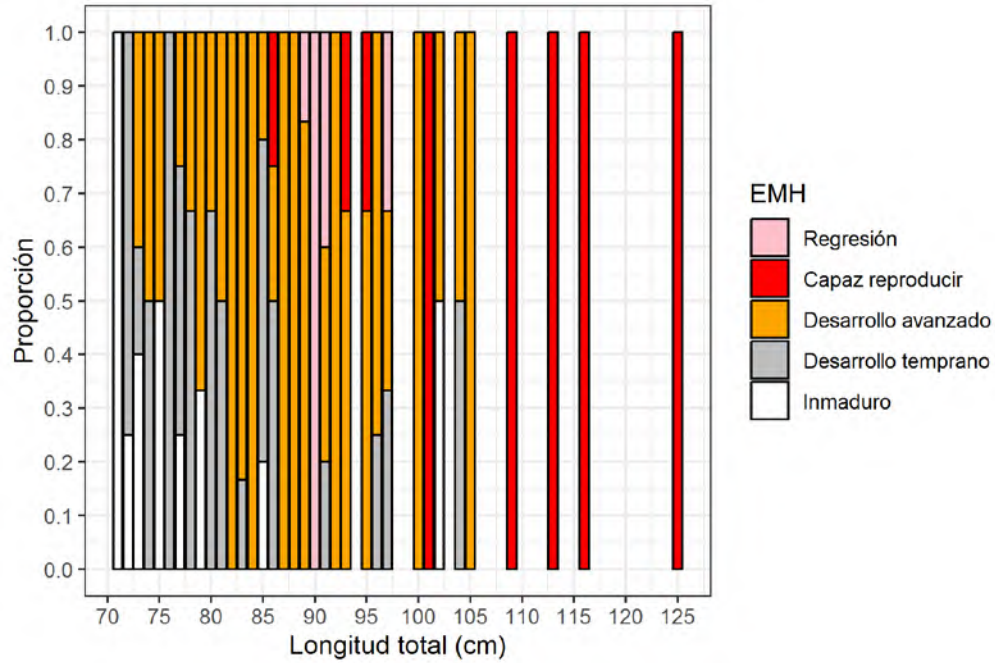
<b>Medidas</b>	<b>Inmadura</b>	<b>Madura activa</b>	<b>Madura inactiva</b>
Sensibilidad	0,9714	0,1356	0,0000
Especificidad	0,1875	1,0000	0,9468
Prevalencia	0,3535	0,5959	0,0505

La fase de madurez asignada con histología mostró un patrón estacional (**Figura 44**). En verano, el 52% de las hembras colectadas tuvieron gónadas en desarrollo avanzado (i.e. presencia de vitelo incipiente), disminuyendo levemente en las estaciones posteriores. La mayor presencia de hembras maduras (i.e. capaz de reproducir y regresión) fueron colectadas en el verano (17%) e invierno (20%), mientras que el 44% de las hembras con gónadas previtelogénicas (i.e. inmadura y en desarrollo temprano) fueron colectadas en primavera, incidencia mayor en comparación a las restantes estaciones (**Figura 44**). Es interesante notar que este patrón estacional de la madurez gonadal resultó similar con el IGS predicho por el método RF (**Figura 40e**), es decir, mayor ocurrencia de hembras maduras con IGS alto en el verano e invierno, confirmando que la mayor actividad reproductiva de la raya volantín se concentra entre esas estaciones.



**Figura 44.** Variación estacional de la condición reproductiva de las hembras evaluadas con histología en raya volantín colectadas en el presente estudio. EMH, estadio de madurez sexual con histología.

A nivel de talla, gónadas previtelogénicas (i.e. inmadura y en desarrollo temprano) y maduras (i.e. capaz de reproducir) se concentraron en hembras inferiores a 82 y mayores a 105 cm LT, respectivamente (**Figura 45**). Las gónadas en desarrollo avanzando (i.e. presencia de vitelo incipiente) se observaron en hembras que midieron entre 82 y 105 cm LT. Además, una fracción de las hembras que midieron entre 86 y 97 cm LT tuvieron gónadas capaces de reproducir y desovadas (**Figura 45**). Este análisis histológico revela que el desarrollo gonadal de las hembras inferiores a 100 cm LT es muy dinámico, algunas entrando a la vitelogénesis, una de 93 cm LT portando cápsula de huevos y otras con presencia de folículos postovulatorios, coincidiendo con lo observado en el terreno.



**Figura 45.** Condición reproductiva de las hembras a la talla evaluada con histología en raya volantín colectadas en el presente estudio. EMH, estadio de madurez sexual con histología.

## 7.- DISCUSION DE RESULTADOS

---

### 7.1. Muestreos y aspectos reproductivos obtenidos en el presente estudio

El bajo tamaño muestral ha sido habitual en estudios reproductivos de raya volantín y raya espinosa en Chile. El presente proyecto FIPA 2023-26 se ejecutó en el momento en que la condición del stock de ambos recursos se encontraba agotada y en consecuencia había una baja asignación de cuota anual de captura para ser extraída, siendo para el año 2024 de 759 y 154 toneladas para la raya volantín y raya espinosa, respectivamente (D.EXE. 202300174, MINECON 2023). Esto generó una actividad extractiva más dispersa y compleja que conllevó el consumo de la cuota anual de captura en semanas, como fue el caso de la Región de los Lagos. Si bien, todavía quedaban saldos de cuota en otras regiones, sus operaciones se vieron limitadas por el bajo poder de compra y las condiciones climáticas. Estos factores explican el número de ejemplares colectados en el presente proyecto, principalmente en el caso de raya espinosa (82 individuos). La dificultad de coleccionar muestras en estos elasmobranchios ha sido constatada por estudios anteriores, por ejemplo, durante la ejecución del proyecto FIPA 2003-12 ejecutado por IFOP entre 2003 y 2004 en la zona sur-austral, donde el tamaño de muestra también se vio limitado por la participación de muchas embarcaciones no inscritas en esta pesquería, las cuales restringieron el acceso a las capturas por temor a ser sancionados (Céspedes et al., 2005). La situación indicada ocurrió cuando ambos recursos se encontraban en plena explotación y en condiciones poblacionales saludables, cuyo desembarque superaba las 2.000 toneladas anuales (Pérez & Quiroz, 2021). A pesar de lo anterior, el presente proyecto logró registrar información biológica que entregó señales importantes de la condición reproductiva, principalmente en raya volantín, resultando similar en parte a lo reportado por otras investigaciones.

Desde el punto de vista de la observación en terreno, una escala de madurez sexual macroscópica validada mediante técnicas precisas como la histología y la experiencia del observador científico son esenciales para reducir el error en la asignación de estadios de madurez de los individuos, contribuyendo sustancialmente a la precisión en análisis de mayor resolución como determinar el área de desove,

duración de la actividad reproductiva y estimación de la ojiva de madurez, entre otros. No obstante, el presente proyecto detectó que hubo más de una escala de madurez macroscópica utilizadas por varios estudios en ambas especies de elasmobranquios sin ser validadas, difiriendo en la cantidad y nombre de los estadios, cuyas descripciones fueron muy generales y confusas (e.g. “en maduración”, pero considerada parte de la fracción inmadura) o en las cuales se omitió los estadios en regresión (o desovado) y en regeneración (o “inmaduro reincidente”), este último asignado sólo a los adultos experimentados en la reproducción, pero con gónadas similares al estadio inmaduro. La falta de estandarización de la escala de madurez ha sido abordada en otras especies de elasmobranquios, tal como la *Raja clavata*, sugiriendo la inclusión de los estadios en regresión y regeneración, ya que ambas fases al ser mal asignadas como inmaduras pueden repercutir negativamente en la estimación de la ojiva de madurez, y consecuentemente, incluir sesgos en el diagnóstico poblacional (Ebert et al., 2008; Serra-Pereira et al., 2011). Por ejemplo, una asignación errónea como inmadura o madura puede sobre-estimar o sub-estimar la ojiva de madurez, respectivamente. Por ese motivo, creemos que la escala de madurez sexual macroscópica para ambos sexos desarrollada por Sehmman (2002) y modificada por el presente proyecto (**Tabla 1** y **Tabla 2**) es la apropiada para ambos recursos de raya, pero debe continuar siendo validada con histología para a) ampliar los rangos de tallas e incrementar el número de ejemplares y b) para capacitar a observadores científicos con esta nueva escala. Además, recomendamos aplicar un protocolo de muestreo biológico completo de las hembras y machos en el monitoreo de elasmobranquios, similar a lo aplicado en el presente proyecto, lo que significa registrar el peso total, peso eviscerado, longitud total, longitud del disco, ancho del disco, peso gónada, asignación de estadio de madurez y registros visuales de las gónadas como respaldo por eventuales revisiones y correcciones.

La persistente ocurrencia de machos maduros de raya volantín y raya espinosa en las cuatro estaciones del año coincidió con lo reportado por otras fuentes (Licandeo & Cerna, 2007). En algunas especies de elasmobranquios, los machos una vez alcanzada la madurez pueden producir activamente gametos sin mostrar señales de reposo (Serra-Pereira et al., 2011). No obstante, en otras especies se observaron



diferencia del desarrollo entre la gónada y clasper, por lo tanto, machos en regresión solo pueden ser identificados con la apariencia externa de sus testículos (Barone et al., 2007). Consideramos que el clasper de los adultos posiblemente no fue un buen indicador para reconocer estadios en regresión en ambas especies de rayas. Durante todo el muestreo, los ejemplares llegaron congelados al punto de desembarque debido a que la duración de la marea, o viaje de pesca, se extendió por más de 4 días, manteniendo las capturas con hielo, haciendo difícil distinguir si la rigidez del órgano respondió a su madurez o por congelamiento. Se sugiere que la escala macroscópica propuesta en este proyecto también sea complementada con la histología para evaluar la madurez en los machos.

En el presente estudio, la  $LT_{50\%}$  de raya volantín estimada en los 100,5 cm LT para las hembras y 84,0 cm LT para los machos fueron inferiores en comparación a los estimados por otros investigadores que abarcaron entre los 103,6-109 cm LT y 86,0-89,7 cm LT en las hembras y machos, respectivamente (Bustamante et al., 2012; Licandeo et al., 2006; Licandeo & Cerna, 2007; Quiroz et al., 2009). Además, se constató que la curva completa de la ojiva de madurez estuvo desplazada hacia tallas más pequeñas en esta especie, que en combinación con el incremento notorio del ancho de la glándula oviductal (>55 mm), tamaño del ovocito (>20 mm) y el índice gonadosomático (>2%), sugieren una dinámica reproductiva muy intensa a partir de los 90 cm LT. Esta percepción fue confirmada con la histología, donde gónadas en desarrollo avanzado (i.e. presencia de vitelo incipiente o parcialmente vitelados), se observaron entre 82-105 cm LT y gónadas maduras (i.e. capaz de reproducir y desovada) entre 86-97 cm LT.

A pesar que todas las estimaciones históricas de la ojiva de madurez en la raya volantín y raya espinosa han sido precisas desde un punto de vista estadístico (Bustamante et al., 2012; Licandeo et al., 2006; Licandeo & Cerna, 2007; Quiroz et al., 2009), el criterio para definir desde que fase de desarrollo gonadal debe ser considerado como la fracción madura difiere entre las otras fuentes de información y el presente estudios, lo que puede repercutir en la estimación de la biomasa desovante. Por ejemplo, la histología aplicada en raya volantín reveló que las hembras entre 73 y 105 cm LT tuvieron gónadas entrando al proceso de madurez por la presencia de ovocitos en vitelogénesis temprana, pero cuya característica

externa o macroscópica fueron similares a un estadio 2 sub-adulto-inmaduro de acuerdo a los criterios de Ebert (1996), Walmsley-Hart et al. (1999) y Stehmann (2002). Estos resultados revelaron que la precisión estadística de la ojiva de madurez no necesariamente tiene significancia biológica sino se valida el criterio que distingue los estadios de la fracción inmadura y madura. Por otro lado, la tasa de maduración del ovocito es desconocida para esta especie. En otros elasmobranquios se señala que el proceso de desarrollo de los folículos puede durar desde meses hasta años, principalmente en tiburones, dependiendo de la especie, estrategia social y condiciones ambientales (Carrier et al., 2004; Serra-Pereira et al., 2011). En especies de Rajidae se señala que la tasa de maduración puede ser rápida (semanas hasta meses) por la disposición libre de los espermatozoides hacia el lumen de fertilización de la glándula oviducal (Pratt, 1993). Por lo tanto, esto revela la necesidad de investigar la duración del desarrollo de los folículos en diferente fase o estadio de madurez a la talla de la hembra de raya volantín, lo cual permitiría identificar la fracción real que está aportando huevos dentro de un ciclo reproductivo y estimar con precisión la biomasa desovante.

En la comparación espacial para raya volantín, la regresión segmentada entre la longitud total y la longitud del clasper sugirió un gradiente latitudinal. El rango de tamaño de los machos maduros fue similar entre la zona centro sur y norte de la Patagonia (Licandeo et al., 2006; Licandeo & Cerna, 2007; presente proyecto FIPA 2023-26), pero inferior en comparación a la zona sur de la Patagonia (Licandeo & Cerna, 2007). Estos cambios estuvieron en concordancia con la diferencia espacial de los parámetros de crecimiento y fecundidad observados por Licandeo & Cerna (2007). Estos autores indicaron que los ejemplares del sur patagónico tienen mayor longevidad, un mayor tamaño asintótico, lenta tasa de crecimiento y menor fecundidad que sus contrapartes del norte patagónico. En la teoría de historia de vida, la tasa de maduración y crecimiento son procesos fisiológicos interrelacionados que dependen de la misma fuente energética. Por lo tanto, si la tasa de crecimiento y fecundidad varían espacialmente, entonces la tasa de maduración también puede variar en raya volantín. Por este motivo, se enfatiza más investigación reproductiva y de crecimiento en toda el área de distribución de ambas especies de rayas para

confirmar un posible gradiente latitudinal, el cual podría tener implicancias en la evaluación de stock.

Los tamaños de los ovocitos medidos y su característica celular en el tejido ovárico revelaron que la raya volantín posee un desarrollo gonadal asincrónico con desove parcial, dada la presencia heterogénea de tamaños y desarrollo de ovocitos en la misma gónada, lo cual podría explicar en parte que las hembras posean actividades reproductivas más extensas. Por otro lado, el desarrollo asincrónico de los folículos sugiere un reclutamiento continuo hacia la vitelogénesis, planteando dudas sobre la validez de los criterios adoptados por otros estudios para estimar la fecundidad. Por ejemplo, Céspedes et al. (2005) contaron ovocitos mayores que 10 mm de diámetro para estimar la fecundidad en raya volantín, pero se desconoce el argumento biológico para la selección de este tamaño umbral. Además, la histología identificó la presencia de folículos postovulatorios en un ovario capaz de reproducir (Fase III histológico o EMS 3A macroscópico) de una hembra de 82 cm LT, es decir, señales de desove previo (presente estudio). Esta observación demuestra que el criterio de conteo de ovocitos vitelados de ciertos tamaños en hembras asignadas macroscópicamente como maduras (EMS 3A) podría subestimar la fecundidad sin es que no se evalúa la presencia de folículos postovulatorios. Por este motivo, el presente estudio recomienda la histología como la herramienta apropiada para seleccionar las hembras en+ la estimación de la fecundidad en estos elasmobranquios.

## 7.2. Estación reproductiva de raya volantín

En el presente estudio, observaciones basadas en el índice gonadosomático y proporción madura por histología señalaron que la raya volantín se reproduce durante todo el año y con dos periodos de mayor actividad, uno principal en verano y otro secundario en invierno. Este patrón estacional fue en parte similar a lo reportado por Licandeo & Cerna (2007), quienes sugirieron el verano como la única estación con peak reproductivo de la raya volantín. Esta actividad reproductiva extensa con estaciones máximas también ha sido observada en otras especies de

elasmobranquios a nivel global pertenecientes al género *Atlantoraja*, *Bathyraja*, *Dipturus*, *Raja*, entre otros (**Tabla 9**), lo cual parece ser característico en este grupo de taxa como una táctica de renovación poblacional frente a sus rasgos de historia de vida. Por lo tanto, los resultados obtenidos en el presente proyecto, confirmaron la estación de verano como periodo de actividad reproductiva principal de la raya volantín tal como lo indicaron Lamilla *com pers* (Res. Exe. N° 1521) y Licandeo & Cerna (2007). Además, el presente estudio también observó altos valores del índice de clasper de los machos y altos valores del IGS de hembras maduras en otoño e invierno, lo que podría ser identificado como un periodo reproductivo secundario, y que confirmaría las observaciones manifestadas por los pescadores artesanales en el Comité de Manejo (Res. Exe. N° 1521). Estos resultados sugieren analizar una posible revisión de la veda biológica actual para proteger el proceso reproductivo de raya volantín.

### 7.3. Método no-letal

Equipos de ultrasonido o ecógrafos han sido ampliamente usados en peces teleósteos y elasmobranquios, logrando identificar y determinar con precisión diversos órganos tales como riñones, placenta, presencia de cápsulas de huevos, desarrollo de la madurez gonadal, etc. En una revisión sobre el uso del ecógrafo en peces, Novelo & Tiersch (2012) indicaron que la mayoría de los estudios probaron este equipo en individuos vivos y que sólo 22% reportaron peces sacrificados para levantar un protocolo experimental. El objetivo principal de los estudios revisados fue aplicar un método no-letal en individuos vivos sujetos manualmente o anestesiados (Novelo & Tiersch, 2012). Si bien, hay reportes de uso de la sonda en ejemplares no vivos, éstos habían sido recientemente sacrificados para evitar el deterioro de los órganos que pudiera complicar los resultados de las imágenes (Colombo et al. 2004; Newman et al. 2008; Whittamore et al. 2010; Guitreau et al. 2012; Brizendine et al. 2018). Sin embargo, todos estos estudios se llevaron a cabo en condiciones óptimas para el uso del equipo, tales como, en centros de acuarios, cultivos y laboratorios. En raya volantín y raya espinosa, el presente estudio es el primero en aplicar la ecografía en individuos de ambas especies. Lamentablemente, hubo que adaptar el

protocolo de trabajo para la obtención de imágenes con el ecógrafo utilizando ejemplares muertos (más de 4 días), intentar probar su efectividad en determinar el desarrollo gonadal y aplicabilidad en puertos de desembarques o en embarcaciones, adaptándonos a las condiciones y dinámicas de la pesquería, muy distintas a ambientes controlados propio de laboratorios, como los antes mencionados.

Algunos autores han señalado que sólo se requiere una noción básica sobre la biología reproductiva de la especie objetivo para aplicar el ecógrafo, pero en nuestro caso no fue suficiente para tener una mayor resolución visual en interpretar con precisión la imagen del equipo. Se requiere experiencia en diferenciar entre una imagen hiperecoica (refleja una gran cantidad de ondas de ultrasonido) e hipoecoica (una zona de menor densidad o ecogenicidad) para identificar un órgano. En los elasmobranquios, la mayoría de los ovarios evaluados macroscópicamente estuvieron flácidos y con líquido, debido a que llevaban bastante tiempo en proceso de deterioro, generando imágenes difusas, por ejemplo, en algunos casos algunas estructuras identificadas parecían ovocitos, pero resultaron ser burbujas (**Figura 20**). Finalmente, consideramos que el ecógrafo no es práctico para individuos que llevan bastante tiempo capturados (muertos) y, por lo tanto, impide su uso bajo las condiciones de la actual dinámica pesquera de rayas en Chile, pero no se descarta su aplicabilidad en individuos vivos mantenidos en cautiverio para un monitoreo de su biología a largo plazo, o en individuos muertos con menos de 24 horas.

Por otro lado, es posible considerar la aplicación del ecógrafo como parte de un programa de marcaje y recaptura de rayas o elasmobranquios, ya que permitiría tener varias observaciones del desarrollo gonadal en las diferentes recapturas, como ha sido reportado por Thorburn et al., (2023) para otra especie de rayas en las costas Escocesas.

#### 7.4. Modelación datos históricos

Los datos pesqueros y biológicos analizados para investigar y describir la dinámica reproductiva de la raya volantín y raya espinosa presentaron desafíos para obtener resultados concluyentes. Esto se debe principalmente al desequilibrio en la matriz de

información histórica, lo que restringe principalmente el análisis de aspectos exploratorios y descriptivos de la reproducción de la raya volantín.

Aunque el método de regresión logística generalizada fue utilizado para describir la probabilidad de la madurez bajo predictores temporales, demográficos y operacionales en raya volantín y raya espinosa, la inclusión de técnicas de máquina de aprendizaje (machine learning) como bosque aleatorio ofreció varias ventajas frente este método estadístico tradicional. Por ejemplo, a) este algoritmo no paramétrico pudo analizar datos fragmentados para ambas especies, en particular la raya espinosa, mientras que los modelos de regresión exigen homogeneidad en los datos; b) bosque aleatorio analizó de manera eficiente predictores categóricos, continuos y no lineales sin requerir transformaciones previas; c) esta herramienta también gestionó datos faltantes de manera intrínseca, evitando la necesidad de imputaciones que podrían generar sesgos; d) finalmente, facilitó la incorporación y representación de interacciones complejas entre los predictores, lo que proporciona una comprensión más detallada de la dinámica subyacente en los datos.

Si bien el modelo logístico y bosque aleatorio fueron eficientes para predecir la condición reproductiva de estos elasmobranquios, ambos no lograron explicar por completo la dinámica intra-anual de los EMS y, consecuentemente, patrones reproductivos estacionales. En particular, predijeron periodos donde las proporciones de EMS2 y EMS3 fueron similares, lo cual contradice la lógica esperada de la dinámica reproductiva. Esta anomalía temporal entre ambos estadios puede ser causada por la falta de validez de la escala macroscópica. Como se explicó previamente, la histología reveló que el EMS 2 está compuesto de una fase temprana previtelogénica (inmadura) y otra avanzada o vitelogénesis inicial (entrando a la madurez), cuya evolución temporal puede quedar enmascarado cuando es analizada macroscópicamente como EMS 2. A pesar de que los análisis no han logrado aclarar por completo esta anomalía, el problema ha quedado claramente expuesto.

7.5. Revisión bibliográfica sobre manejo pesquero en elasmobranquios a nivel global  
Las rayas bentónicas (orden Rajiformes) representan un grupo particularmente

sensible a la presión pesquera, debido a su crecimiento lento, madurez tardía y baja fecundidad (Céspedes, 2005; Dulvy et al., 2021). Por otro lado, la revisión de aspectos de manejo aplicados a pesquerías de rayas entrega algunas problemáticas comunes, tales como: capturas como fauna acompañante de otras pesquerías demersales, problemas de identificación taxonómica con frecuente existencia de estadísticas de captura/desembarque agregadas en términos de multiespecie, falta de información biológica pesquera para el manejo e importantes reducciones de abundancia en algunas combinaciones zona-especie. Esta mezcla de factores las convierte en especies vulnerables, que requieren de estrategias de manejo adaptativas y contextualizadas para asegurar su conservación y uso sostenible.

A nivel global, la literatura científica aboga por medidas combinadas que incluyan límites de captura o la implementación de áreas protegidas donde se restrinja o prohíba la pesca de rayas. Sin embargo, una de las principales barreras es la falta de información por especie, lo que dificulta una evaluación robusta de sus poblaciones. En este sentido, el fortalecimiento del monitoreo biológico, la participación comunitaria y el uso de datos desagregados resultan indispensables (Jorgensen et al., 2022). Entre las medidas de manejo aplicadas a poblaciones de rayas bentónicas destacan: Cuotas multi específicas o específicas además de la protección de zonas en que se concentran los procesos de puesta durante la reproducción. En este sentido, Ormseth (2021) recomienda avanzar con estudios de áreas de cría (nursery) para rayas en el Golfo de Alaska, lo cual es igualmente mencionado por Hoff (2016) para *Bathyraja parmifera* y *Bathyraja aleutica* en el mar de Bering. Otro caso de protección espacial de zonas de puesta, corresponde al área protegida de *Dipturus intermedius* establecida en Red Rocks and Longay (Reino Unido-Escocia) (Dodd et al., 2022). Cabe indicar que para la misma especie se ha generado el área protegida de Sound of Jura Marine Protected Area, establecida en 2014 en Escocia, con restricciones a la pesca y a ciertos artes de pesca, cuyo seguimiento ha indicado el incremento de abundancia, aunque su alto grado de filopatría implica que la recuperación del stock podría tener sólo alcance local, lo cual sugiere la necesidad de aumentar el número de áreas protegidas para dicha especie (Régner et al., 2024).

Otras medidas de manejo que han sido aplicadas corresponden a la prohibición de retención de ejemplares de especies en peligro, tales como *Dipturus laevis* en Estados Unidos (Kulka et al., 2020a), *Leucoraja ocellata* en Canadá (Kulka et al., 2020b) o *Raja undulata* en algunas áreas específicas (Ellis et al., 2012; ICES, 2021); el establecimiento de tallas mínimas, por ejemplo la establecida para *Raja clavata* en Azores (Portugal) (Santos et al., 2021) o normativa que establece la exclusión de zonas para las pesca de arrastre, por ejemplo por períodos acotados de tiempo, como ocurre en Río de la Plata (Argentina).

Un resumen de las normas de manejo que se han establecido en la pesquería de rayas en aguas de la Unión Europea permite graficar su evolución y resume algunas de las medidas que han sido habitualmente establecidas en pesquerías de rayas (**Tabla 14**).

**Tabla 14.** Evolución de medidas de manejo en la pesquería de rayas bentónicas en aguas de la Unión Europea. Modificado de Peverley & Stewart (2021).

<b>Año</b>	<b>Medidas de manejo</b>
1999	Cuotas globales de captura
2005	Cierre por seis meses de área de 300 km <sup>2</sup> . Tallas mínimas voluntarias
2007	Cuotas de fauna acompañante en las cuotas globales
2008	Reportes de desembarque por especie
2009	Cuotas de fauna acompañante por tipo de embarcación. Obligación de devolución al mar de algunas especies de raya capturadas. Cuotas globales con reportes específicos por especie
2010	Redistribución de autorizaciones de porcentajes de captura entre unidades espaciales de manejo
2014	Restricción de artes de pesca móviles en algunos estuarios y áreas marinas protegidas
2015-2017	Obligación de devolución al mar de algunas especies de raya capturadas. Implementación de cuota global en áreas donde una especie con bajos niveles de abundancia tiene importancia comercial
2018	Restricción de tamaños de malla de redes. Restricción al uso de redes en áreas específicas como estuarios, áreas costeras



En termino temporal, el establecimiento de vedas estacionales, no es una medida de manejo utilizada frecuentemente a nivel global en rayas bentónicas, lo cual podría considerarse coherente con la estrategia de reproducción continua, a lo largo de todo el año, que presentan varias especies de la familia Rajidae (**Tabla 9**). A pesar del o anterior, un estudio comparativo en el estuario del Támesis evaluó la eficacia de diferentes estrategias para la protección de *Raja clavata*, concluyendo que los cierres estacionales de la pesquería durante tres estaciones al año resultaron más efectivos para la recuperación de la población que las medidas basadas únicamente en restricciones de talla y con menor impacto económico (Wiegand et al., 2011).

Aunque en algunos casos, la efectividad de vedas estacionales ha sido cuestionada. En Portugal, una veda está vigente entre mayo y junio de cada año para especies de rayas (Finucci et al., 2024), aunque el desove de la *Raja clavata* se concentra principalmente entre mayo y agosto (Serra-Pereira et al., 2011). Un caso similar ocurre en Corea, la normativa establece una veda estacional desde el 1 de junio hasta el 15 de julio para *Beringraja pulchra*, sin embargo, esta especie desova durante todo el año con máximos en abril-junio y noviembre-diciembre (Yeon et al., 1997). Estos ejemplos revelan que la veda está protegiendo parcialmente la estación reproductiva de estas especies.

En término espacial, STECF (2017) señalaron que las vedas, en general, no aseguran algún grado de reducción de la mortalidad por pesca sino es aplicada en toda el área de distribución de las especies, dado que éstas no evitan un desplazamiento del esfuerzo de pesca a localidades vecinas, con dificultades de control asociadas, en particular en el caso de la operación de múltiples flotas, destacando intentos fallidos de vedas para rayas en zonas geográficas delimitadas en el mar de Irlanda y en el mar Céltico.

En resumen, la gestión de rayas bentónicas suele basarse en una mirada amplia, que incorpora medidas distintas a la regulación más tradicional. Así, considera enfoques territoriales, esquemas participativos que integren conocimiento local y la necesidad de respaldo científico, generado a partir de información recolectada en el largo plazo, que se adapten a las particularidades biológicas, sociales y ecológicas de cada región que permitan avanzar hacia un manejo sostenible.

#### 7.6. Recomendación de la veda biológica (D. EXE. 14-2016).

La mayor cantidad de conocimiento científico tanto en la literatura como la colectada en el presente estudio, se concentra mayoritariamente en raya volantín. Por otra parte, la información referente a raya espinosa es deficiente y altamente fragmentada. Por lo tanto, en las propuestas de medidas de manejo nos referiremos indistintamente a rayas, para indicar que las mismas medidas debieran considerarse para ambas especies. Esto responde al supuesto que éstas tendrían un patrón estacional de reproducción similar y ambas se encontrarían en un estado de explotación calificado como agotado.

La justificación de las bases del proyecto (D. EXE. 1521-2023) señalaron la necesidad de revisar la veda biológica establecida para la raya volantín y raya espinosa que rige desde 1 de Diciembre hasta 31 de Marzo del año calendario siguiente (D. EXE. 14-2016), dado que el periodo reproductivo designado fue extrapolado de otras especies sin tener evidencia directa (*Lamilla com pers*, D. EXE. 1521-2023). Esta inquietud también fue compartida por el Comité de Manejo de esta pesquería artesanal (41°28,6-57° LS) señalando que el periodo reproductivo de ambos recursos estaría sucediendo en otra época del año (EXE. 1521-2023). El presente proyecto observó que las rayas se reproducen durante todo el año, pero con una mayor actividad principal en verano y otra secundaria en invierno, confirmando lo señalado por *Lamilla com pers* y el Comité de Manejo en las bases del Decreto Exento 1521-2023.

Por lo anterior, se recomienda analizar la modificación de la veda biológica actual (D. EXE. 14-2016) para extenderla hasta la estación de invierno en todo el territorio nacional y abrir la temporada de pesca dirigida sobre raya volantín y raya espinosa sólo en la estación de primavera. Se debe tener precaución particularmente a que las capturas puedan ser espaciadas durante la temporada, es decir, asignación de cuota por periodos fragmentados en primavera para evitar “carreras olímpicas” que consuman la cuota muy rápido generado por el alto valor comercial y demanda del mercado internacional de estos recursos, tal como ocurrió para la región de los Lagos en 2024, donde la cuota anual fue consumida en semanas durante el mes de abril,

entrando automáticamente en vigencia la veda extractiva y limitando la obtención de muestras biológicas. Esta recomendación permitiría levantar indicadores, tanto pesqueros como biológicos, que pudieran ser de utilidad para la evaluación de stock y de otros aspectos biológicos relevantes. Dado que la estación reproductiva principal ocurre en verano, se recomienda luego que la pesquería haya alcanzado la sustentabilidad, acortar la veda reproductiva sólo a esta estación del año para, de esta forma, coleccionar información durante la mayor parte del año, que permita una adecuada evaluación de los indicadores de sustentabilidad para el manejo.

Estas recomendaciones para la conservación y manejo de raya volantín y raya espinosa planteadas en el presente informe se basaron en estudio desarrollado. Sin embargo, la efectividad de la veda biológica debe considerar el estado de explotación en el que se encuentra la pesquería de rayas. Si bien, la protección de ciertas épocas del año a través de vedas reproductivas podrían ser medidas de manejo válidas en una pesquería saludable, éstas parecieran ser muy poco efectivas para reconstruir una pesquería agotada. En efecto, esta pesquería de rayas ha sido prácticamente manejada desde sus inicios utilizando diversas medidas administrativas, tales como las vedas extractivas, vedas biológicas (reclutamiento y/o reproducción), cierres de áreas y cuotas de captura (Wiff et al. 2022). A pesar de todas estas medidas, el stock de raya volantín nacional se encuentra actualmente agotado. Por lo tanto, otras medidas de manejo más eficaces deberían ser consideradas.

Teniendo presente los atributos de historia de vida de ambas especies de rayas como recursos comerciales con menos resiliencia a la explotación pesquera en Chile (Wiff et al. 2018), y considerando el estado de explotación, se recomienda que a futuro se evalúe la aplicación de una veda total para la pesquería objetivo de rayas impuesta en todo el territorio nacional. Medida que debiese ser establecida por un periodo de al menos 5 años, que es la edad de reclutamiento a la pesquería, es decir, la primera edad en que las hembras de raya volantín comienzan sistemáticamente a formar parte de las capturas (Pérez-Cuesta et al. 2017). De esta forma, se podría evaluar al cabo de 5 años los efectos potenciales que pueda tener esta veda sobre los reclutamientos observados en la pesquería, lo cual podría servir como un indicador de su eficacia.

Por último, se recomienda considerar la talla mínima de captura como otra medida de manejo en la raya volantín y la raya espinosa. La revisión bibliográfica reveló que muchas especies de rayas tienen esta medida de manejo alrededor del mundo, como la *Raja clavata* en Portugal (Kraft et al., 2024). Esto ocurre por dos motivos importantes, la madurez tardía con baja fecundidad y la sobrevivencia juvenil de elasmobranquios. En el caso de raya volantín, la fecundidad promedio es sólo de 23 huevos por hembra (Quiroz et al. 2007), por lo cual permitir que los individuos se reproduzcan al menos una vez antes de ser removidos de la población podría tener efectos importantes en la renovación poblacional.

Por otra parte, los elasmobranquios, específicamente las rayas, tienen una alta sobrevivencia cuando son devueltas al mar (Peverley & Stewart, 2021). Esta particularidad ofrece la oportunidad de devolver al mar a los individuos bajo talla mínima con alta probabilidad de que estos sobrevivan, minimizando los riesgos de un incentivo al descarte derivado de esta medida de manejo. En este proyecto se constató en terreno esta práctica de devolución de ejemplares pequeños vivos al mar por parte de pescadores artesanales de Lebu como una medida de automanejo para resguardar las especies. La talla mínima de desembarque debiese estar basado en el  $L_{50\%}$  de las hembras. Como limitante, cabe mencionar que, aunque existen estimaciones para  $L_{50\%}$  en raya volantín en Chile (Licandeo et al. 2006; Licandeo & Cerna, 2007; Quiroz et al 2007), estos estudios se basaron en más de una escala macroscópica de madurez no estandarizadas ni validadas, la cual, de acuerdo a nuestros resultados generados desde la histología, debe ser revisada y una nueva ojiva de madurez debiera ser estimada. Lamentablemente, la información histórica desde el monitoreo de rayas en Chile no podrá ser corregida hacia atrás dado que no existe un repositorio de imágenes (fotografías) de los diferentes estadios de madurez, que permitiese una reasignación de los estadios, así como también escasos registros del peso de gónadas y madurez sexual, por lo menos en hembras. Por este motivo, la nueva ojiva de madurez podría ser estimada analizando los datos colectados en el presente estudio y los nuevos datos que se podrían obtener desde el muestreo de la fauna acompañante y pesca de investigación. Por otra parte, la fiscalización de una talla mínima de captura en rayas podría ser eficiente, toda vez que los volúmenes de captura en número de individuos son bajos respecto a peces

teleósteos y que la totalidad de su captura se exporta, por lo que los registros de exportación pueden ser muy útiles para el control de la medida. Cabe mencionar que según información del CCT Demersal Zona Centro Sur, datos de 2024, indicaron que 90% de las hembras y el 50% de los machos capturados se encontró bajo la longitud de referencia (Ver Acta sesión N°5/2024 CCT-RDZCS, disponible en línea).

## 8.- CONCLUSIONES

- Es posible realizar un muestreo de bajo costo para raya volantín y raya espinosa que se captura en la región del Biobío, los Lagos y Aysén.
- La proporción de hembras fue mayor que los machos en los muestreos de ambas especies de rayas.
- El uso de técnicas no-letales proveniente desde la ecografía no fue de utilidad para identificar grado de desarrollo gonadal en las hembras de raya volantín o espinosa, principalmente debido al tiempo de mortalidad de los individuos, pero no se descarta su uso y validación en hembras maduras.
- En el análisis de la información histórica de raya volantín y raya espinosa, los modelos indicaron que los factores meses y arte de pesca fueron relevantes para predecir la variabilidad de individuos maduros. No obstante, también revelaron variación mensual similar entre los EMS 2 y EMS 3, contradictoria a los patrones reproductivos esperados.
- Utilizando como talla de referencia  $LT_{50}$  estimado por otras fuentes de estudios, el 36% y 87% de los machos y hembras de raya espinosa midieron por debajo de  $LT_{50}$ , respectivamente. Mientras que en raya volantín, el 49% de los machos y 87% de las hembras midieron por debajo de la  $LT_{50}$ .
- En raya espinosa, hembras maduras fueron observadas desde verano hasta invierno, mientras que los machos maduros fueron observados durante las cuatro estaciones del año. En raya volantín, hembras maduras activas (EMS 3A y 3B) y machos maduros (EMS 3) fueron colectados en las cuatro estaciones del año, pero con mayor ocurrencia entre verano e invierno.
- En raya volantín,  $LT_{50}$  fue estimada en los 100,5 cm LT para las hembras y 84,0 cm LT en los machos, tamaños inferiores en comparación a lo estimado por otros estudios.
- Las hembras de raya volantín poseen un ciclo reproductivo extenso con dos periodos máximos, uno principal en verano y otro secundario en invierno, siendo confirmado por la histología. Mientras que los machos no mostraron un patrón estacional claro, aunque se obtuvo una mayor probabilidad de encontrar machos maduros entre verano e invierno.

- La histología aplicada a las hembras de raya volantín reveló que el estadio macroscópico en desarrollo (i.e. EMS 2) consistió de dos fases, una temprana previtelogénica y otra avanzada en etapa inicial o parcialmente vitelada. Además, algunas hembras desovadas (o regresión) fueron macroscópicamente mal asignadas como estadio 2. Por lo tanto, recomendamos que la macroscopía y la histología sean las herramientas complementadas para monitorear la condición reproductiva en estos elasmobranquios.
- Los resultados del presente estudio confirmaron que la veda biológica (D.EXE. 14-2016) no está protegiendo el proceso reproductivo completo de las rayas, el cual estaría concentrada desde verano hasta invierno.
- Se recomienda considerar la modificación de la veda biológica actual (D.EXE. 14-2016) para extenderla hasta la estación de invierno en todo el territorio nacional para raya volantín y raya espinosa. Si bien, la información biológica de raya espinosa es baja y altamente fragmentada, con alto grado de incertidumbre en comparación a la raya volantín, ambas especies fueron incluidas en la recomendación bajo el supuesto que éstas tienen un patrón estacional de reproducción similar y ambas se encontrarían en un estado de explotación calificado como agotado.
- Finalmente, se recomienda evaluar a futuro la posibilidad de aplicar una veda total para la pesquería objetivo de rayas impuesta en todo el territorio nacional. Medida que debiese ser establecida por un periodo de al menos 5 años (edad de reclutamiento a la pesquería), y evaluar cada 5 años los efectos potenciales de esta medida pueda tener sobre los reclutamientos observados a la pesquería, lo cual podría servir como un indicador de su eficacia. Nuevamente bajo el supuesto que ambas especies tienen un patrón estacional de reproducción similar.

## 9.- REFERENCIAS

---

- Agresti A. 1996.** An Introduction to Categorical Data Analysis. Wiley-Interscience.: This book provides an introduction to methods for analyzing categorical data, with a focus on logistic regression.
- Ahumada M, Apablaza P, Queirolo D, Wiff R & A. Flores. 2025.** Movements and behavior of satellite-tagged yellownose skate (*Dipturus chilensis*) and roughskin skate (*Dipturus trachyderma*) in southern Chile Latin American Journal of Aquatic Research, 53(1): 56-71. <https://doi.org/10.3856/vol53-issue1-fulltext-3221>
- Alkusaury, H., & Saad, A. 2017.** Some morphological and biological aspects of longnosed skate, *Dipturus oxyrinchus* (Elasmobranchii: Rajiformes: Rajidae), in Syrian marine waters (eastern Mediterranean). *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 47(4), 371–383. <https://doi.org/10.3750/AIEP/02283>
- Arkhipkin, A., Skeljo, F., Wallace, J., Derbyshire, C., Goyot, L., Trevizan, T., & Winter, A. 2023.** Industry-collaborative mesh trials to reduce bycatch in the Falkland Islands skate trawl fishery (Southwest Atlantic). *ICES Journal of Marine Science*, 80(3), 578–590. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsab259>
- Azofeifa-Solano, J., Clarke, T., Espinoza, M., & Wehrtmann, I. S. 2021.** Reproductive cycles of the southern banded guitarfish *Zapteryx xyster* and the Velez ray *Raja velezi* caught as bycatch in a bottom-trawl fishery. Latin American Journal of Aquatic Research, 49(1), 48–59. <https://doi.org/10.3856/vol49-issue1-fulltext-2558>
- Bahamonde F, Ojeda G, Leiva B, Muñoz L & M\_Rojas\_ 1996.** Pesca exploratoria de raya volantín en la zona sur- austral. Instituto de Fomento Pesquero Informe Técnico No. 96–26. IFOP, Valparaíso.
- Barone, M., S. De Ranieri, O. Fabiani, A. Pirone & F. Serena. 2007.** Gametogenesis and maturity scale of *Raja asterias* Delaroche, 1809 (Chondrichthyes, Rajidae) from the South Lingurian Sea. *Hydrobiologia* 580: 245-254.
- Bilgin, S., & Onay, H. 2020.** Spawning period and size at maturity of the thornback ray, *Raja clavata* (Linnaeus, 1758) (Elasmobranchii: Rajidae) in the Black Sea. *Acta Aquatica Turcica*, 16(4), 525–534. <https://doi.org/10.22392/actaquatr.735868>
- Bellodi, A., Porcu, C., Marongiu, M., Mulas, A., Vittori, S., & Follesa, M. 2015.** Life-history traits of the long-nosed skate *Dipturus oxyrinchus*, from the central western Mediterranean Sea. *Frontiers in Marine Science*, 2. <https://doi.org/10.3389/conf.FMARS.2015.03.00193>
- Breiman L. 2001.** Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5-32.
- Brizendine ME, Ward DL & SA. Bonar. 2018.** Effectiveness of Ultrasonic Imaging for Evaluating Presence and Maturity of Eggs in Fishes in Remote Field Locations. *North American Journal of Fisheries Management* 38:1017–1026.
- Burnham, K. P., & D.R. Anderson. 2002.** Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach. Springer-Verlag, New York.
- Bustamante C, Vargas-Caro C, Oddone MC, Concha F, Flores H, Lamilla J & B. Bennett. 2012.** Reproductive biology of *Zearaja chilensis* (Chondrichthyes: Rajidae) in the south-east Pacific Ocean. *Journal of Fish Biology*, 80: 1213–1226.
- Bustamante C, Vargas-Caro C & MB. Bennett. 2014.** Biogeographic patterns in the cartilaginous fauna (Pisces: Elasmobranchii and Holocephali) in the southeast Pacific Ocean. *PeerJ* 2:e416 <https://doi.org/10.7717/peerj.416>
- Cabbar, K. & Yiğın, C.Ç. 2021.** Biology of the thornback ray (*Raja clavata* Linnaeus, 1758) in the North Aegean Sea. *International Journal of Oceanography and Hydrobiology*, 50(2), 117–127.
- Capapé, C., Diatta, Y., Ndiaye, P., Reynaud, C., & Oddone, M. C. 2010.** New biological data on the brown ray, *Raja miraletus* (Chondrichthyes: Rajidae), off the coast of Senegal (eastern tropical Atlantic). *Ciencias Marinas*, 36, 301–309. <https://doi.org/10.7773/cm.v36i3.1707>



- Capapé, C., Guélorget, O., Vergne, Y., Quignard, J.-P., & Siau, Y. 2007.** Reproductive biology of the thornback ray *Raja clavata* L., 1758 (Chondrichthyes: Rajidae) from the coast of Languedoc (Southern France, Northern Mediterranean). *Vie et Milieu – Life and Environment*, 57, 83–90.
- Cavanagh, M. F., & Damon-Randall, K. 2009.** *Status of the barndoor skate (Dipturus laevis)* (77 pp.). National Marine Fisheries Service, Northeast Regional Office.
- Céspedes R, Licandeo R, Toledo C, Cerna F, Donoso M & L. Adasme. 2005.** Estudio biológico pesquero y estado situación recurso raya, aguas interiores X a XII Regiones. Informe Final Proyecto FIP 2003-12. Instituto de Fomento Pesquero, 152 pp. + anexos.
- Colonello JH, Christiansen HE & GJ. Macchi. 2011.** Escala de Madurez para peces cartilagosos de la plataforma continental Argentina. Eds: Wöhler, O.C., Cedrola, P. & Cousseau, M.B. Contribuciones sobre biología, pesca y comercialización de tiburones en la Argentina. Aportes para la elaboración del plan de acción nacional, Consejo Federal Pesquero, Buenos Aires, 224 pp.
- Colonello, J., García, M., Lasta, C., & Menni, R. 2012.** Reproductive biology of the spotback skate *Atlantoraja castelnaui* in the south-west Atlantic Ocean. *Journal of Fish Biology*, 80, 2405–2419. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2012.03288.x>
- Colombo RE, Wills PS & JE. Garvey. 2004.** Use of ultrasound imaging to determine sex of shovelnose sturgeon. *North American Journal of Fisheries Management*, 24:322–326.
- Concha F, Oddone MC, Bustamante C & N. Morales. 2012.** Egg capsules of the yellownose skate *Zearaja chilensis* (Guichenot 1848) and the roughskin skate *Dipturus trachyderma* (Kreff and Stehmann 1974) (Rajiformes: Rajidae) from the south-eastern Pacific Ocean. *Ichthyological Research*, 59: 323-327.
- Concha, F.J., Caira, J.N., Ebert, D.A. & Pompert, J.H.W. 2019.** Redescription and taxonomic status of *Dipturus chilensis* (Guichenot, 1848) and description of *Dipturus lamillai* sp. nov. (Rajiformes: Rajidae), a new species of long-snout skate from the Falkland Islands. *Zootaxa*, 4590: 501-524. doi: 10.11646/zootaxa.4590.5.1
- Dulvy NK, Fowler SL, Musick JA, Cavanagh RD, Kyne PM et al. 2014.** Extinction risk and conservation of the world's sharks and rays. *eLife* 3:00590. DOI: 10.7554/eLife.00590
- Davis, C. 2006.** *Age, growth, and reproduction of the roughtail skate Bathyraja trachura (Gilbert, 1892) from the eastern North Pacific* [Master's thesis, California State University, Monterey Bay].
- Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) 2024.** *Proposed fisheries management plan for Southern North Sea and Channel skates and rays* (versión de consulta pública, 77 pp.). [GOV.UK](http://GOV.UK).
- Dodd, J., Baxter, J. M., Donnan, D. W., James, B. D., Lavender, E., McSorley, C. A., et al. 2022.** First report of an egg nursery for the Critically Endangered flapper skate *Dipturus intermedius* (Rajiformes: Rajidae). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 32(10), 1647–1659. <https://doi.org/10.1002/aqc.3857>
- Du Buit, M. H. 1976.** The ovarian cycle of the cuckoo ray, *Raja naevus* (Müller and Henle), in the Celtic Sea. *Journal of Fish Biology*, 8(3), 199–207. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1976.tb03943.x>
- Dulvy, N. K., Pacoureau, N., Rigby, C. L., Pollom, R. A., Jabado, R. W., Ebert, D. A., Finucci, B., Derrick, D. H., Herman, K. B., VanderWright, W. J., Lawson, J. M., Walls, R. H. L., Carlson, J. K., Charvet, P., ... Simpfendorfer, C. A. 2021.** Overfishing drives over one-third of all sharks and rays toward a global extinction crisis. *Current Biology*, 31(21), 4773–4787.e8. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.08.062>
- Ebert DA. 1996.** Biology of the sevengill shark *Notorynchus cepedianus* (Peron, 1807) in the temperate coastal waters of Southern Africa. *South African Journal of Marine Science* 17, 93–103.
- Ebert DA & LIV. Compagno. 2007.** Biodiversity and systematic of skates (Chondrichthyes: Rajiformes: Rajoidei). *Environmental Biology of Fishes*. 80: 111-124.

- Ebert, D. A., Smith, W. D., & Cailliet, G. M. 2008.** Reproductive biology of two commercially exploited skates, *Raja binoculata* and *R. rhina*, in the western Gulf of Alaska. *Fisheries Research*, 94(1), 48–57. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2008.06.016>
- Ebert, D. A. 2005.** Reproductive biology of skates, *Bathyraja* (Ishiyama), along the eastern Bering Sea continental slope. *Journal of Fish Biology*, 66(3), 618–649. <https://doi.org/10.1111/j.0022-1112.2005.00628.x>
- Ebert, D. A., Compagno, L. J. V., & Cowley, P. D. 2008.** Aspects of the reproductive biology of skates (Chondrichthyes: Rajiformes: Rajoidei) from southern Africa. *ICES Journal of Marine Science*, 65(1), 81–102. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsm169>
- Ellis, J. R., McCully, S. R. & Brown, M. J. 2012.** An overview of the biology and status of undulate ray *Raja undulata* in the north-east Atlantic Ocean. *Journal of Fish Biology* 80, 1057–1074 <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2011.03211.x>
- Fernández-Carvalho, J., R. Coelho, J. Mejuto, E. Cortés, A. Domingo, K. Yokawa, K-M, Liu, B. García-Cortés, R. Forselledo, F. Ohshimo, A. Ramos-Cartelle, W-P, Tsai & M.N. Santos. 2015.** Pan-Atlantic distribution patterns and reproductive biology of the bigeye thresher, *Alopias superciliosus*. *Rev Fish Biol Fisheries*, 25: 551-568.
- Ferragut-Perelló, F., Valls Mir, M., Cortes-Pujol, M., Ramírez-Amaro, S., Guijarro, B., & Ordines, F. 2023.** Preliminary insight into the biology, ecology and population status of the brown skate, *Raja miraletus*, in the Balearic Islands.
- Figueiredo, I., Maia, C., Lagarto, N., & Serra-Pereira, B. 2020.** Bycatch estimation of Rajiformes in multispecies and multigear fisheries. *Fisheries Research*, 232, 105727. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2020.105727>
- Figueiredo, I., Maia, C., & Carvalho, L. 2020.** Spatial distribution and abundance of the by-catch coastal elasmobranch *Raja undulata*: Managing a fishery after moratorium. *Fisheries Management and Ecology*, 27(5), 454–463. <https://doi.org/10.1111/fme.12426>
- Finucci, B., McCully-Phillips, S.R., Ellis, J.R., Giovos, I., Serena, F., Soldo, A., Pacoureau, N. & García, E. 2024.** *Raja undulata*. The IUCN Red List of Threatened Species 2024: e.T161425A183780918. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2024-2.RLTS.T161425A183780918.en>. Accessed on 26 June 2025.
- Follesa, M., Cannas, R., Cabiddu, S., Cau, A., Mulas, A., Porcu, C., & Cau, A. 2012.** Preliminary observations of the reproductive biology and diet for the Norwegian skate *Dipturus nidarosiensis* (Rajidae) from the Central Western Mediterranean Sea. *Cybium*, 36, 473–477.
- Francis, M. P., Ó Maolagáin, C., & Stevens, D. 2001.** Age, growth, and sexual maturity of two New Zealand endemic skates, *Dipturus nasutus* and *D. innominatus*. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 35(4), 831–842.
- Frisk MG, Miller TJ & MJ. Forgarty. 2001.** Estimation and analysis of biological parameters in elasmobranch fishes: a comparative life history study. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 58:969–981. doi: 10.1139/f01-05
- Fuentealba M & M. Leible. 1990.** Perspectivas de la pesquería de raya volantín *Raja (Dipturus) flavirostris*: Estudio de edad, crecimiento y algunos aspectos reproductivos. En: M.A. Barbieri (Ed). *Perspectivas de la Actividad Pesquera en Chile*. Esc. Ciencias del Mar, U.C.V.: 227-236.
- Gabbanelli V, Díaz de Astarloa, J., González-Castro, M., Vázquez, D., et al. 2018.** Almost a century of oblivion: Integrative taxonomy allows the resurrection of the longnose skate *Zearaja brevicaudata* (Marini, 1933) (Rajiformes; Rajidae). *Comptes Rendus Biologies*, 341: 454-470. doi: 10.1016/j.crv.2018.10.002.
- Gabe, M. 1968.** Chapitre 4. L'inclusion et les manoeuvres préparatoires. En: *Techniques histologiques* pp. 67-100, Masson et Cie Editeurs, Paris.

- Gabbanelli, V., Naylor, G., Weigmann, S., Yang, L., et al. 2022.** Morphological and molecular evidence reveals the longnose skate *Zearaja brevicaudata* (Marini, 1933) to be a senior synonym of *Dipturus lamillai* Concha, Caira, Ebert & Pompert 2019. *Zoological Studies*, 61: 76. doi: 10.6620/ZS.2022.61-76
- Gallagher, M., Nolan, C., & Jeal, F. 2004.** Age, growth and maturity of the commercial ray species from the Irish Sea. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*, 37, 47–66. <https://doi.org/10.2960/J.v35.m527>
- Gedamke, T., DuPaul, W. D., & Musick, J. A. 2005.** Observations on the life history of the barndoor skate, *Dipturus laevis*, on Georges Bank (Western North Atlantic). *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*, 35, 67–78. <https://doi.org/10.2960/J.v35.m512>
- Genuer, R. & J-M. Poggi. 2020.** Random Forests with R. Springer, Switzerland. 107 p.
- Gili R, Donoso M, Ojeda V, López A & H. Miranda. 1999.** Parámetros poblacionales de raya volantín VIII a X Regiones y métodos de asignación de edades. Informe Técnico FIP 97–20. IFOP, Concepción. documento <http://www.fip.cl/Proyectos.aspx>.
- Guitreau, A.M., Eilts, B.E., Novelo, N.D. & T.R. Tiersch. 2012.** Fish handling and ultrasound procedures for viewing the ovary of submersed, non-anesthetized, unrestrained channel catfish. *North American Journal of Aquaculture* 74:182–187.
- Hastie, T., Tibshirani, R., & J. Friedman. 2009.** The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction. Springer.
- Harting, F., 2020.** DHARMA: Residual diagnostics for hierarchical (multilevel/mixed) regression models.
- Hinton, M.G., R.G. Taylor & M.D. Murphy. 1997.** Use of gonad indices to estimate the status of reproductive activity of female swordfish, *Xiphias gladius*: A validated classification method. *Fishery Bulletin*, 95, 80–84.
- Hoff, G. R. 2008.** A nursery site of the Alaska skate (*Bathyraja parmifera*) in the eastern Bering Sea. *Fishery Bulletin*, 106, 233–244.
- Hoff, G. R. 2016.** Identification of multiple nursery habitats of skates in the eastern Bering Sea. 88(5). <https://doi.org/10.1111/jfb.12939>
- Holden, M. J. 1975.** The fecundity of *Raja clavata* in British waters. *ICES Journal of Marine Science*, 36(2), 110–118. <https://doi.org/10.1093/icesjms/36.2.110>
- Horimoto, T., & Katahira, H. 2022.** Microhabitat use of *Pseudocharopinus markewitschi* (Gusev, 1951) (Copepoda: Lernaepodidae) on the mottled skate, *Beringraja pulchra* (Liu, 1932): Does biased occurrence on the dorsal side of the pelvic fin imply a safety zone? *Parasitology International*, 88, 102561. <https://doi.org/10.1016/j.parint.2022.102561>
- Hozbor, N. M., Massa, A. M., & Colonello, J. H. 2023.** Análisis de los desembarques de rayas (*Rajidae*), consignados en la estadística pesquera argentina en el período 2000-2021 (Informe de Investigación INIDEP N° 15/23, 16 pp.).
- ICCAT. 2017.** Report of the 2017 ICCAT Shortfin Mako Data Preparatory Meeting. SMA Data Preparatory Meeting – Madrid 2017.
- ICES. 2014.** Report of the Workshop for maturity staging chairs (WKMATCH), 11–15 June 2012, Split, Croatia. ICES CM 2012/ACOM:58. 57 pp. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.19281611>
- ICES. 2021.** Working Group on Elasmobranch Fishes (WGEF). ICES Scientific Reports. 3:59. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.8199>.
- Iglésias, S.P., Toulhoat, L. & Sellos, D.Y. 2010.** Taxonomic confusion and market mislabelling of threatened skates: important consequences for their conservation status. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 20(3), 319–333. <https://doi.org/10.1002/aqc.1083>
- James, G., Witten, D., Hastie, T., & R. Tibshirani. 2013.** An Introduction to Statistical Learning: with Applications in R. Springer.

- Jo, H.-S., Hwang, H.-J., Kwon, D.-H., Jeong, G.-S., Choi, K.-H., Cha, B.-Y., & Im, Y.-J. 2011.** Fishing characters of skate ray, *Raja pulchra* by the offshore longline fishery in Heuksan-do, Korea. *Bulletin of the Korean Society of Fisheries Technology*, 47(4), 403–410. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2011.47.4.403>
- Jorgensen, S. J., Micheli, F., White, T. D., Van Houtan et al. 2022.** Emergent research and priorities for shark and ray conservation. *Endangered Species Research*, 47, 171–203. <https://doi.org/10.3354/esr01169>
- Kuhn, M., & K. Johnson. 2013.** *Applied Predictive Modeling*. Springer
- Kadri, H., Marouani, S., Bradai, M. N., Bouaïn, A., & Morize, E. 2014.** Age, growth, longevity, mortality and reproductive biology of *Dipturus oxyrinchus* (Chondrichthyes: Rajidae) off the Gulf of Gabès (Southern Tunisia, central Mediterranean). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 95, 569–577. <https://doi.org/10.1017/S0025315414000551>
- Kadri, H., Marouani, S., Saïdi, B., Bradai, M. N., Bouaïn, A., et al. 2014a.** Age, growth, sexual maturity and reproduction of the thornback ray, *Raja clavata* (L.) of the Gulf of Gabes (South-central Mediterranean Sea). *Marine Biology Research*, 10(4), 416–425. <https://doi.org/10.1080/17451000.2013.797584>
- Kang, H. W., Jo, Y. R., Kang, D. Y., Jeong, G. S., & Jo, H. S. 2013.** Spawning characteristics and artificial hatching of female mottled skate, *Beringraja pulchra* in the West Coast of Korea. *Development & Reproduction*, 17(3), 247–255. <https://doi.org/10.12717/DR.2013.17.3.247>
- Kyne, P. M., Courtney, A. J., & Bennett, M. B. 2008.** Aspects of reproduction and diet of the Australian endemic skate *Dipturus polyommata* (Ogilby) (Elasmobranchii: Rajidae), by-catch of a commercial prawn trawl fishery. *Journal of Fish Biology*, 72(1), 61–77. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2007.01655.x>
- Kraft, S., Winkler, A. C., & Abecasis, D. 2024.** Seasonal movement dynamics of the commercially important thornback ray (*Raja clavata*) in a coastal marine protected area. *Ocean and Coastal Management*, 254, Article 107210. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2024.107210>
- Kulka, D.W., Cotton, C.F., Anderson, B., Herman, K., Pacoureaux, N. & Dulvy, N.K. 2020a.** *Dipturus laevis*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2020*: e.T39771A124413280. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-3.RLTS.T39771A124413280.en>. Accessed on 26 June 2025.
- Kulka, D.W., Anderson, B., Cotton, C.F., Derrick, D., Pacoureaux, N. & Dulvy, N.K. 2020b.** *Leucoraja ocellata*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2020*: e.T161631A124518400. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-3.RLTS.T161631A124518400.en>. Accessed on 26 June 2025.
- Lamilla J, C Bustamante, R Roa, E Acuña, F Concha, R Melendez, S López, G Aedo, H Flores & C Vargas. 2010.** Estimación del descarte de condriictios en pesquerías artesanales. Informe Final Proyecto del Fondo de Investigación Pesquera (F.I.P.) No 2008-60. Subsecretaría de Pesca. Universidad Austral de Chile, 259 pp +Anexos.
- Lee, Y. D., Yang, H. J., Park, J. M., & Kang, H. W. 2013.** Spawning characteristics and artificial hatching of female mottled skate, *Beringraja pulchra* in the west coast of Korea. *Development & Reproduction*, 17(3), 247–255. <https://doi.org/10.12717/DR.2013.17.3.247>
- Lee, G.-A. 2019.** Common pool resources management measures and implementation strategy of skate fishermen. *Journal of Marine and Island Cultures*, 8(2). <https://doi.org/10.21463/jmic.2019.08.2.05>
- Liaw, A. & M. Wiener. 2002.** Classification and regression by randomForest. *R News*, 2: 18–22.
- Licandeo R, Lamilla J, Rubilar PG & R. Vega. 2006.** Age, growth, and sexual maturity of the yellownose skate *Dipturus chilensis* in the south-eastern Pacific. *Journal of Fish Biology* 68:488–506

- Licandeo R & FT. Cerna. 2007.** Geographic variation in life- history traits of the endemic kite skate *Dipturus chilensis* (Batoidea: Rajidae), along its distribution in the fjords and channels of southern Chile. *Journal of Fish Biology* 71:421– 440
- Licandeo R, Cerna F, & R. Céspedes. 2007.** Age, growth, and reproduction of the roughskin skate, *Dipturus trachyderma*, from the southeastern Pacific. *ICES Journal of Marine Science* 64:141–148.
- Luer, C. A., & Gilbert, P. W. 1985.** Mating behavior, egg deposition, incubation period, and hatching in the clearnose skate, *Raja eglanteria*. *Environmental Biology of Fishes*, 13, 161–171. <https://doi.org/10.1007/BF00000926>.
- McCullagh, P., & J. A. Nelder. 1989.** *Generalized Linear Models* (2nd ed.). Chapman & Hall/CRC.: This seminal work discusses the theory behind generalized linear models, including logistic regression.
- Mabragaña, E., & Cousseau, M. B. 2004.** Reproductive biology of two sympatric skates in the southwest Atlantic: *Psammobatis rudis* and *Psammobatis normani*. *Journal of Fish Biology*, 65(2), 559–573. <https://doi.org/10.1111/j.0022-1112.2004.00473.x>
- Maia, C., Erzini, K., Serra-Pereira, B., & Figueiredo, I. 2012.** Reproductive biology of cuckoo ray *Leucoraja naevus*. *Journal of Fish Biology*, 81(4), 1285–1296. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2012.03412.x>
- Matta, M. E. 2015.** Reproductive biology of the Alaska skate *Bathyraja parmifera*, with comments on an intersexual individual. *Journal of Fish Biology*, 87(3), 664–678. <https://doi.org/10.1111/jfb.12747>
- Muggeo, V.M.R. 2003.** Estimating regression models with unknown breakpoints. *Statist. Med.* 22(19): 3055–3071.
- Muggeo, V.M.R. 2008.** segmented: Segmented relationships in regression models with breakpoints/changes estimation.
- Musick, J. A., & Bonfil, R. (Eds.). 2004.** *Elasmobranch fisheries management techniques*. APEC Fisheries Working Group, APEC#203-FS-03.2. Singapore: APEC Secretariat. ISBN 981-04-9682-6.
- Newman, D.M., Jones, P.L & B.A. Ingram. 2008.** Sexing accuracy and indicators of maturation status in captive Murray cod *Maccullochella peelii peelii* using non-invasive ultrasonic imagery. *Aquaculture* 279:113–119.
- Novelo, N.D & T.R. Tiersch. 2012.** A Review of the Use of Ultrasonography in Fish Reproduction, *North American Journal of Aquaculture*, 74:2, 169-181.
- Ormseth, O.A. 2021.** Assessment of the skate stock complex in the Gulf of Alaska. In: Stock assessment and fishery evaluation report for the groundfish resources of the Gulf of Alaska. North Pacific Fishery Management Council, Anchorage, AK
- Parent, S., Pépin, S., Genet, J.-P., Misserey, L., & Rojas, S. 2008.** Captive breeding of the barndoor skate (*Dipturus laevis*) at the Montreal Biodome, with comparison notes on two other captive-bred skate species. *Zoo Biology*, 27, 145–153. <https://doi.org/10.1002/zoo.20170>
- Peng, C. Y. J., Lee, K. L., & G. M. Ingersoll. 2002.** An Introduction to Logistic Regression Analysis and Reporting. *The Journal of Educational Research*, 96(1), 3-14.: This paper provides a practical introduction to logistic regression analysis and its reporting.
- Perez-Cuesta MC & J. González. 2017.** Estatus y posibilidad de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales 2018: Raya volantín, 2018. Informe 2 Estatus. Convenio de Desempeño Subsecretaría de Economía y EMT / IFOP, Chile: 139 pp.
- Perez-Brazen, C. R., Cailliet, G. M., & Ebert, D. A. 2014.** Reproduction of the sandpaper skate, *Bathyraja kincaidii* (Garman 1908) in the eastern North Pacific. *Environmental Biology of Fishes*, 97, 1317–1322. <https://doi.org/10.1007/s10641-014-0220-4>

- Peeverley, M., & Stewart, J. E. 2021.** Fisheries research & management plan: Skates & rays in the North of Devon and Severn IFCA's district. Devon and Severn Inshore Fisheries and Conservation Authority & North Devon Biosphere. 63 pp + apéndices.
- Poisot, T. 2011.** The digitize Package: Extracting Numerical Data from Scatterplots. *The R Journal*, 3(1), 25-26.
- Porcu, C., Marongiu, M.F., Bellodi, A., Cannas, R., Cau, A., Melis, R., Mulas, A., Soldovilla, G., Vacca, L., Follesa, M. 2017.** Morphological descriptions of the eggcases of skates (Rajidae) from the central-western Mediterranean, with notes on their distribution. *Helgol Mar Res* 71, 10. <https://doi.org/10.1186/s10152-017-0490-2>
- Porcu, C., Marongiu, M. F., Olita, A., Bellodi, A., Cannas, R., Carbonara, P., Cau, A., Mulas, A., Pesci, P., & Follesa, M. C. 2020.** The demersal bathyal fish assemblage of the Central-Western Mediterranean: Depth distribution, sexual maturation and reproduction. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 166, 103394. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2020.103394>
- Pratt, H.L. 1993.** The storage of spermatozoa in the oviducal glands of western North Atlantic sharks. *Environmental Biology of Fishes*, 38: 139-149.
- Queirolo, D., P. Apablaza, M. Ahumada & R. Wiff. 2022.** Estudio piloto de marcaje y recaptura para conocer patrones de migración y distribución espacial de los recursos raya volantín (*Zearaja chilensis*) y raya espinosa (*Dipturus trachyderma*). Informe Final. Proyecto FIPA N° 2019-13. 108 pp.
- Quiroz JC, Wiff R & R. Céspedes. 2009.** Reproduction and population aspects of the yellownose skate, *Dipturus chilensis* (Pisces, Elasmobranchii: Rajidae), from southern Chile. *Journal of Applied Ichthyology* 25:72–77 doi: 10.1111/j.1439-0426.2007.00914.x.
- Quiroz JC, Wiff R & B. Caneco. 2010.** Incorporating uncertainty into estimation of natural mortality for two species of Rajidae fished in Chile. *Fisheries Research* 102: 297–304.
- R Core Team. 2021.** R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Regnier, T., Dodd, J., Benjamins, S., Gibb, F., & Wright, P. 2024.** Spatial management measures benefit the critically endangered flapper skate, *Dipturus intermedius*. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 34, Article e4150. <https://doi.org/10.1002/aqc.4150>
- Richards, S., D. Merriman & L. Calhoun. 1963.** Studies on the marine resources of Southern New England. 9. The biology of the little skate, *Raja erinacea*. *Bull. Bingham. Oceanog.* Colln 18: 5-67.
- Rigby, C.L., White, W.T., Smart, J.J. and Simpfendorfer, C.A. 2016a,** Life histories of two deep-water Australian endemic elasmobranchs: Argus skate *Dipturus polyommata* and eastern spotted gummy shark *Mustelus walkeri*. *J Fish Biol*, 88: 1149-1174. <https://doi.org/10.1111/jfb.12891>
- Rigby, C.L., White WT, Simpfendorfer, CA 2016b.** Deepwater Chondrichthyan Bycatch of the Eastern King Prawn Fishery in the Southern Great Barrier Reef, Australia. *PLoS ONE* 11(5): e0156036. doi:10.1371/journal.pone.0156036
- Ruocco, N., Lucifora, L., Díaz de Astarloa, J. M., & Wohler, O. 2006.** Reproductive biology and abundance of the white-dotted skate, *Bathyraja albomaculata*, in the Southwest Atlantic. *ICES Journal of Marine Science*, 63, 105–116. <https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2005.08.007>
- Ryland, J. S., & Ajayi, T. O. 1984.** Growth and population dynamics of three *Raja* species (Batoidei) in Carmarthen Bay, British Isles. *ICES Journal of Marine Science*, 41, 111–120. <https://doi.org/10.1093/icesjms/41.2.111>
- Saglam, H., & Ak, O. 2012.** Reproductive biology of *Raja clavata* (Elasmobranchii: Rajidae) from Southern Black Sea coast around Turkey. *Helgoland Marine Research*, 66, 117–124. <https://doi.org/10.1007/s10152-011-0252-5>

- Santos, R., Medeiros-Leal, W., Novoa-Pabón, A., Crespo, O., & Pinho, M. 2021.** Biological knowledge of thornback ray (*Raja clavata*) from the Azores: Improving scientific information for the effectiveness of species-specific management measures. *Biology*, 10(7), 676. <https://doi.org/10.3390/biology10070676>.
- Seeger, J., & Brockmann, H. J. 1987.** What is bet-hedging? In P. H. Harvey & L. Partridge (Eds.), *Oxford surveys in evolutionary biology* (Vol. 4, pp. 182–211). Oxford University Press.
- Segura, A.M., A.C. Milessi, R. Vögler, F. Galván-Magaña, & V. Muggeo. 2013.** The determination of maturity stages in male elasmobranchs (Chondrichthyes) using a segmented regression of clasper length on total length. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 70, 830-833.
- Serra-Pereira, B., Figueiredo, I. & Gordo, L. 2011.** Maturation, fecundity, and spawning strategy of the thornback ray, *Raja clavata*: Do reproductive characteristics vary regionally? *Marine Biology*, 158, 2187–2197. <https://doi.org/10.1007/s00227-011-1723-6>
- Serra-Pereira, B., Maia, C., Lagarto, N., and Figueiredo, I. 2018.** *A Investigação Realizada no IPMA de Suporte ao Aconselhamento Científico Para a Gestão de Espécies de Raia*. Relat. Cient. Téc. Série Digital No 21. Nijkerk: IPMA, 29. (in Portuguese).
- Serra-Pereira, B., I. Figueiredo & L.S. Gordo. 2011.** Maturation of the Gonads and Reproductive Tracts of the Thornback Ray *Raja clavata*, with Comments on the Development of a Standardized Reproductive Terminology for Oviparous Elasmobranchs, *Marine and Coastal Fisheries*, 3:1, 160-175.
- Silva, P., Teixeira, C., Pita, C., Cabral, H. & França, S. 2021.** Portuguese Artisanal Fishers' Knowledge About Elasmobranchs—A Case Study. *Frontiers in Marine Science*. 8. 684059. [10.3389/fmars.2021.684059](https://doi.org/10.3389/fmars.2021.684059).
- Scientific, Technical and Economic Committee for Fisheries (STECF) 2017.** Long-term management of skates and rays (STECF-17-21). Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2017, ISBN 978-92-79-67493-8, doi:10.2760/44133, JRC109366
- Stehmann, M.F.W. 2002.** Proposal of maturity stages scale for oviparous and viviparous cartilaginous fishes (Pisces, Chondrichthyes). *Archives of fishery and Marine Research*, 50, 23–48.
- Sulikowski, J. A., Kneebone, J., Elzey, S., Jurek, J., Danley, P. D., Howell, W. H., & Tsang, P. C. W. 2005a.** The reproductive cycle of the thorny skate (*Amblyraja radiata*) in the western Gulf of Maine. *Fishery Bulletin*, 103, 536–543.
- Sulikowski, J. A., Tsang, P. C. W., & Howell, W. H. 2005b.** Age and size at sexual maturity for the winter skate, *Leucoraja ocellata*, in the western Gulf of Maine based on morphological, histological and steroid hormone analyses. *Environmental Biology of Fishes*, 72(4), 429-441. <https://doi.org/10.1007/s10641-004-2866-9>
- Sulikowski, J. A., Elzey, S. P., Kneebone, J., Jurek, J., Howell, W. H., & Tsang, P. C. 2007.** The reproductive cycle of the smooth skate, *Malacoraja senta*, in the Gulf of Maine. *Marine and Freshwater Research*, 58, 98–103. <https://doi.org/10.1071/MF05178>
- Stehmann MFW. 2002.** Proposal of maturity stages scale for oviparous and viviparous cartilaginous fishes (Pisces, Chondrichthyes). *Archives of fishery and Marine Research*, 50, 23–48.
- Thorburn, J., Cole, G., Naylor, A., Garbett, A., Wilson, K., James, M., Dodd, J., Houghton, J. D. R., & Collins, P. 2023.** Preliminary insight into the reproductive traits of the flapper skate (*Dipturus intermedius*) using in-field ultrasonography and circulating hormone concentrations. *Endangered Species Research*, 52, 1–10. <https://doi.org/10.3354/esr01264>
- Treloar, M. 2008.** *Aspects of the life history of skates from southeastern Australia* (Doctoral dissertation). Deakin University.
- Vargas-Caro, C., Bustamante, C., Lamilla, J., & Bennett, M. B. 2015.** A review of longnose skates *Zearaja chilensis* and *Dipturus trachyderma* (Rajiformes: Rajidae). *Universitas Scientiarum*, 20(3), 321–359. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.SC20-3.arol>

- Vargas-Caro C. 2010.** Captura incidental y descarte de peces cartilaginosos (piscis: Chondrichthyes) en la pesquería artesanal de raya volantín *Zearaja chilensis* (guichenot, 1848). Tesis para optar al Título de Biólogo Marino. Universidad Austral. Chile.
- Vargas-Caro C, Bustamante C, Lamilla J & MB. Bennett. 2015.** A review of longnose skates *Zearaja chilensis* and *Dipturus trachyderma* (Rajiformes: Rajidae). *Universitas Scientiarum*, 20 (3): 321-359.
- Vargas-Caro C, Bustamante C, Bennett MB & JR. Ovenden. 2017.** Towards sustainable fishery management for skates in South America: The genetic population structure of *Zearaja chilensis* and *Dipturus trachyderma* (Chondrichthyes, Rajiformes) in the south-east Pacific Ocean. *PLoS ONE* 12(2): e0172255. doi:10.1371/journal.pone.0172255
- Vázquez, D. M., Awruch, C. A., Lucifora, L. O., Díaz de Astarloa, J. M., & Mabrugaña, E. 2022.** Embryonic development timeline in skates (Chondrichthyes: Rajiformes): *Sympterygia acuta* as the first case study in the family Arhynchobatidae. *Zoology*, 155, 126057. <https://doi.org/10.1016/j.zool.2022.126057>
- Walmsley-Hart SA, Sauer WHH & CD. Buxton. 1999.** The biology of the skate *Raja wallacei* and *R. pullopunctata* (Batoidea: Rajidae) on the Agulhas Bank, South Africa. *South African Journal of Marine Science* 21, 165–179.
- Walker, P. A. 1999.** Fleeting images: Dynamics of North Sea ray populations [Tesis de doctorado, Universiteit van Amsterdam].
- Wakeford, R. C., Agnew, D. J., Middleton, D. A. J., Pompert, J. H. W., & Laptikhovsky, V. V. 2005.** Management of the Falkland Islands multispecies ray fishery: Is species-specific management required? *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*, 35, 309–324. <https://doi.org/10.2960/J.v35.m509>
- Wehitt, A., Colonello, J. H., Macchi, G. J., & Galíndez, E. J. 2018.** Reproductive biology of the eyespot skate *Atlantoraja cyclophora* (Elasmobranchii: Arhynchobatidae), an endemic species of the Southwestern Atlantic Ocean (34°S–42°S). *Neotropical Ichthyology*, 16(2), 1–11. <https://doi.org/10.1590/1982-0224-20170098>
- Welch, D.W. & R.P. Foucher. 1988.** A maximum likelihood methodology for estimating length at maturity with application to pacific cod (*Gadus macrocephalus*) populations dynamics. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45, 333-343.
- Wiegand, J., Hunter, E., & Dulvy, N. K. 2011.** Are spatial closures better than size limits for halting the decline of the North Sea thornback ray, *Raja clavata*? *Marine and Freshwater Research*, 62(6), 722–733.
- Wiff, R., Flores, A., Neira, S. and Caneco, B., 2018.** Estimating steepness of the stock-recruitment relationship in Chilean fish stocks using meta-analysis. *Fisheries Research*, 200, pp.61-67.
- Wiff, R., Flores, A., Queirolo, D., Ahumada, M., Apablaza, P., Gacitúa, S., Montero, J.T., Gelcich, S., Cañete, F.T. and Lima, M., 2020.** A survey-based approach to constructing an abundance index of the pink cusk-eel (*Genypterus blacodes*) in the fjords of Chilean Patagonia. *Regional Studies in Marine Science*, 39, p.101445.
- Wiff R, Flores A, Canales TM, Segura AM, Gelcich S, Rodríguez C, Gacitúa S, Roa-Ureta RH, Queirolo D, Ahumada M & J. Montero. 2022.** Desarrollo de índices de abundancia relativa en la pesquería de raya volantín y raya espinosa. Informe Final FIPA N° 2020-29, CAPES–UC - FIPA. 294 pp.
- Williams, L. J., Cicia, A. M., Pellegrin, G. B., Smith, K. M., & Sulikowski, J. A. 2011.** The reproductive cycle of the roundel skate (*Raja texana*). *Journal of Fish Biology*, 79(1), 298–305. doi:10.1111/j.1095-8649.2011.03010.x
- Winter, A., & Arkhipkin, A. 2023.** Opportunistic Survey Analyses Reveal a Recent Decline of Skate (Rajiformes) Biomass in Falkland Islands Waters. *Fishes*, 8(1), 24. <https://doi.org/10.3390/fishes8010024>



- Whittamore JM., Bloomer C, Hanna GM. & ID. McCarthy. 2010.** Evaluating ultrasonography as a non-lethal method for the assessment of maturity in oviparous elasmobranchs. *Marine Biology* 157:2613–2624.
- Wourms, J. P. 1977.** Reproduction and development in chondrichthyan fishes. *American Zoologist*, 17(2), 379–410.
- Wright MN & A. Ziegler. 2017.** ranger: A fast implementation of random forests for high dimensional data in C++ and R. *Journal of Statistical Software*, 77(1), 1-17.
- Yeon, I.-J., Hong, S.-H., Park, Y.-C., Lee, J.-S., Kim, S.-T., & Cha, H.-K. 1997.** *The reproduction of Raja pulchra Liu in the Yellow Sea.* Bulletin of the National Fisheries Research & Development Institute, 53, 23–36.
- Yiğın, C., & İşmen, A. 2021.** Biological aspects of the brown ray (*Raja miraletus* Linnaeus, 1758) in the Saros Bay, the Northern Aegean Sea. *Çanakkale Onsekiz Mart University Journal of Marine Sciences and Fisheries*, 4(1). <https://doi.org/10.46384/jmsf.915343>

## 10. ANEXOS

10.1. Anexo 1. Pauta de terreno para muestreo biológico y de madurez de rayas.

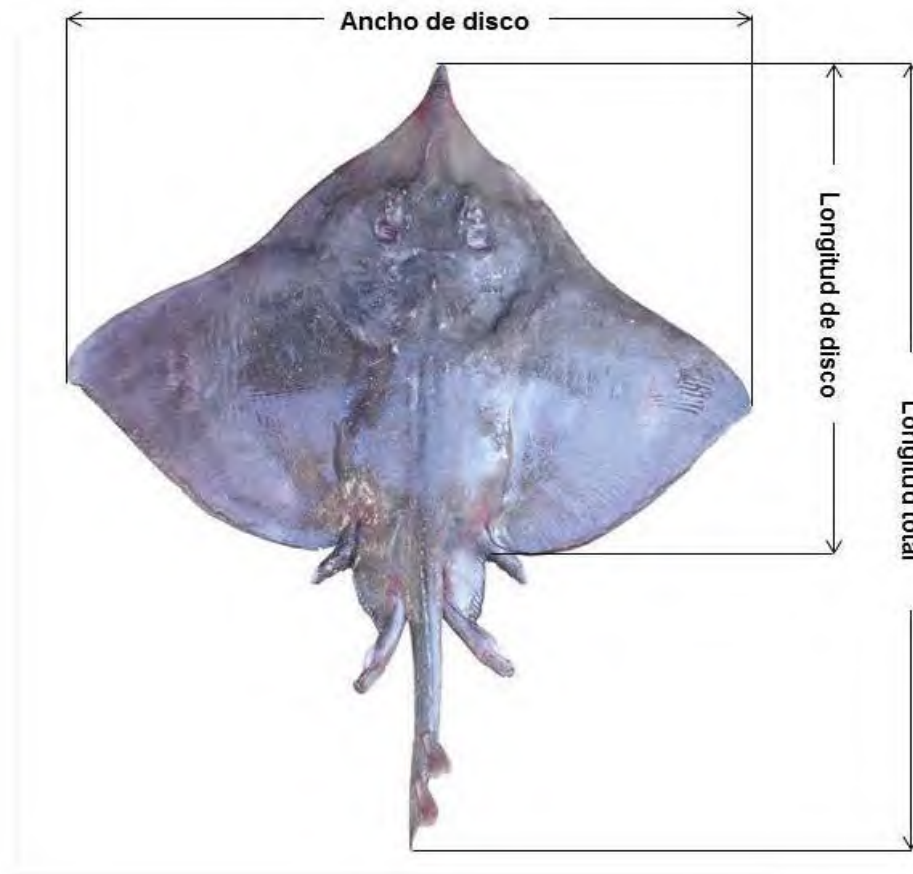
## GUÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE RAYA VOLANTÍN Y RAYA ESPINOSA



 <b>Raya volantín</b> <i>Zearaja chilensis</i> (Guichenot, 1848) Nombre común: Raya volantín	 <b>Raya espinosa</b> <i>Dipturus trachyderma</i> (Kreff & Stehmann, 1975) Nombre común: Raya espinosa		
 <b>Con un agujón nucal</b> en la línea media detrás de los espiráculos <b>Sin espinulación ventral</b> Suave al tacto	 <b>Sin agujón nucal</b> (zona interespiracular lisa) <b>Abundante espinulación ventral</b> , áspera al tacto especialmente en torno a la boca y hendiduras branquiales		
<p><b>diferencíalas así</b></p>			
<div style="text-align: center;">                       1,6m 1,7m                 </div> <div style="text-align: center;">                       Talla de madurez sexual 1,06m                 </div>	<div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">                       hembra macho                 </div>	<div style="text-align: center;">                       3,2m 1,7m                 </div> <div style="text-align: center;">                       Talla de madurez sexual 1,9m                 </div>	<div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">                       hembra macho                 </div>

Ficha elaborada por IFOP, para identificación de ejemplares de dos especies de rayas, consideradas entre las de mayor importancia comercial en el país.

# MEDICIÓN DEL EJEMPLAR



# MUESTREO BIOLÓGICO DE RAYAS

**Identificar los siguientes órganos de las hembras:**

- **Hígado**
- **Estómago**
- **Ovario**
- **Glándula oviductal**
- **Útero**

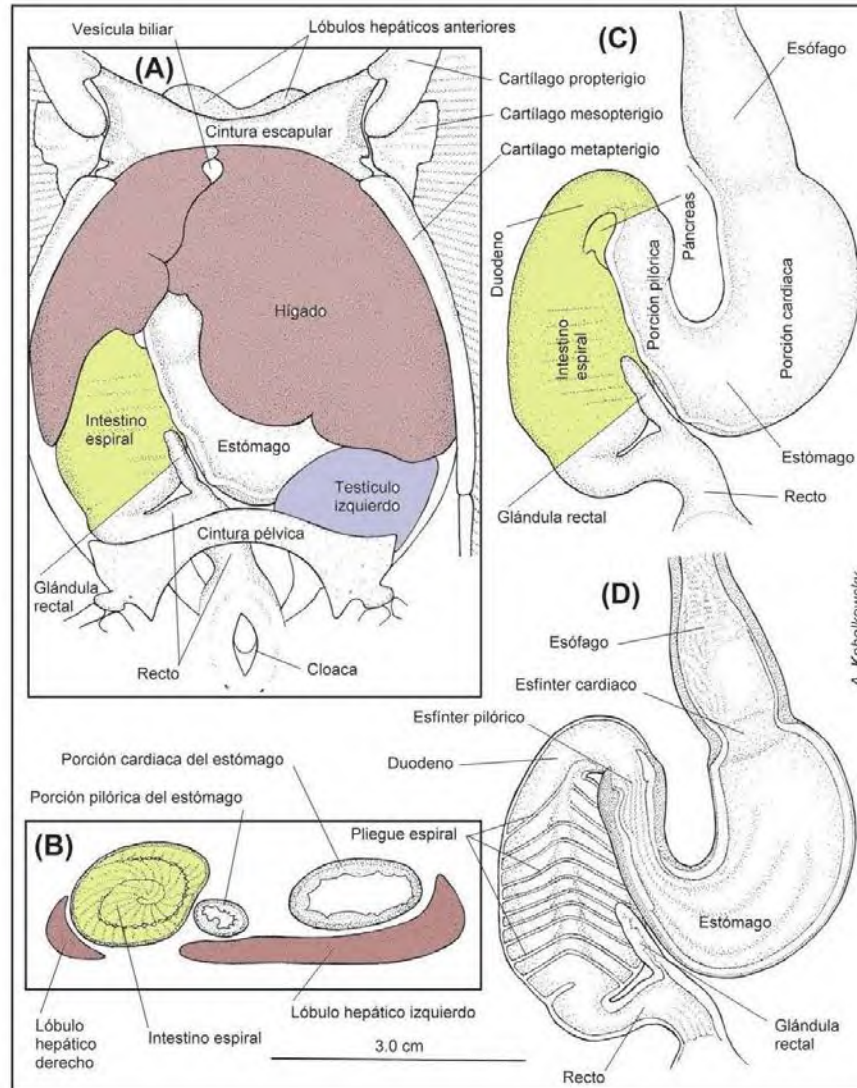
**Vista dorsal**



**Vista ventral**



# Órganos del sistema digestivo

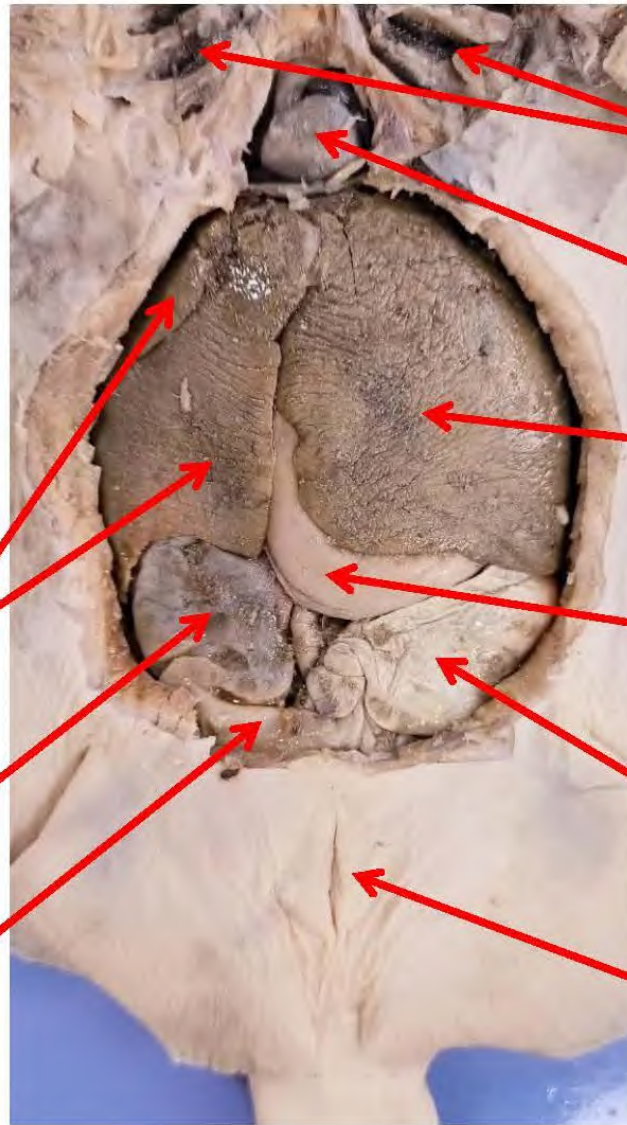


**A) vista ventral de la cavidad visceral**

**B) corte transversal del tubo digestivo y el hígado**

**C) vista ventral del tubo digestivo y el páncreas**

**D) corte frontal del tubo digestivo (interior)**



**Branquias**

**Corazón**

**Hígado**

**Estómago**

**Útero  
(saco huevo)**

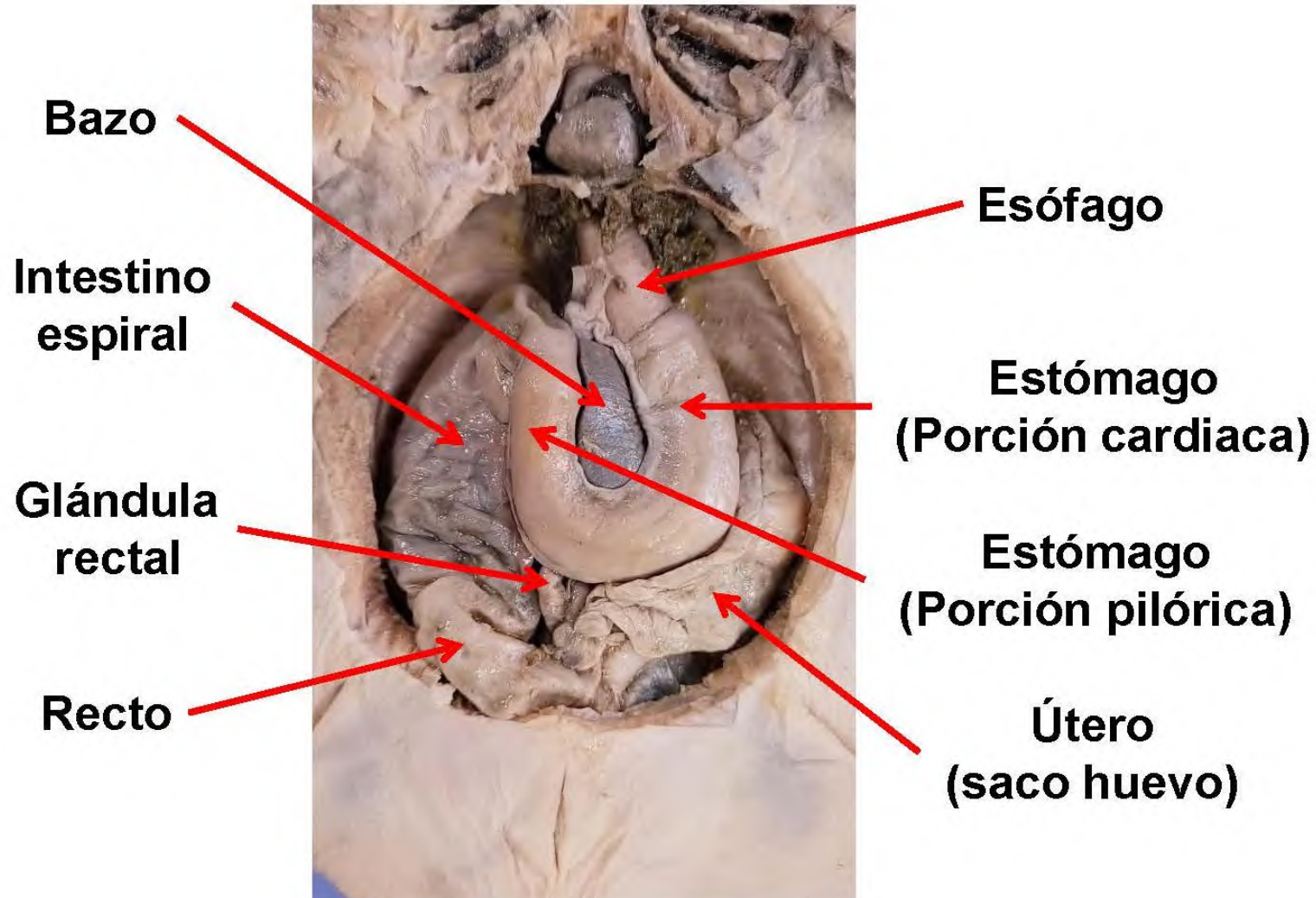
**Cloaca**

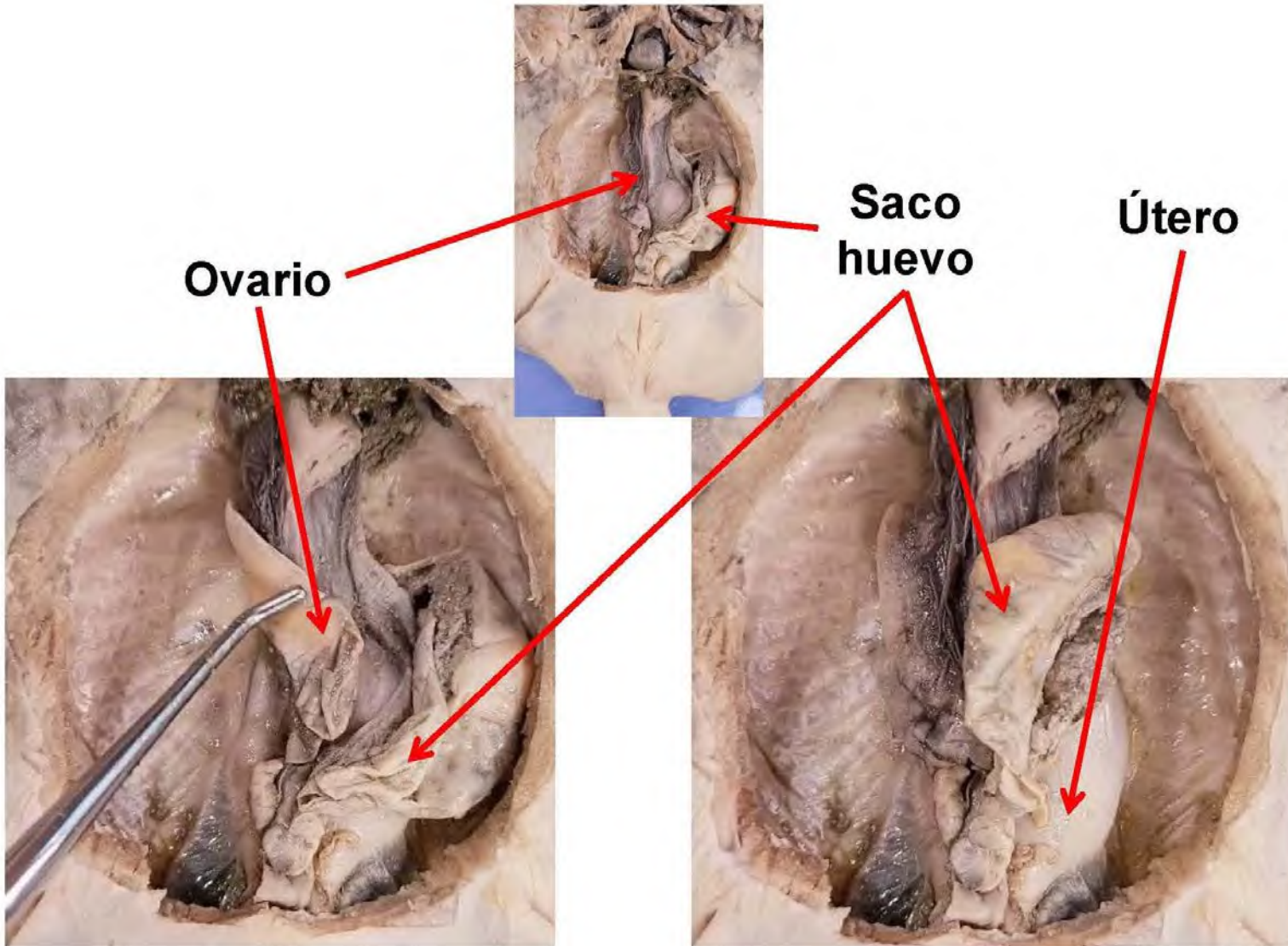
**Hígado**

**Intestino  
espiral**

**Recto**

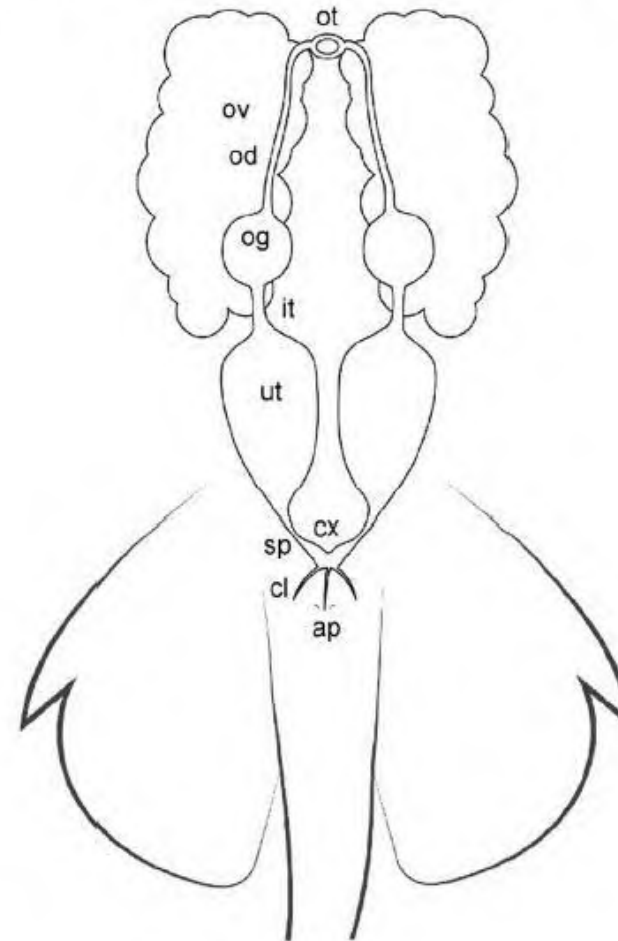
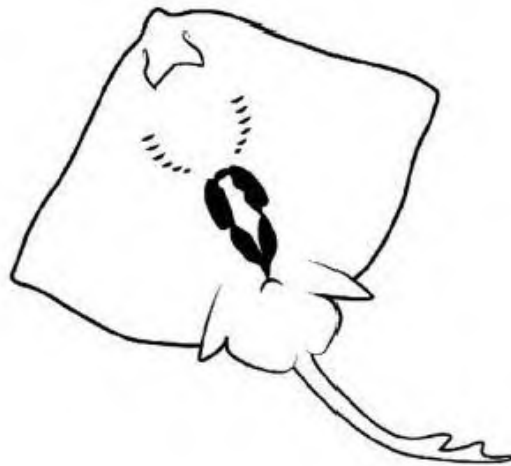






## Anatomía general del sistema reproductivo de la hembra

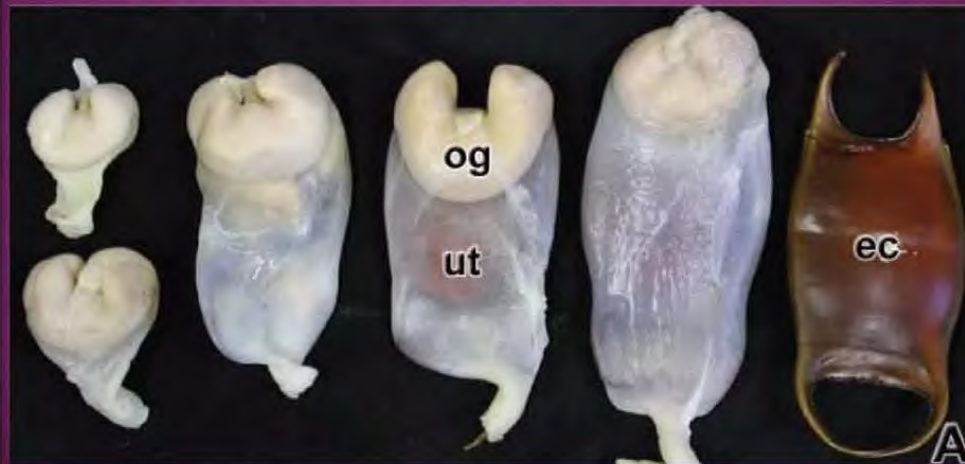
ov: ovario  
ot: ostium  
od: oviducto  
og: glándula oviductal  
it: istmo  
sp: esfínter  
cx: cuello uterino  
cl: cloaca  
ap: poros abdominales



García-Salinas et al. (2021)

LA GLÁNDULA OVIDUCAL (TAMBIÉN LLAMADA NIDAMENTAL O DE CASCARÓN) SECRETA LA MEMBRANA O CASCARÓN QUE ENVUELVE A LOS HUEVOS CONFORME PASAN A TRAVÉS DEL OVIDUCTO.

TAMBIÉN PUEDE SERVIR COMO LUGAR DE ALMACENAMIENTO DE ESPERMA Y FERTILIZACIÓN (4 MESES, +1 AÑO).



CAMBIOS DE LA GLÁNDULA OVIDUCAL, ÚTERO Y FORMACIÓN DE LA CÁPSULA DEL HUEVO DE *Raja eglanteria*, ESPECIE OVÍPARA (TOMADO DE HAMLETT, 2005).

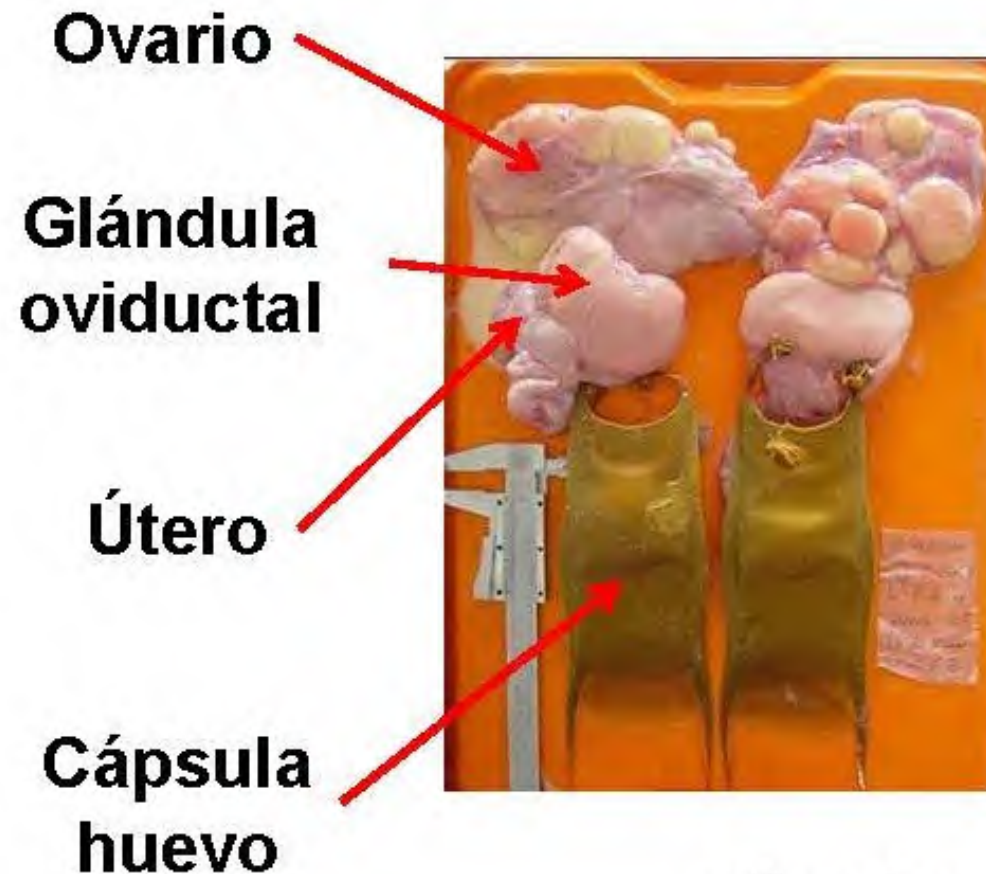
**og = glándula oviductal**

**ut = útero**

**ec = cápsula de huevo**

**Hamlett et al. (2005)**

## APARATO REPRODUCTOR DE UNA HEMBRA DE RAYA VOLANTÍN



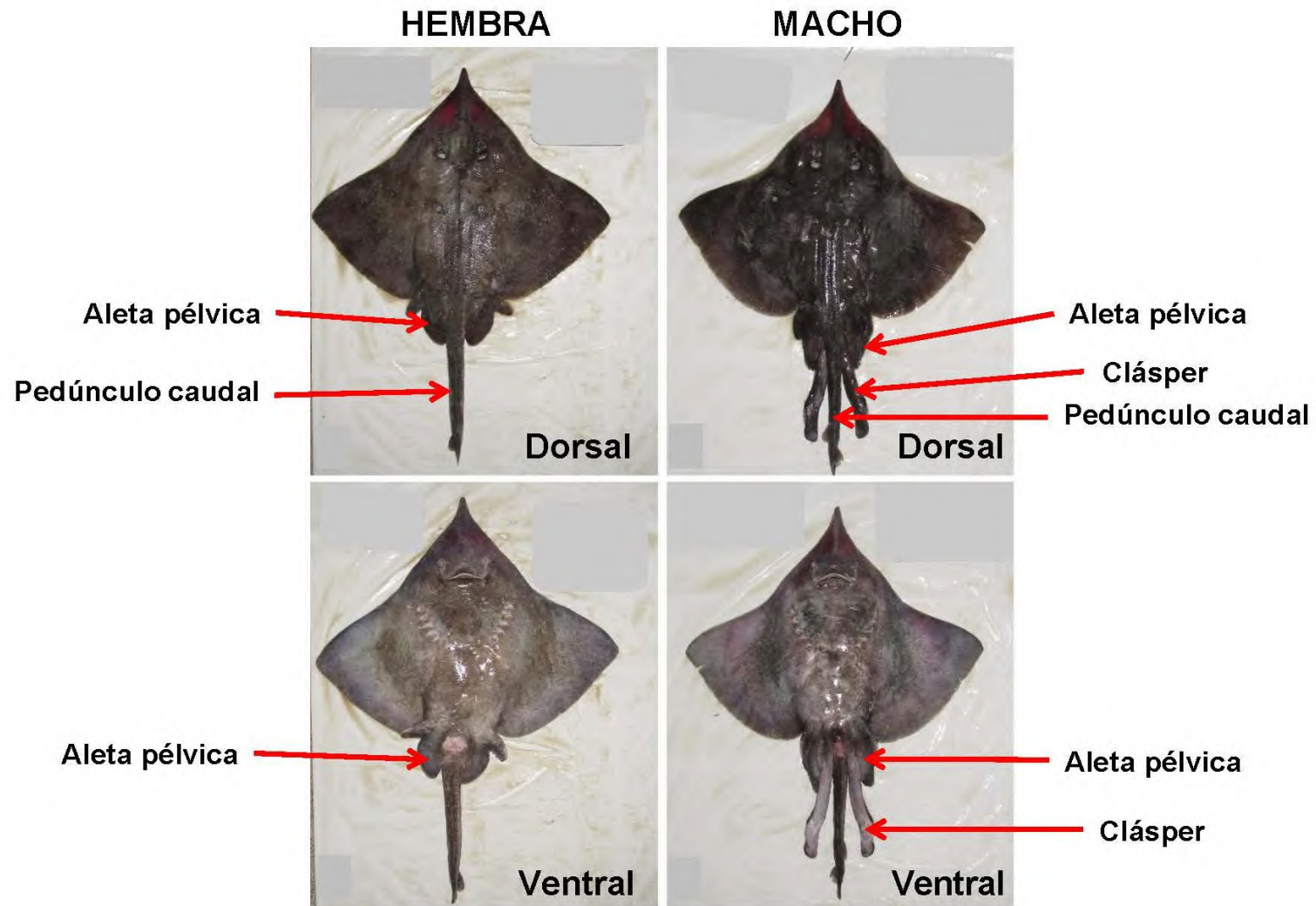
Céspedes et al. (2005)

# **SEXO & ESTADIO DE MADUREZ DE RAYAS**

**Identificar los siguientes órganos de las hembras & machos:**

- **Clásper**
- **Aleta pélvica**
- **Ovario**
- **Glándula oviductal**
- **Útero**
- **Cápsula de huevos**

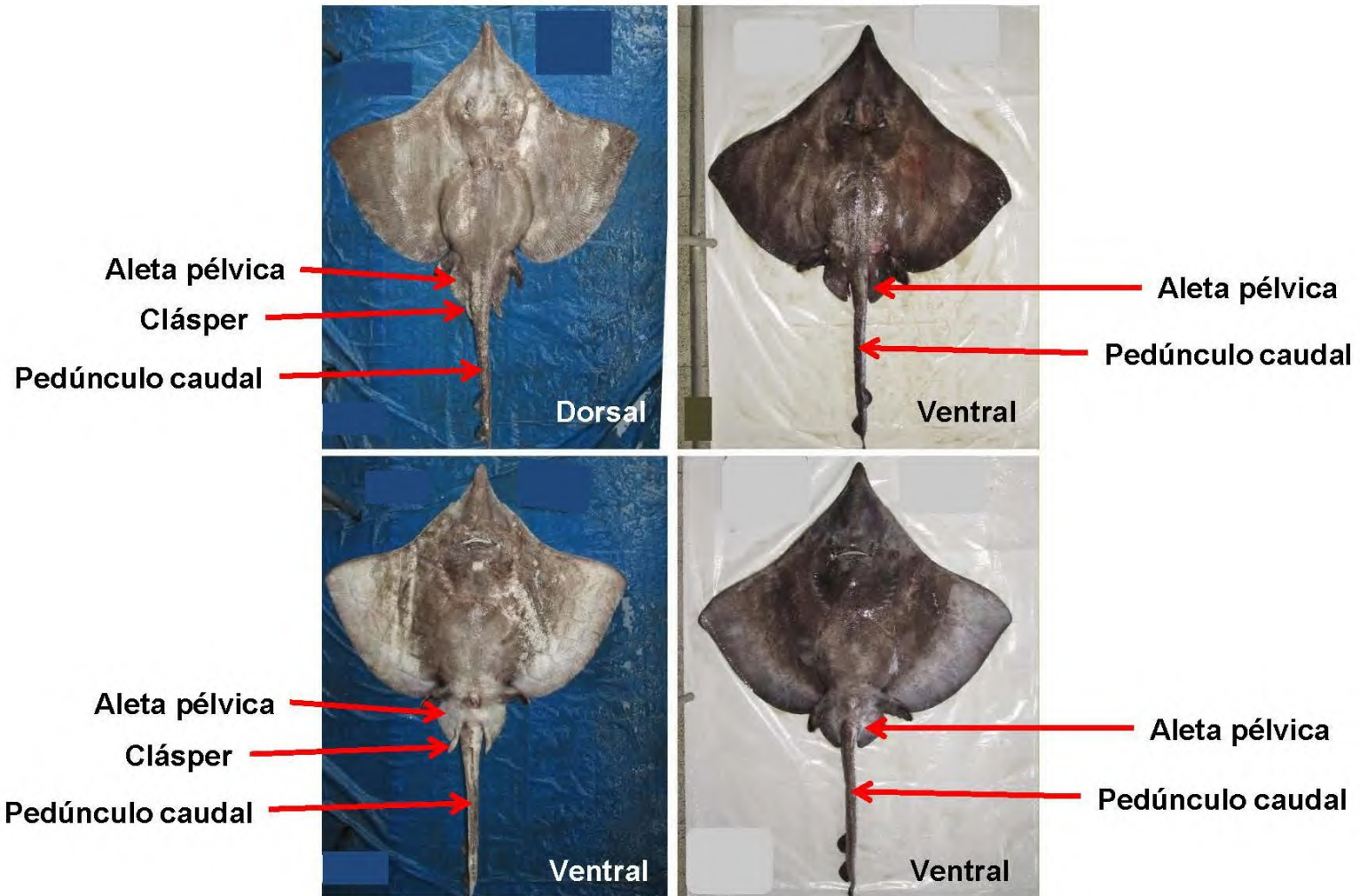
## SEXO DE RAYA VOLANTÍN



## SEXO DE RAYA ESPINOSA

MACHO

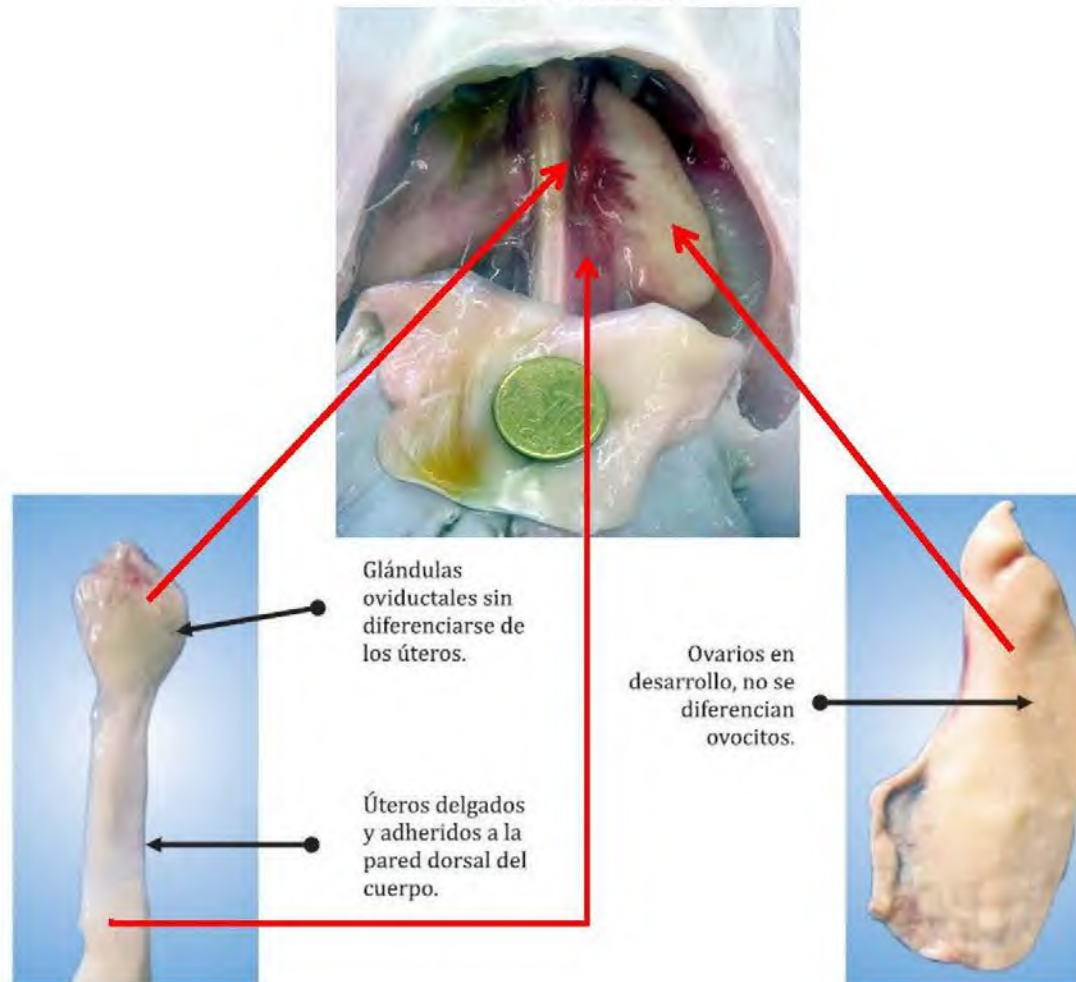
HEMBRA





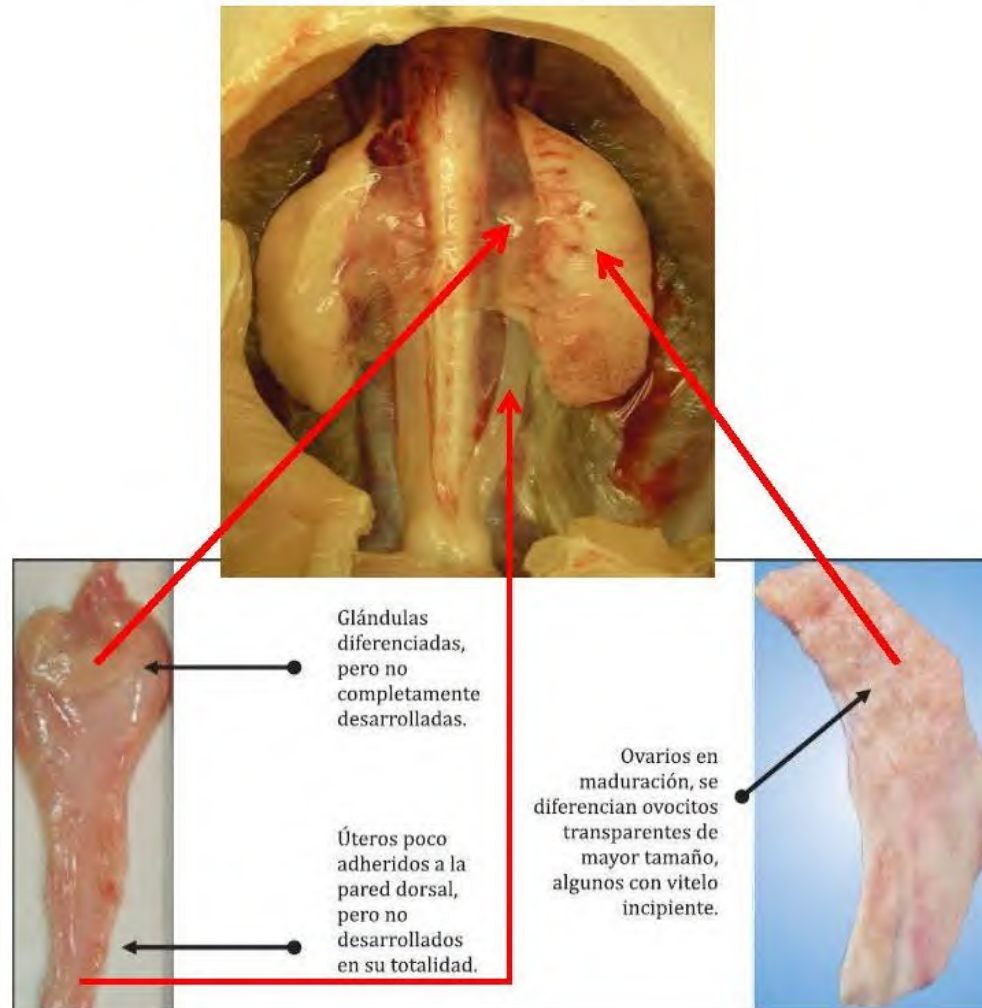
# ESTADIO DE MADUREZ SEXUAL DE LAS HEMBRAS

## 1. INMADURA



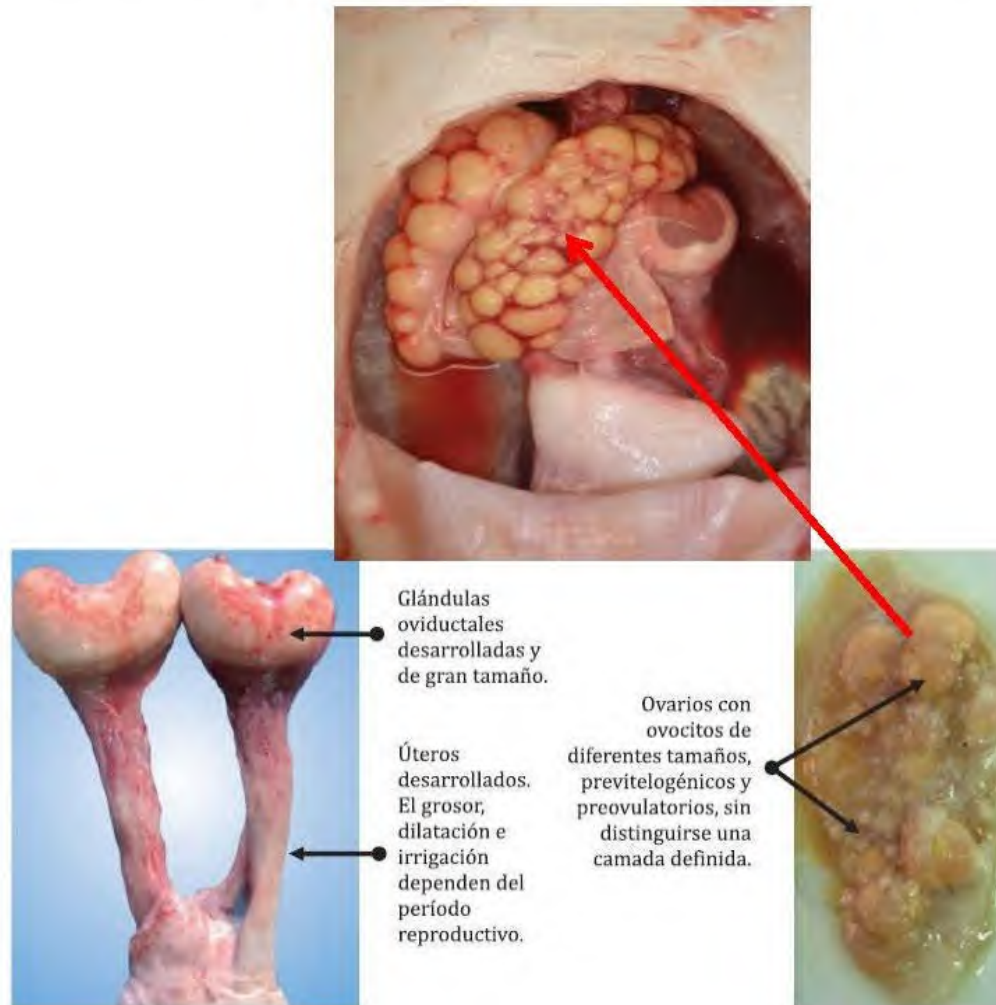
# ESTADIO DE MADUREZ SEXUAL DE LAS HEMBRAS

## 2. EN DESARROLLO



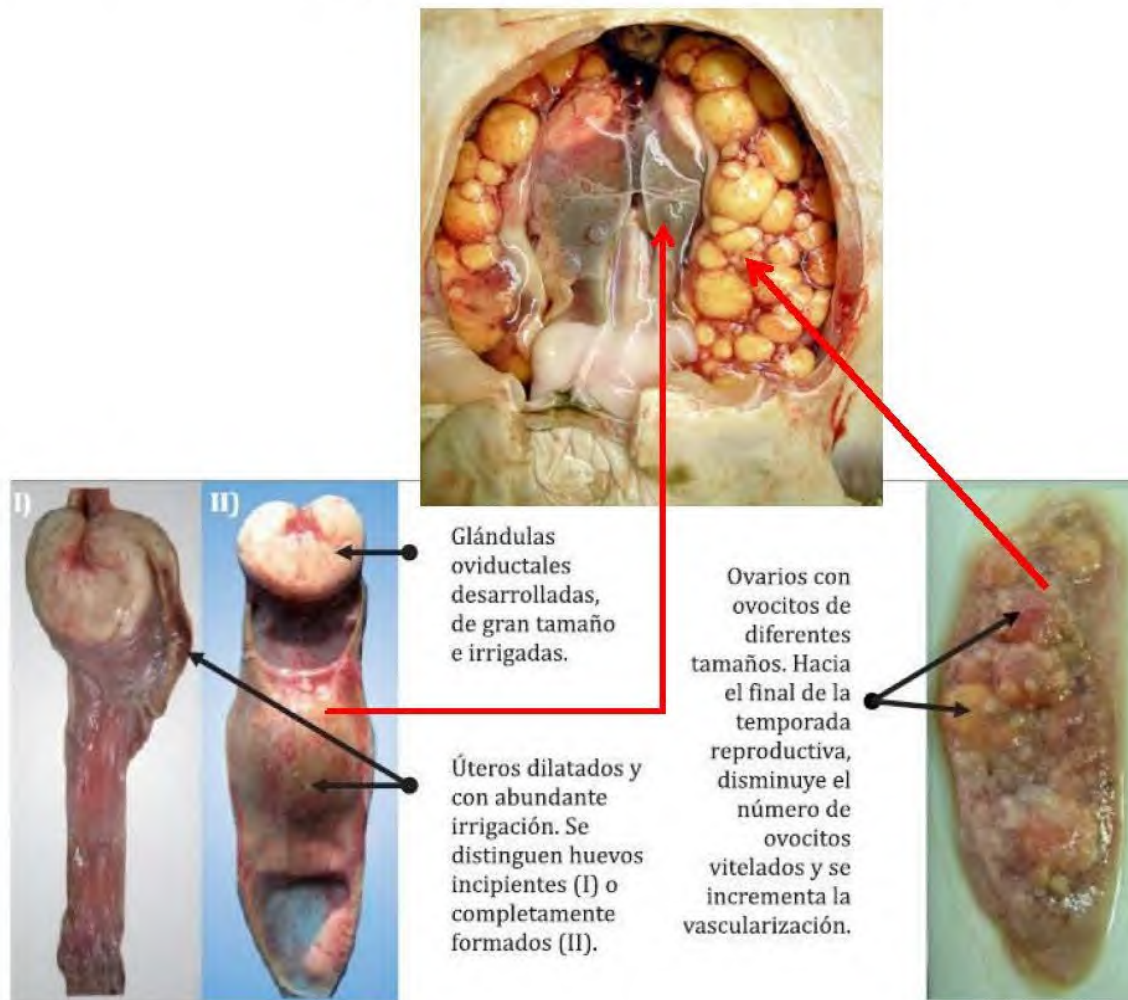
# ESTADIO DE MADUREZ SEXUAL DE LAS HEMBRAS

## 3a. CAPAZ DE REPRODUCIR



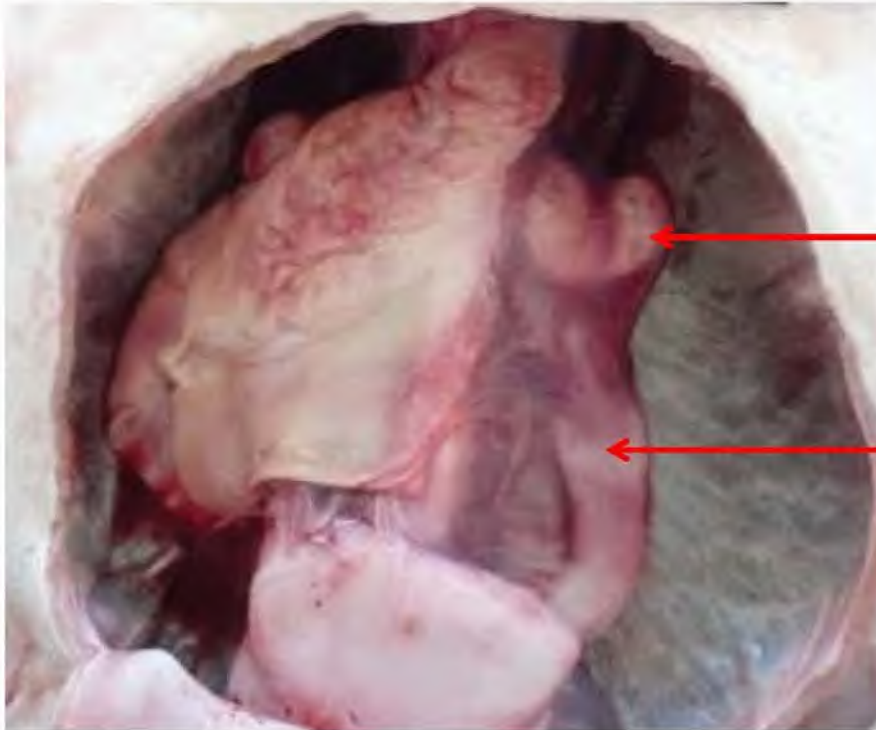
# ESTADIO DE MADUREZ SEXUAL DE LAS HEMBRAS

## 3b. DEPOSICIÓN DE HUEVOS



## ESTADIO DE MADUREZ SEXUAL DE LAS HEMBRAS

### 4a. POST-DEPOSICIÓN DE HUEVOS

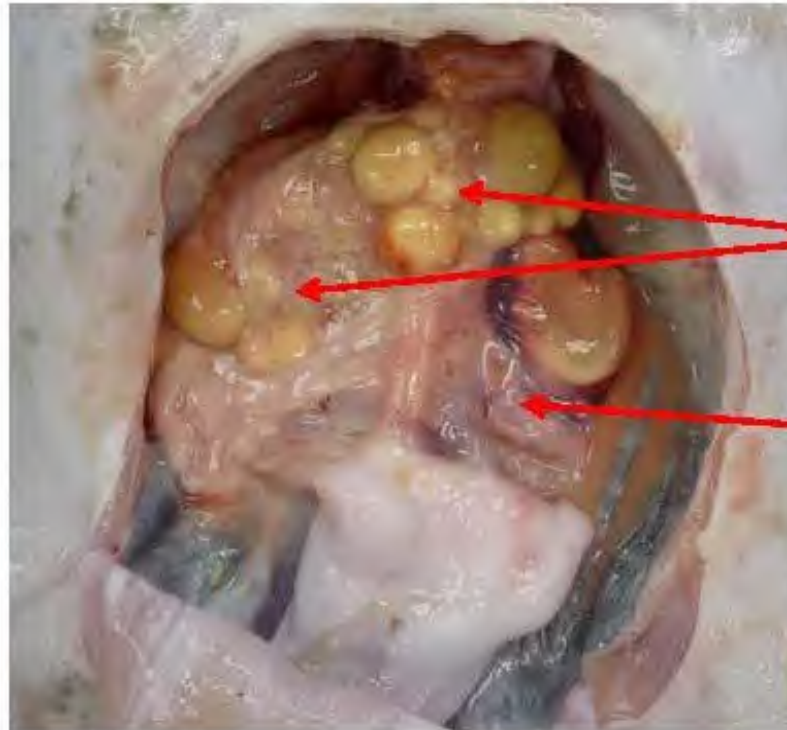


**Glándula oviducal  
desarrollada**

**Útero dilatado  
y flácido**

## ESTADIO DE MADUREZ SEXUAL DE LAS HEMBRAS

### 4b. EN REGENERACIÓN

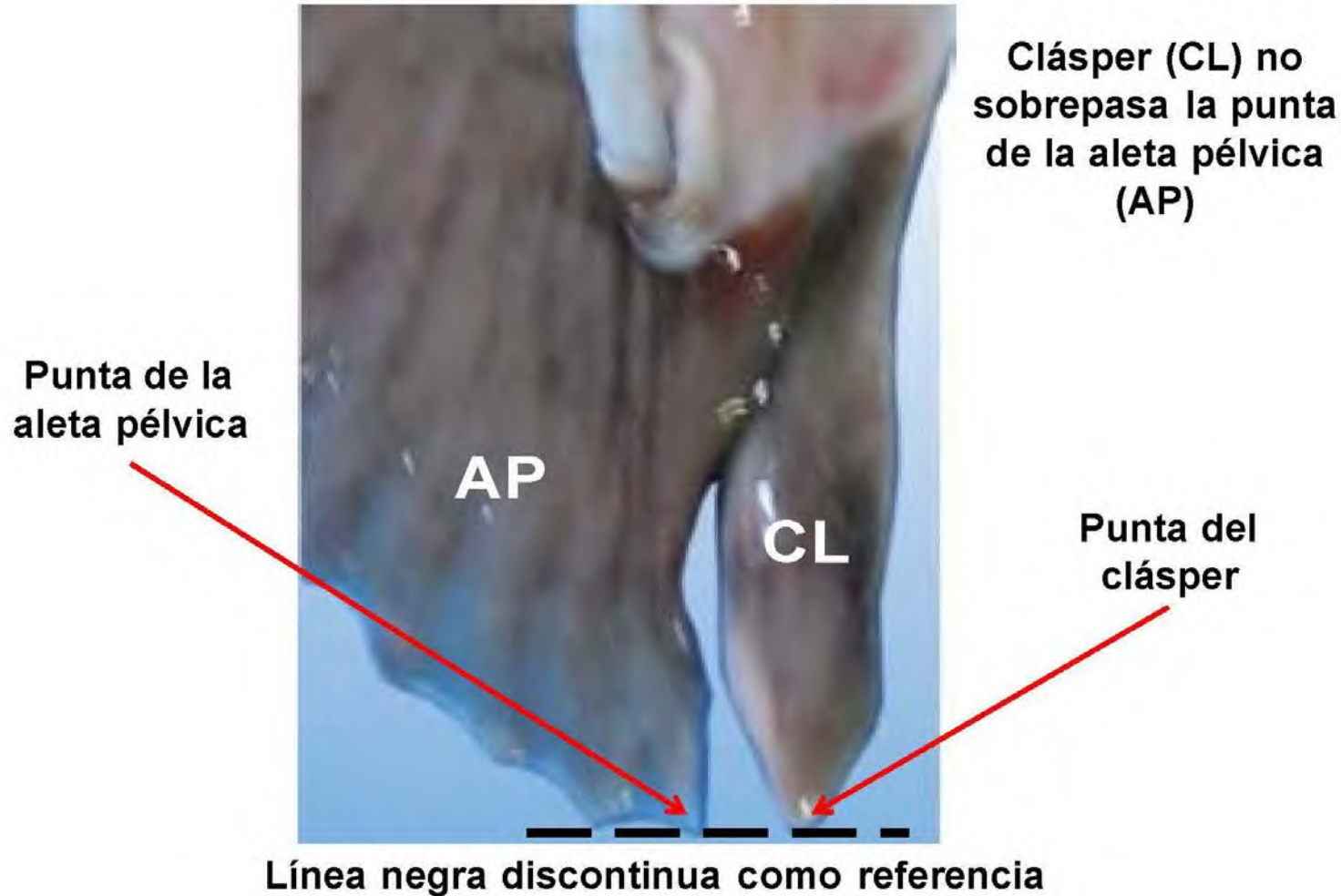


Ovarios grandes con  
ovocitos vitelinos de  
diferente tamaños

Útero expandido

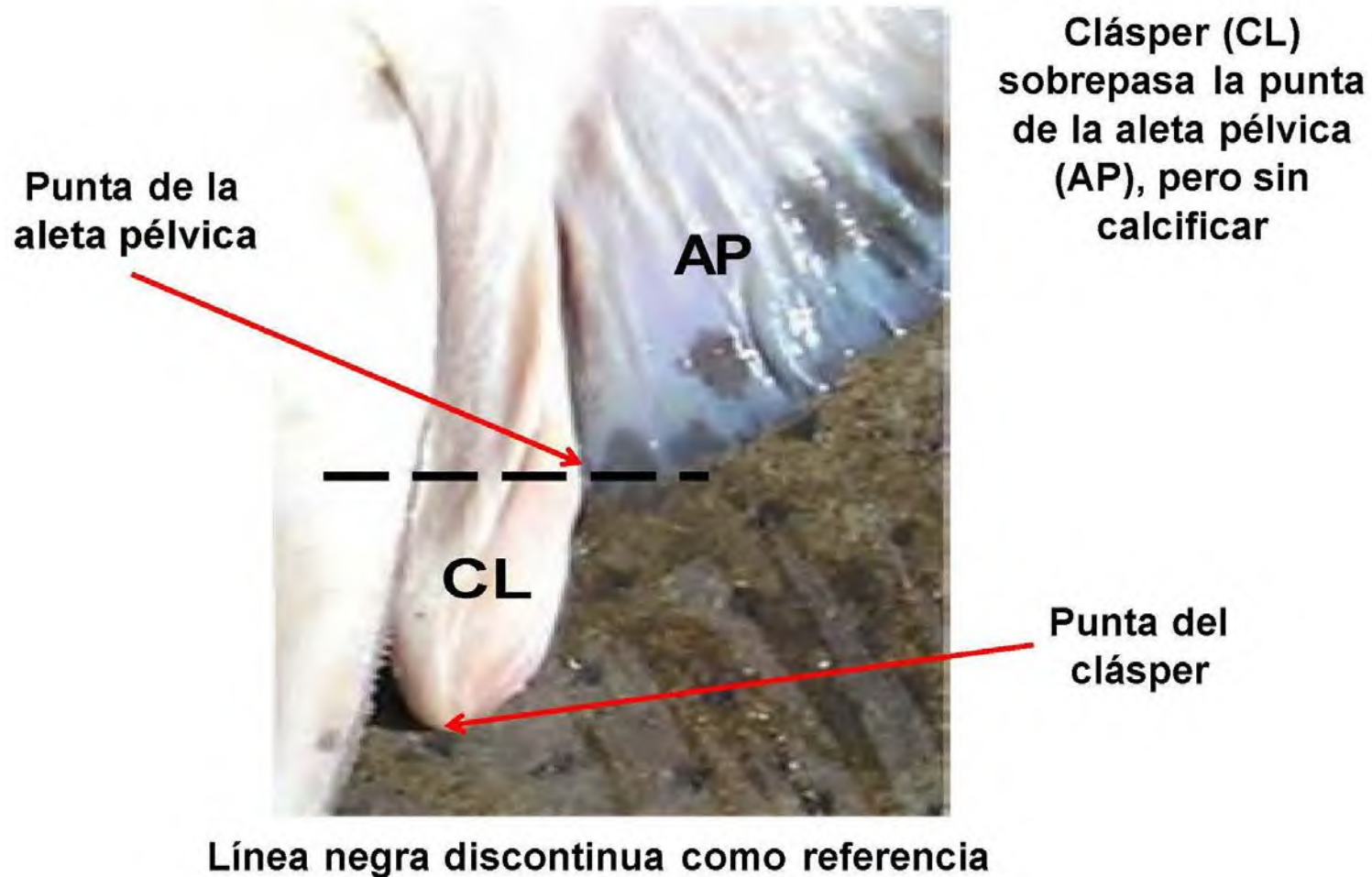
# ESTADIO DE MADUREZ SEXUAL DE LOS MACHOS

## 1. INMADURO



## ESTADIO DE MADUREZ SEXUAL DE LOS MACHOS

### 2. ADOLESCENTE O SUB-ADULTO

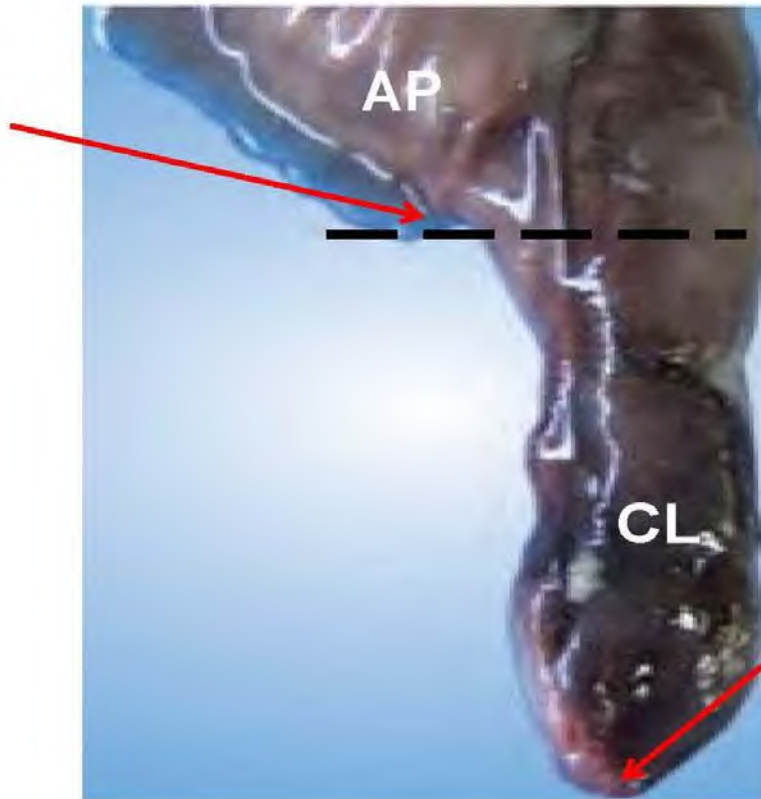




## ESTADIO DE MADUREZ SEXUAL DE LOS MACHOS

### 3, MADURO O ADULTO

Punta de la  
aleta pélvica








Cláspere (CL)  
sobrepasa la punta  
de la aleta pélvica  
(AP) y calcificado

Punta del  
cláspere

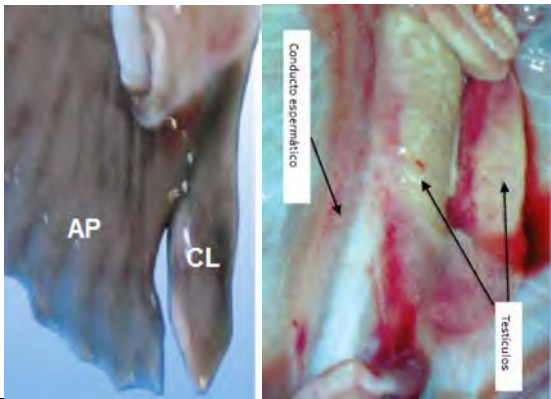
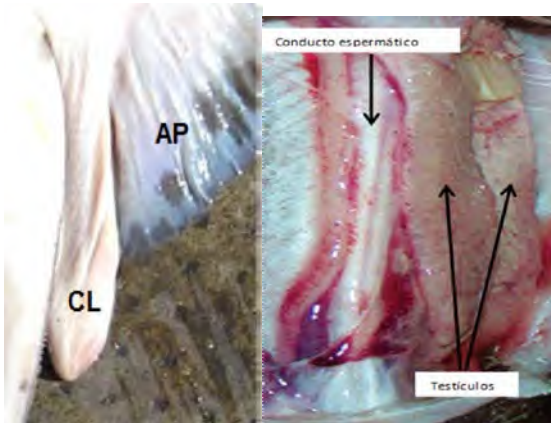
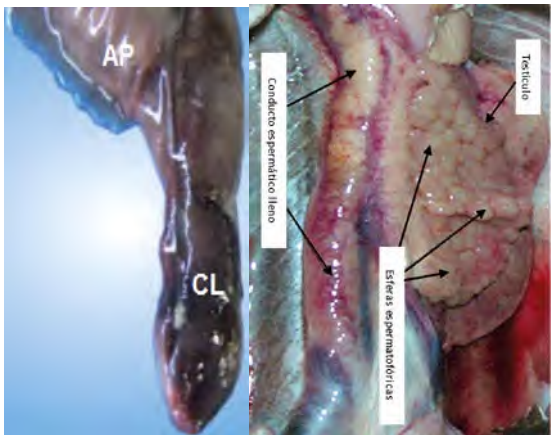
Línea negra discontinua como referencia

## **10.2. Anexo 2. Escala de Madurez sexual macroscópica de raya volantín y raya espinosa, y diagnóstico de los modelos seleccionados.**

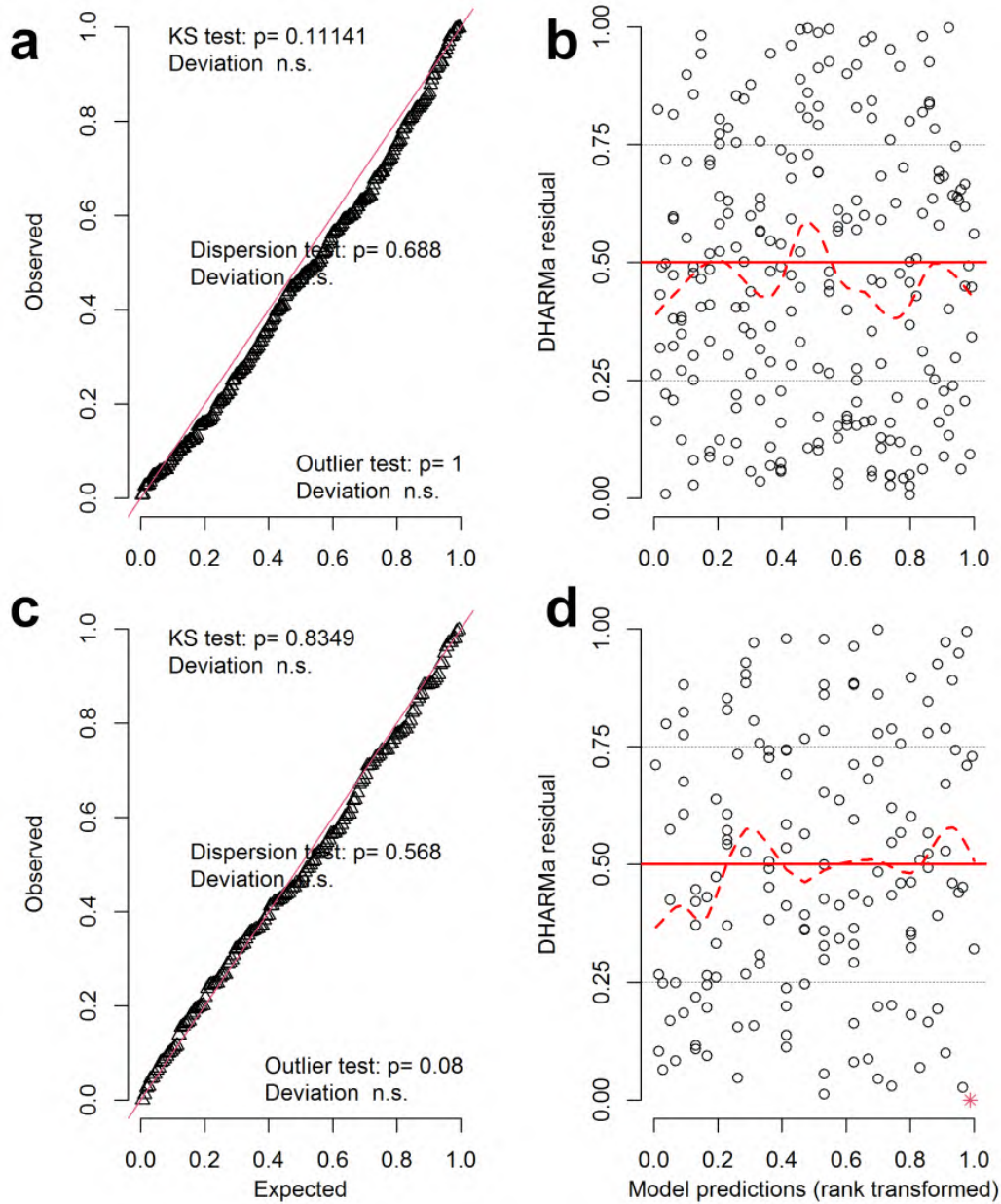
**Tabla S1.** Escala de madurez sexual macroscópica de las gónadas de hembras de raya volantín y raya espinosa basado en los criterios de Stehmann (2002), Barone et al. (2007) y Serra-Pereira et al. (2011).

ESTADIO	ASPECTO GENERAL
<p><b>1.</b> <b>Inmaduro</b></p>	
<p><b>2.</b> <b>En desarrollo</b></p>	
<p><b>3a.</b> <b>Capaz de reproducir</b></p>	
<p><b>3b.</b> <b>Capaz de reproducir</b> <b>(con cápsula de huevos)</b></p>	
<p><b>4.</b> <b>Post-deposición</b> <b>de huevos o regresión</b></p>	
<p><b>5.</b> <b>En regeneración</b></p>	<p>No observada</p>

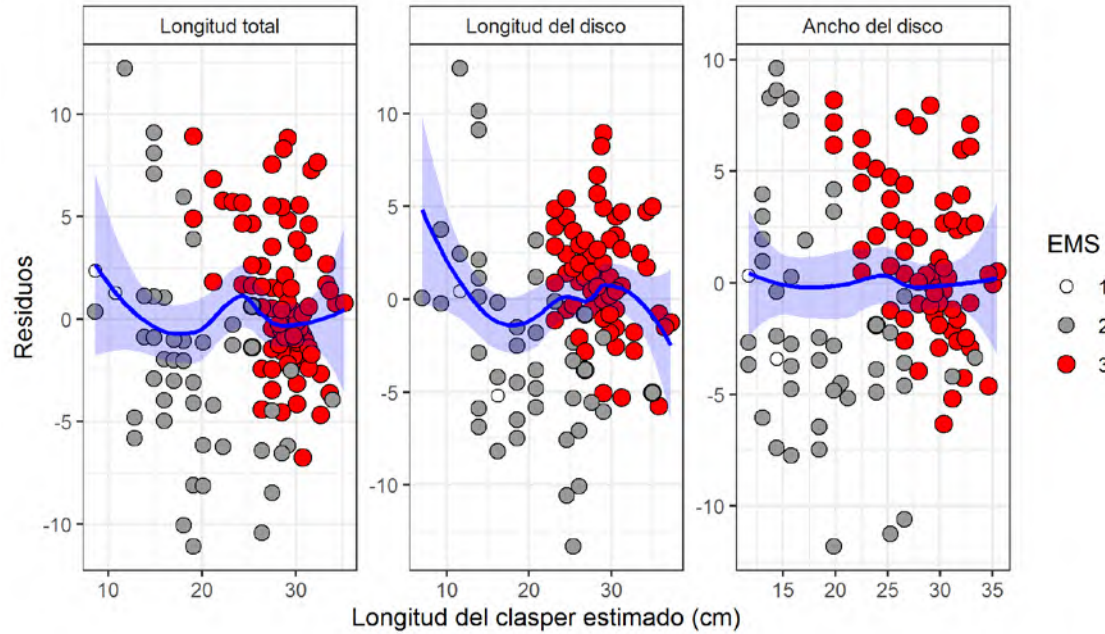
**Tabla S2.** Escala de madurez sexual macroscópica de las gónadas de machos de raya volantín y raya espinosa basado en los criterios de Stehmann (2002), Barone et al. (2007) y Serra-Pereira et al. (2011).

ESTADIO	ASPECTO GENERAL
<p><b>1.</b> <b>Inmaduro o juvenil</b></p>	
<p><b>2.</b> <b>Adolescente o sub-adulto</b></p>	
<p><b>3.</b> <b>Maduro o adulto</b></p>	
<p><b>4.</b> <b>Evacuado</b></p>	<p>No observado</p>

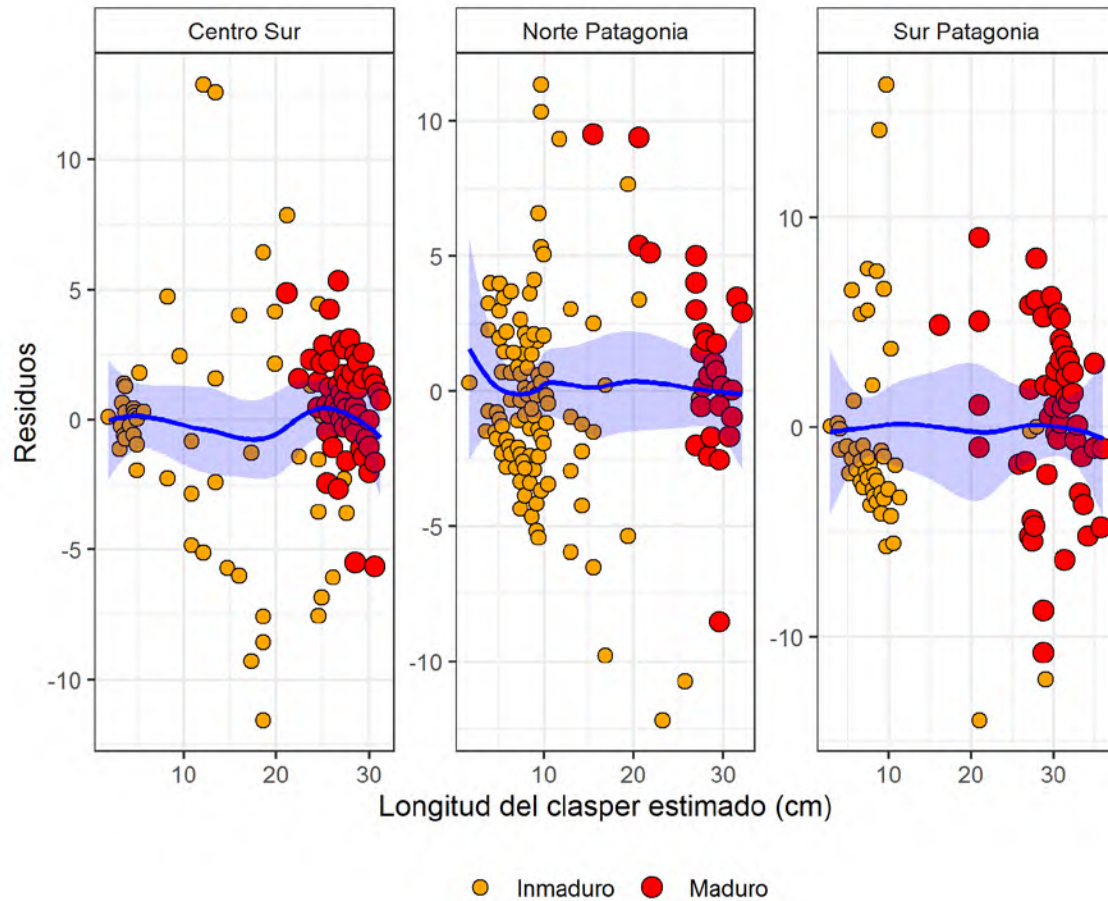
Diagnóstico del modelo para la estimación de la ojiva de madurez de raya volantín.



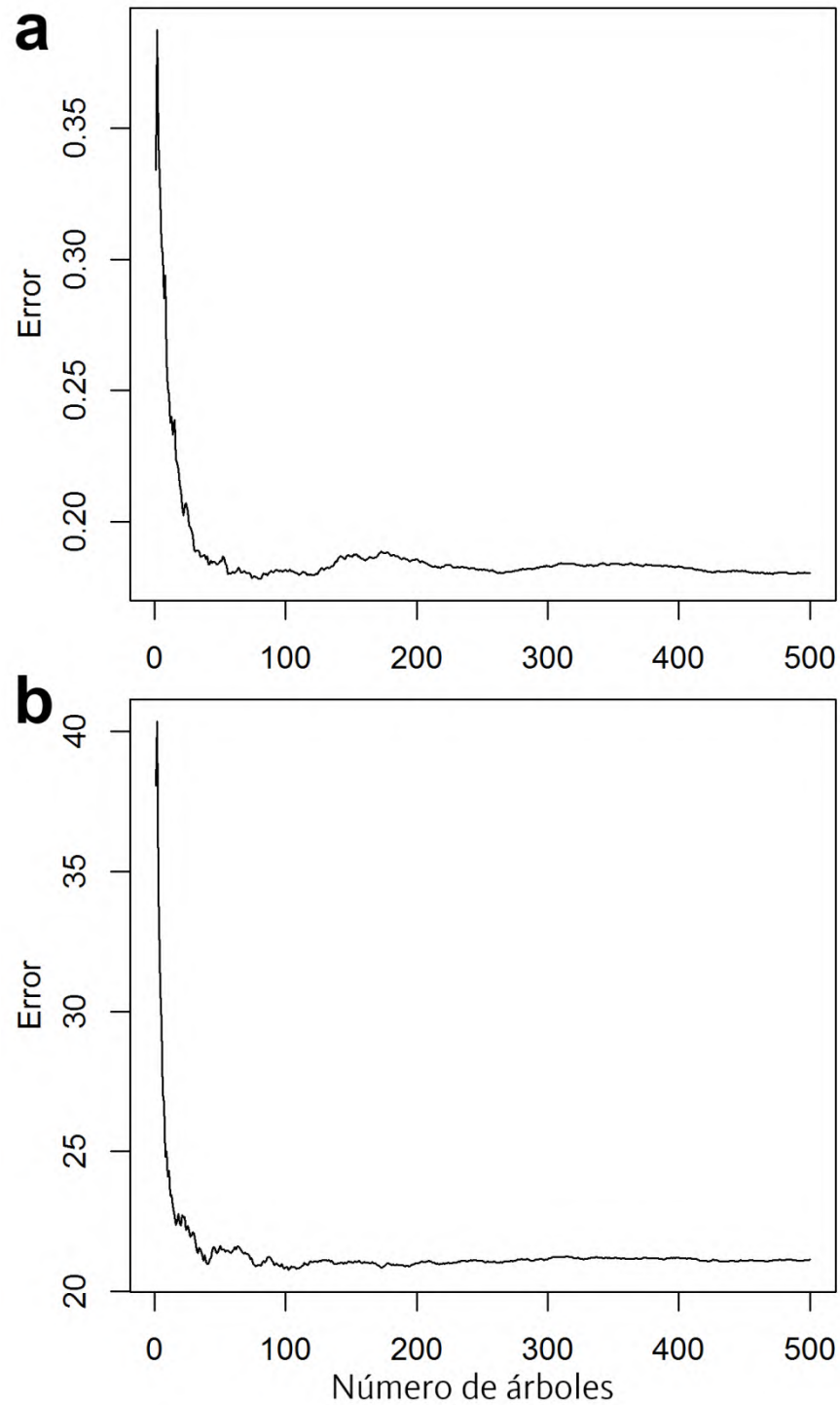
**Figura S1.** Diagnóstico de los residuos de la ojiva de madurez modelada con GLM de (a y b) hembras y (c y d) machos de raya volantín colectado por el proyecto FIPA 2023-26. Gráfico cuantíl-cuantíl con pruebas KS, de dispersión y de valores atípicos (a y c) y residuos simulados frente a valores previstos (b y d). KS, Kolmogorov-Smirnov.



**Figura S2.** Diagnóstico de los residuos de la regresión segmentada entre la longitud del cláspere y diferentes medidas morfométrica en machos de raya volantín colectado por el proyecto FIPA 2023-26. EMS, estadio de madurez sexual macroscópica.



**Figura S3.** Diagnóstico de los residuos de la regresión segmentada entre la longitud del cláspes y longitud total en machos de raya volantín colectados en la zona centro-sur por Licandeo et al. (2006) y en la zona de la Patagonia por el proyecto FIP 2003-12 (Céspedes et al., 2005).



**Figura S4.** Comportamiento del error (OOB) en diferentes números de árboles del bosque en la modelación del (a) índice gonadosomático de las hembras e (b) índice del cláspere de los machos de raya volantín colectado por el proyecto FIPA 2023-26.



### 10.3. Anexo 3. Reunión de Coordinación Equipo de trabajo CAPES-UC / FIPA y Contraparte Técnica SUBPESCA.



---

Proyecto	<b>“Determinación de la época reproductiva de raya volantín y raya espinosa, entre la región de Ñuble y la región de Magallanes”. FIPA 2023-26</b>
Requirente	Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA) - Fondo de Investigación Pesquera y de Acuicultura (F.I.P.A.)
Actividad	<b>Reunión de Coordinación Equipo de trabajo CAPES-UC / FIPA y SUBPESCA</b>
Fecha	<b>28 de marzo de 2024</b>

---

Jefe de Proyecto	Dr. Rodrigo Wiff Onetto CAPES-UC / Pontificia Universidad Católica de Chile Fono: 56-2-23542638 E-mail: <a href="mailto:capespesquero@bio.puc.cl">capespesquero@bio.puc.cl</a>
------------------	---

---

**Acta Reunión de Coordinación: CAPES-UC / FIPA-SUBPESCA**  
**Proyecto FIPA 2023-26**  
**“Determinación de la época reproductiva de raya volantín y raya espinosa, entre la región de Ñuble y la región de Magallanes”.**

Videoconferencia, 28 de marzo de 2024.

**Participantes:**

**FIPA:**

- Malú Zavando B. Profesional del FIPA

**SUBPESCA:**

- Jorge Farias A. – Sectorialista SUBPESCA
- Alonso Castillo R. – Profesional - SUBPESCA

**Equipo Técnico del Proyecto (CAPES-UC):**

- Rodrigo Wiff O. (Jefe de Proyecto)
- Santiago Gacitúa G.
- Andrés Flores I.

**Desarrollo de la Reunión:**

La reunión comienza con la intervención de la Sra. Malú Zavando por parte del Fondo de Investigación Pesquera y de Acuicultura (FIPA), para informar al equipo técnico de CAPES-UC respecto de algunos aspectos formales del proyecto, particularmente referentes a la firma del contrato de prestación de servicios, y la resolución del mismo, que aún se encuentran en trámite. Luego de este hito administrativo se espera generar las fechas de los respectivos informes y plazos para los principales hitos del proyecto.

Posteriormente, se realiza una breve presentación por parte del jefe de Proyecto de los principales hitos del presente estudio a los representantes de SUBPESCA y FIPA asistentes a la reunión. La presentación consistió en comunicar aspectos operativos, de organización y desarrollo del proyecto. El jefe de proyecto relata la manera de como la propuesta técnica aceptada tuvo que plantear una adaptación de los términos técnicos de referencia (TTRs) del proyecto, para poder abordar la pregunta principal respecto de los fundamentos científicos necesarios para la determinación espacial y temporal de la veda en raya volantín y raya espinosa.

Se explica que la adaptación principal del TTR dice relación con acotar el muestreo a las regiones donde se está desarrollando la pesquería actualmente, de acuerdo a datos históricos analizados. En este contexto, el muestreo estará enfocado en la región del Biobío (Lebu), La región de los lagos (Bahía Mansa, Hualaihué, Dalcahue) y la Región de Aysén (Canal moraleda). Para hacer un uso eficiente de los recursos, se plantea hacer un muestreo satélite en otoño y en invierno/primavera. Este muestreo consistirá en disponer de los observadores científicos de CAPES-UC en Dalcahue y con movilidad hacia las otras localidades para muestrear individuos conforme se vaya desarrollando la temporada de pesca. Las gestiones realizadas hasta el momento indican que el centro de operaciones para el muestreo de la captura será Dalcahue, específicamente en la planta de pesquera los Elefantes, en donde se podría muestrear captura que esta planta procesa tanto desde operaciones que se llevan

---

“Determinación de la época reproductiva de raya volantín y raya espinosa, entre la región de Ñuble y la región de Magallanes”.  
Proyecto FIPA N° 2023-26 – CAPES-UC 2

a cabo en la región de Aysén, como también desde aguas interiores de Chiloé. Las restantes zonas se muestrearán individuos desde nuestros contactos de asociaciones de pescadores en Bahía Mansa, Hualaihué y Lebu.

Por otra parte, se explica también a grandes rasgos la elaboración de protocolos de muestreo de los individuos con mediciones y registro de pesos estándar para ambos sexos. Este protocolo para el muestreo de machos incluye una foto y medición del clasper, mientras que para hembras se incluye la disección y asignación de estadios de madurez macroscópicos. Se propone además la generación de protocolos para el uso de técnicas no-letales de asignación de madurez en rayas. En esta etapa se plantea sentar las bases técnicas para realizar ecografías en ejemplares hembras de raya mediante el muestreo de individuos muertos para realizar ecografías en condiciones de laboratorio.

Se presenta además un plan para la realización de dos cruceros de pesca durante la época de veda biológica en enero de 2025. Se definen como zonas preliminares para este crucero, Bahía Mansa y aguas interiores de Chiloé. Se propone revisar la elección de zonas durante el desarrollo del proyecto. Durante estos cruceros se propone fotografiar y devolver los machos aptos para liberación y la retención de hembras a cargo de la cuota de investigación. Por último se indica la forma en como se analizarán los indicadores, tanto espaciales como temporales, que pudiesen existir desde el análisis de bases de datos históricas, así como también desde los datos colectados en este proyecto, para darle soporte a la propuesta de época de veda en ambas especies de rayas.

Posteriormente se dio paso a una breve discusión, centrada en el esquema de muestreo satélites, y la tramitación de una pesca de investigación para operar en enero de 2025.

A continuación, se detallan las intervenciones realizadas:

**J. Farias (SSPA):** Agradece la presentación y la claridad con que se expone respecto a los cambios propuestos en la Oferta Técnica para abordar el estudio y los objetivos del Proyecto, no tiene observaciones al respecto y le solicita a Alonso Castillo de la SSPA remitir al jefe de proyecto la resolución de la temporada de pesca, donde se establece el inicio de la temporada desde el 01 de abril de 2024, exceptuando las regiones de los Lagos y Aysén.

Como segundo punto se refiere a los plazos para la solicitud de pesca de investigación, que había sido planteado como consulta por el jefe de proyecto, aclarando que es totalmente factible solicitar la pesca de investigación de un año para otro con cargo a la cuota de investigación del año siguiente, lo cual se ha hecho en otras ocasiones sin problemas, pero hace la salvedad que lo que sí se requiere es que el decreto que establece la cuota para el año correspondiente esté publicado oficialmente con anterioridad. Agrega que se puede hacer los esfuerzos en el Comité Científico Técnico respectivo para que esté la resolución de cuota del año 2025 antes del fin de año.

A lo anterior, interviene **S. Gacitúa (CAPES-UC)**, recordando que la solicitud de pesca de investigación conlleva todo un trámite administrativo desde la presentación formal por parte de CAPES-UC (Representante Legal) y la evaluación administrativa de la misma por parte de los diferentes departamentos involucrados de la Subsecretaría (Pesquerías, Jurídica), lo que involucra plazos necesarios para cumplir con dichas formalidades en un plazo razonable y antes de la fecha de comienzo de los cruceros de verano, planteados para los primeros días de enero de 2025. **J. Farias (SSPA)** concuerda con lo planteado y que por lo mismo el decreto que establece la cuota para el año 2025 debiera estar publicado a comienzos de diciembre de este año para tener los plazos necesarios para la solicitud de pesca de investigación. Además, agrega que se puede trabajar con anterioridad,

"Determinación de la época reproductiva de raya volantin y raya espinosa, entre la región de Ñuble y la región de Magallanes".  
Proyecto FIPA N° 2023-26 – CAPES-UC 3

con la división jurídica de la SSPA, los aspectos formales de la solicitud de Pesca de Investigación, a fin de evitar un posible rechazo de la misma que pudiera entorpecer la correcta ejecución de los cruceros de verano planteados por el equipo de CAPES-UC. Se concuerda con J. Farias y el equipo de CAPES-UC en septiembre retomar el tema para preparar los términos técnicos de la solicitud de pesca de investigación.

**M. Zavando (FIPA):** Pregunta al jefe de proyecto la fecha tentativa para el comienzo de las actividades de terreno por parte de CAPES-UC, a lo que R. Wiff le responde que la idea es estar en la zona de Dalcahue la segunda quincena de abril, es decir desde el 15 o 16 de abril en adelante.

Siendo cerca de las 13.10 horas se da por finalizada la reunión.

Se Anexa la presentación realizada por el equipo técnico de CAPES-UC:

 **Centro UC**  
CAPES - Center of Applied  
Ecology & Sustainability

## FIPA 2023-26

**Determinación de la época reproductiva de raya volántin y raya espinosa, entre la región de Ñuble y la región de Magallanes**



Reunión de Coordinación  
Valparaíso, Marzo 2024

## Participantes

CAPES-UC



**Centro UC**  
CAPES - Center of Applied  
Ecology & Sustainability

TECPES-  
PUCV



FINANCIAMIENTO



## Objetivo general

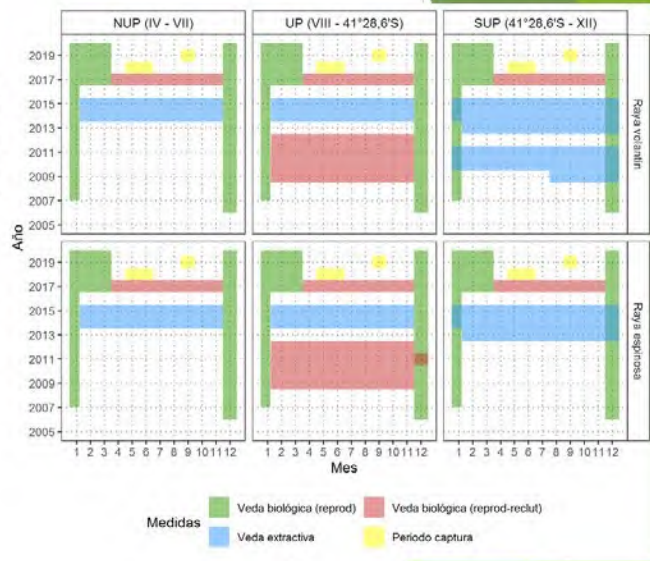
- ▶ Determinar la época reproductiva de raya volantín (*Zearaja chilensis*) y raya espinosa (*Dipturus trachyderma*) entre la región de Ñuble y la región de Magallanes.

## Objetivos específicos

- ▶ Caracterizar el ciclo reproductivo de los recursos raya volantín y raya espinosa.
- ▶ Desarrollar e implementar un marco de monitoreo o de muestreo costo efectivo que abarque desde la región de Ñuble a la región de Magallanes.
- ▶ Determinar la época reproductiva de raya volantín y raya espinosa, identificando dentro de la misma, el periodo de mayor vulnerabilidad para ambas especies, entre la región de Ñuble a la región de Magallanes.

## Motivaciones

- ▶ Res. Ex.1521-2003 indica que el periodo reproductivo ha sido extrapolado del comportamiento de otras especies (Lamilla *com pers* 2015). Por lo tanto, su **fundamento científico debiese ser revisado.**



## Esquema General

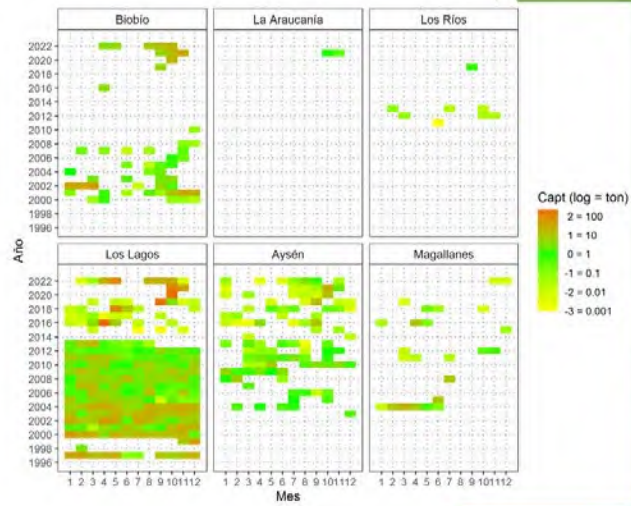
- ▶ Análisis de bases de datos IFOP, SERNAPESCA, FIP 2003-12 (reproducción de rayas).
- ▶ Muestreo Satélite, Otoño e Invierno/Primavera.
- ▶ 2 Cruceros en Verano.
- ▶ Protocolos Técnicas no-letales.
- ▶ Propuesta de época Reproductiva.



## Objetivo 1. Caracterizar el ciclo reproductivo.

### Muestreo Satélite.

- 30 días en Otoño
- 30 días Invierno/Primavera



**Tabla 2.** Captura de raya volatín y raya espinosa por puerto de desembarque. Valor acumulado desde 2020 hasta 2022. Fuente IFOP.

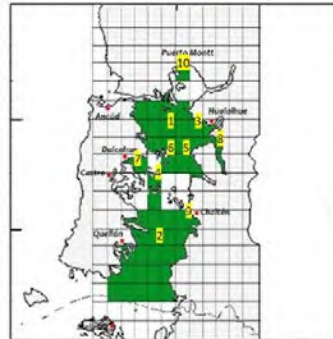
Región	Puertos desembarque	Raya espinosa	Raya volatín
Biobío	Lebu	16,1	83,3
	Tirua	3,3	45,6
Los Lagos	Anahuac	0,9	22,3
	Bahía Mansa	22,5	242,7
	Calbuco	0,2	19,1
	ChaiCAS	0,3	0,7
	Dalcahue	1,9	254,3
	El Manzano	7,7	30,9
	Hualaihue	8,4	34,2
	Huelden	0,9	6,9
	Pichicolo	0,5	10,0
Tenaun	-	0,1	
Aysén	Grupo Galas	6,9	9,7
	Isla Gaviota	29,5	28,8
	Isla Renaico	-	0,0
	Isla Toto	3,7	9,9

valor 0,0 indica captura acumulada inferior que 0,1 ton.

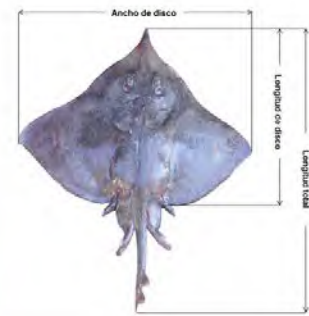


## Muestreo Satélite

- Puerto Base Dalcahue, **Pesquera los Elefantes** (Aguas Interiores de Chiloé, y Región Aysén.)
- **Hualaihue**
- Bahía Mansa
- Lebu



## Protocolos de muestreo



Machos



Hembras



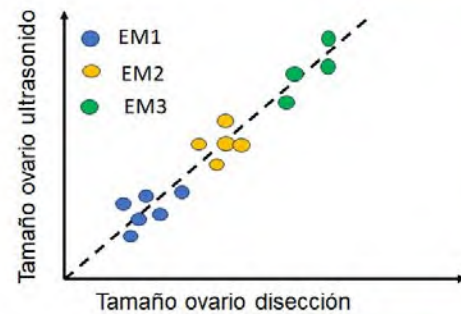
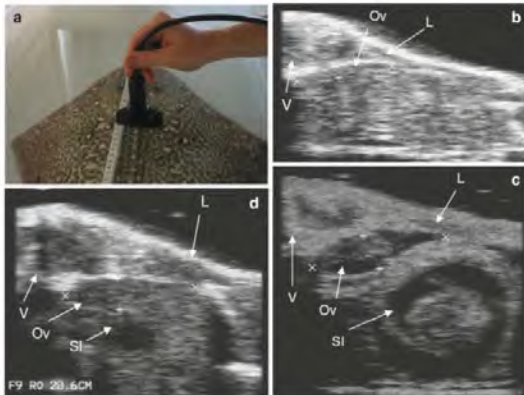
Disección

## Avances Objetivo 1

- ▶ Protocolos de muestreo ya construidos.
- ▶ Materiales de Terreno comprados.
- ▶ Bases de datos en Solicitud.
- ▶ Gestiones con Pescadores y Pesquera los Elefantes.
- ▶ Refinamiento de protocolos entre el 4 y 7 de Abril, San Clemente, Argentina.

## Objetivo 2. Desarrollar e implementar un marco de monitoreo o de muestreo costo efectivo

- Protocolos e implementación de Técnicas no-Letales: Ecografías en Hembras



Objetivo 2. Desarrollar e implementar un marco de monitoreo o de muestreo costo efectivo

## CRUCEROS DE VERANO

- Fotografía y liberación de Machos aptos.
- Retención de Hembras.
- Pesca de Investigación.
- Dos Zonas (Aguas Interiores Chiloé y Bahía Mansa).



## Avances Objetivo 2

- ▶ Equipo de ultra sonido comprador
- ▶ Capacitación de observadores entre el 4 al 7 de Abril, Mundo Marino, San Clemente, Argentina.

Ecógrafo Ultrasonido Portátil Wifi/usb Sonda Lineal  
7.5 /10

1/10

CHARGE

Wireless charging  
Convenient

Supports wireless charging  
Charging other devices

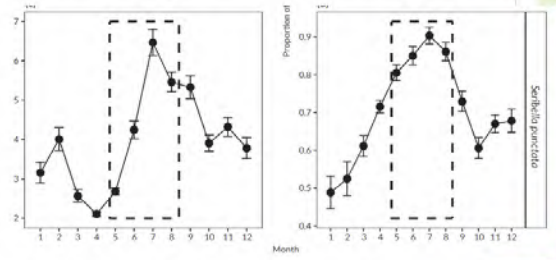


### Objetivo 3. Determinar la época reproductiva de raya volantín y raya espinosa

#### Análisis de datos

- Análisis de datos colectados, Históricos, Muestreo de Captura y Crucero
- Indicadores IHS, IGS, K

#### INDICADORES REPRODUCTIVOS



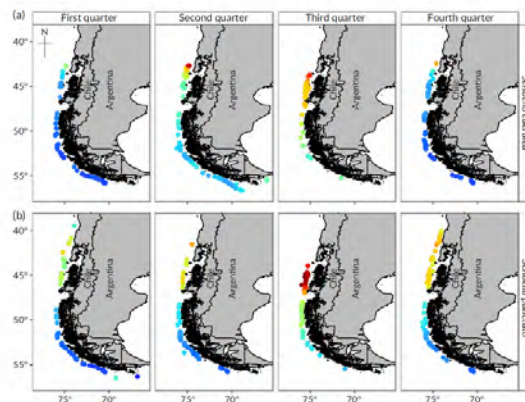
Chong et al. 2018. Journal of Fish Biology.

### Objetivo 3. Determinar la época reproductiva de raya volantín y raya espinosa

#### Análisis de datos

- Modelación espacio-temporal de la reproducción

#### INDICADORES ESPACIO-TEMPORALES



Chong et al. 2018. Journal of Fish Biology.

## CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Actividad	Resultado Esperado Asociado	MESES																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<b>1. Actividad general:</b>																			
Actividad 1. Reunión de coordinación con Gerencia Ejecutiva FIPA SUBPESCA.	Actualizar fechas de entrega de informes, solicitud de información ISPA y FPA. Acta resumen reunión de coordinación.	■																	
Actividad 2. Solicitud de bases de datos	Solicitud de bases de datos de la pesquería de raya depositadas en FICD y otras fuentes posibles de obtener (e.g. FIPA).		■																
Actividad 3. Reunión con pescadores artesanales de raya	Identificar zonas y períodos de tiempos más propicios para muestrear capturas.			■															
Actividad 4. Protocolo ultra sonda	Generación de protocolos para ultra sonda en raya.				■														
Actividad 5. Muestreo satelite de la captura	Generación de bases de datos de muestreo de la captura.					■													
Actividad 6. Capacitación permanente observadores	Mantener actualizado el trabajo de los observadores científicos durante toda la realización del proyecto a fin de incorporar las mejoras visualizadas a medida que se ejecuta el proyecto.						■												
Actividad 7. Informe Avance 1	Presentar los resultados preliminares de muestreo de datos y muestreo de la captura.							■											
Actividad 8. Minería de datos	Revisión de las bases de datos disponibles para trabajar, depurar y finalmente validar la registros y datapoints para la ejecución del proyecto.								■										
Actividad 9. Protocolos para cruces de investigación	Diseño y separación de los protocolos de tema de información con participación de los pescadores y científicos del muestreo de la captura hasta el mes número 5.									■									
Actividad 10. Informe de avance 2	Entregar los resultados obtenidos del primer muestreo de la captura hasta el mes número 5.										■								
Actividad 11. Cruces de prospección	Datos de muestreo desde cruces de prospección en época de raya.											■							
Actividad 12. Propuesta de época de vida	Determinación del período de máxima vulnerabilidad biológica para la determinación de vida.												■						
Actividad 13. Pre-Informe final	Presentar todos los resultados obtenidos durante la ejecución del proyecto.													■					
Actividad 14. Taller discusión de resultados del proyecto.	Presentar los resultados finales del proyecto.														■				
Actividad 15. Informe final	Entregar la versión final del documento incluyendo las observaciones y recomendaciones emanadas del taller de															■			

## Informes

- ▶ 08 de Julio 2024 (6 Mes) Informe de Avance 1
- ▶ 08 de Noviembre 2024 (10 Mes) Informe de Avance 2
- ▶ 08 de Mayo 2025 (16 Mes) Informe Pre-Final
- ▶ 08 de Julio de 2025 (18 Mes) Informe Final

## Observaciones

### **Objetivo 1**

- ✓ Muestreo de la Captura en Invierno
- ✓ Muestreos Región de Aysén
- ❖ Tamaños muestrales por puerto y estación
- ✓ Cartas de apoyo.

### **Objetivo 2**

- ✓ Incorporación de Bibliografía Clave determinación de época de madurez
- ✓ Medición (caracterización) de capsulas

### **Objetivo 3**

- ✓ Separar análisis histórico de datos colectados en este FIPA

## Consultas Finales

- ▶ Solicitud de Pesca de Investigación para Crucero (Enero 2025)
- ▶ Refuerzo de Datos de Otoño 2025 (en caso de ser necesario)
- ▶ Temporada de Pesca 2024
- ▶ Aspectos formales (Resolución de contrato)

GRACIAS POR SU ATENCION



## 10.4. Anexo 4. Asignación de horas hombre por objetivo específico.

A continuación, se presentan las horas hombre (HH) totales y por Objetivo Específico para cada uno de los integrantes del equipo técnico del proyecto, considerando los 16 meses de ejecución del estudio.

Nombre	Actividades	Horas Hombre																Total	
		M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8	M 9	M 10	M 11	M 12	M 13	M 14	M 15	M 16		
Rodrigo Wiff	Coordinación	3	2																74
	Modelación estadística			5	5	5	10	5	5	5		10	5	5	5				70
	Análisis bases de datos históricas			5	5	5	10	5	5	5	5	10	5	5	5	5	5		80
	Informes						10				10							10	30
	Talleres																		0
	<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>35</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>254</b>	
Mauricio Lima	Coordinación																		0
	recopilación bases de datos histórica		5	5	5	5	10	5	5	5	5	5	3						58
	revisión informes			3	3	5	10	5	5	5	10	5	3						34
	Informes						5				5							5	15
	Talleres																		0
	<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>25</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>127</b>	
Juan Carlos Quiroz	Coordinación																		0
	Análisis bases de datos históricas		5	5	9	9	14	7	7	9	9	9	7	7	7	7	3		114
	Análisis de datos			3	3	5	10	5	5	5	10	5	3	3	3	3	10		73
	Informes						5				5						10		20
	Talleres																		0
	<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>29</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>24</b>	<b>14</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>23</b>	<b>207</b>	
Andrés Jaureguiar	Coordinación																		0
	Capacitación operaciones terreno		5	5	9	9	14	7	7	9	9	5	3	3	3	3	3		94
	Análisis de datos			3	3	5	10	5	5	5	10	5	3	3	3	3	5		68
	Informes						5				5						10		20
	Talleres																		0
	<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>29</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>24</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>18</b>	<b>182</b>	
Andrés Mflessi	Coordinación																		0
	Capacitación muestreadores		4	4	2		2												12
	Análisis de contenido estomacal		5	5	5	15	15	10	15	10	5	5	5	5	5	5	5		115
	Informes						5				5						10		20
	Talleres																		0
	<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>15</b>	<b>22</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>15</b>	<b>147</b>	
Andrés Flores	Coordinación		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		75
	Protocolos de muestreo		5	5	5	10	10												35
	Análisis de datos de terreno			5	5	10	20	10	15	20	20	10	10	10	10	10	20		175
	Informes						10				10						10		30
	Talleres																		0
	<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>25</b>	<b>45</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>35</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>35</b>	<b>315</b>	



Nombre	Actividades	Horas Hombre																Total
		M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8	M 9	M 10	M 11	M 12	M 13	M 14	M 15	M 16	
Dante Queirob	Coordinación	5						5				5						15
	Diseño protocolo crucesos			5	5	5	5	5	5	5	10	5	5	5				60
	Análisis y discusión de protocolos					10	10	10	10	10	10	10	10	10	5	5		100
	Informes						5				5						5	15
	Talleres																	0
	<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>25</b>	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>190</b>
Mauricio Ahumada	Coordinación	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	32
	Diseño protocolo crucesos			5	5	5	10	5	5	5	5	10	10					65
	Análisis de datos terreno			5	6	10	10	10	5	5	5	10	10	10	5	5		95
	Informes						10				10						10	30
	Talleres																	0
	<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>17</b>	<b>32</b>	<b>17</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>12</b>	<b>223</b>
Pedro Apablaza	Coordinación de terreno		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5			65
	Prueba protocolos					5	10	10	10	10	10	10	10					75
	Procesamiento datos				10	10	10	10	10	10	10	10	5	5	5	10		105
	Informes						10				10						10	30
	Talleres																	0
	<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>35</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>35</b>	<b>25</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>275</b>
Santiago Gacitúa	Coordinación alterna	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	34
	Análisis de datos			5	10	15	10	10	10	10	10	10	10	10	10	5		125
	elaboración de actas, revisión informes	5					10				5					5	5	30
	Informes						10				10						10	30
	Talleres																	0
	<b>Total</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>7</b>	<b>12</b>	<b>17</b>	<b>32</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>27</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>17</b>	<b>219</b>
Enrique Aguilar	Coordinación de terreno	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5			67
	Obtención datos terreno			30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30				330
	Prueba protocolos toma de información			10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	5	135
	Procesamiento datos					10	20			20	10			10				70
	Informes																	0
Talleres																	0	
	<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>45</b>	<b>45</b>	<b>55</b>	<b>65</b>	<b>45</b>	<b>45</b>	<b>65</b>	<b>55</b>	<b>45</b>	<b>45</b>	<b>45</b>	<b>25</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>602</b>
N.N.	Obtención datos terreno			30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30				330
	Prueba protocolos toma de información					10	20			20	10			10				70
	Procesamiento datos			10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	5	135
	Informes																	0
	Talleres																	0
	<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>40</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>40</b>	<b>40</b>	<b>60</b>	<b>50</b>	<b>40</b>	<b>40</b>	<b>40</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>535</b>

## Personal Participante por Actividad (Horas) / OBJETIVO

### HORAS TOTALES

Institución	Profesional	Análisis		Protocolos de información	Cruceros terreno	Procesamiento y análisis			Total
		Coordinación	datos Históricos			de datos	Informes	Talleres	
CAPES-UC	Rodrigo Wiff	74	70	0	0	80	30	0	254
	Mauricio Lima	0	58	0	0	54	15	0	127
	Andrés Flores	75	0	35	0	175	30	0	315
	Santiago Gacitúa	34	0	0	0	125	60	0	219
	Enrique Aguilar	67	0	135	330	70	0	0	602
	N.N.	0	0	70	330	135	0	0	535
PUCV	Dante Queirolo	15	0	60	0	100	15	0	190
	Mauricio Ahumada	32	0	65	0	96	30	0	223
	Pedro Apablaza	65	0	0	75	105	30	0	275
Consultor Independiente	Juan Carlos Quiroz	0	114	0	0	73	15	0	202
	Andrés Jaureguizar	0	0	31	63	68	20	0	182
	Andrés Milessi	0	0	0	12	115	20	0	147
	<b>Total</b>	<b>362</b>	<b>242</b>	<b>396</b>	<b>810</b>	<b>1196</b>	<b>265</b>	<b>0</b>	<b>3271</b>

### Objetivo Específico 1: Caracterizar el ciclo reproductivo de los recursos raya volantín y raya espinosa.

Institución	Profesional	Análisis		Protocolos de información	Cruceros terreno	Procesamiento y análisis			Total
		Coordinación	datos Históricos			de datos	Informes	Talleres	
CAPES-UC	Rodrigo Wiff	23	20			20	10		73
	Mauricio Lima		20			14	7		41
	Andrés Flores	25		15		80	12		132
	Santiago Gacitúa	8				45	20		73
	Enrique Aguilar	20		55	110	25			210
	N.N.			25	110	55			190
PUCV	Dante Queirolo			20		30	5		55
	Mauricio Ahumada	4		25		36	12		77
	Pedro Apablaza	20			15	25	8		68
Consultor Independiente	Juan Carlos Quiroz		40			30	10		80
	Andrés Jaureguizar			10	21	23	10		64
	Andrés Milessi				4	100	17		121
	<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>80</b>	<b>150</b>	<b>260</b>	<b>483</b>	<b>111</b>	<b>0</b>	<b>1184</b>

**Objetivo Específico 2:** *Desarrollar e implementar un marco de monitoreo o de muestreo costo efectivo que abarque desde la región de Ñuble a la región de Magallanes.*

Institución	Profesional	Análisis		Protocolos de información	Cruceros terreno	Procesamiento y análisis		Total	
		Coordinación	datos Históricos			de datos	Informes Talleres		
CAPES-UC	Rodrigo Wiff	26	30			30	15	101	
	Mauricio Lima		20			20	4	44	
	Andrés Flores	25		15		55	15	110	
	Santiago Gacitúa	20				40	20	80	
	Enrique Aguilar	40		40	110	25		215	
	N.N.			25	110	40		175	
PUCV	Dante Queirolo	10		20		35	5	70	
	Mauricio Ahumada	20		20		30	10	80	
	Pedro Apablaza	30			40	50	12	132	
Consultor Independiente	Juan Carlos Quiroz		40			30	5	75	
	Andrés Jaureguizar			11	21	23	7	62	
	Andrés Milessi				4	15	3	22	
	<b>Total</b>	<b>171</b>	<b>90</b>	<b>131</b>	<b>285</b>	<b>393</b>	<b>96</b>	<b>0</b>	<b>1166</b>

**Objetivo Específico 3:** *Determinar la época reproductiva de raya volantín y raya espinosa, identificando dentro de la misma, el periodo de mayor vulnerabilidad para ambas especies, entre la región de Ñuble a la región de Magallanes.*

Institución	Profesional	Análisis		Protocolos de información	Cruceros terreno	Procesamiento y análisis		Total	
		Coordinación	datos Históricos			de datos	Informes Talleres		
CAPES-UC	Rodrigo Wiff	25	20			30	5	80	
	Mauricio Lima		18			20	4	42	
	Andrés Flores	25		5		40	3	73	
	Santiago Gacitúa	6				40	20	66	
	Enrique Aguilar	7		40	110	20		177	
	N.N.			20	110	40		170	
PUCV	Dante Queirolo	5		20		35	5	65	
	Mauricio Ahumada	8		20		30	8	66	
	Pedro Apablaza	15			20	30	10	75	
Consultor Independiente	Juan Carlos Quiroz		34			13		47	
	Andrés Jaureguizar			10	21	22	3	56	
	Andrés Milessi				4			4	
	<b>Total</b>	<b>91</b>	<b>72</b>	<b>115</b>	<b>265</b>	<b>320</b>	<b>58</b>	<b>0</b>	<b>921</b>

## 10.5. Anexo 5. Taller de difusión de resultados.

---

Proyecto	<b>“Determinación de la época reproductiva de raya volantín y raya espinosa, entre la región de Ñuble y la región de Magallanes”. Proyecto FIPA 2023-26.</b>
Requirente	Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA)
Actividad	<b>Acta Taller Difusión de Resultados</b>
Fecha	<b>11 de diciembre de 2025</b>

---

Jefe de Proyecto	Dr. Rodrigo Wiff y Dr. Mauricio Lima A. CAPES-UC / Pontificia Universidad Católica de Chile Fono: 56-2-23542638 E-mail: <a href="mailto:capespesquero@bio.puc.cl">capespesquero@bio.puc.cl</a>
------------------	---

---

## INVITACION TALLER



Valparaíso, 02 de diciembre de 2025.

El Centro de Ecología Aplicada y Sustentabilidad (CAPES-UC), con el patrocinio de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA) y el Fondo de Investigación Pesquera y de Acuicultura (FIPA), tiene el agrado de invitarle a participar virtualmente del Taller de Difusión de Resultados del Proyecto **FIPA N° 2023-26 “Determinación de la época reproductiva de raya volantín y raya espinosa, entre la región de Ñuble y la región de Magallanes”**, donde se presentarán y discutirán los principales resultados y conclusiones de la investigación desarrollada. Dicho Taller se desarrollará el próximo día **jueves 11 de diciembre a partir de las 10:00 horas** de manera telemática. El acceso virtual al Taller será despachado prontamente a su correo electrónico junto con la agenda de trabajo.

Esperando contar con su valiosa participación, le saluda cordialmente,

Mauricio Lima A.  
Centro CAPES-UC  
Jefe de Proyecto  
[capespesquero@bio.puc.cl](mailto:capespesquero@bio.puc.cl)

}

## Agenda Presentación de resultados de Proyecto FIPA 2023-26:

“Determinación de la época reproductiva de raya volantín y raya espinosa, entre la región de Ñuble y la región de Magallanes”

Hora	Actividad
09:50-10:00	Ingreso al taller, sala de espera.
10:00-10:15	<b>Marco General</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bienvenida (M. Lima – Jefe de Proyecto)</li> <li>• Presentación general del proyecto (S. Gacitúa)</li> </ul>
10:15-10:30	<b>Objetivo Específico 1. “Caracterizar el ciclo reproductivo de los recursos raya volantín y raya espinosa”</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Muestreos (A. Flores)</li> </ul>
10:30-10:45	<b>Objetivo Específico 2. “Desarrollar e implementar un marco de monitoreo o de muestreo costo efectivo que abarque desde la región de Ñuble a la región de Magallanes”</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Técnica experimental de ultrasonido (S. Gacitúa)</li> </ul>
10:45-10:50	<b>Pausa</b>
10:50-12:00	<b>Objetivo Específico 3. “Determinar la época reproductiva de raya volantín y raya espinosa, identificando dentro de la misma, el periodo de mayor vulnerabilidad para ambas especies, entre la región de Ñuble a la región de Magallanes”</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Aspectos reproductivos           <ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisión de la madurez sexual (A. Flores)</li> </ul> </li> <li>2) Medidas de manejo           <ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisión de los tipos de estrategias de manejo (M. Ahumada)</li> <li>• Época reproductiva &amp; recomendación de la veda biológica, D. EXE. 14-2016 (A. Flores)</li> </ul> </li> </ol>
12:00-12:30	<b>Plenario de discusión y Conclusiones Generales.</b>

## Listado de Participantes:

### SUBPESCA:

- Romina Paillán

### SERNAPESCA:

- Sergio Sherrer

### CCT Altamente migratorios, Condrictios y Biodiversidad:

- María Angela Barbieri
- Carlos Bustamante

### IFOP:

- Daniela Yepsen
- Renato Céspedes
- Nicolás Adasme
- Patricio Gálvez
- 

### INPESCA:

- Marcos Arteaga
- Claudio Gatica

### Dirigentes Pescadores Artesanales:

- José Miranda (Queule)

### Equipo Técnico del Proyecto (CAPES-UC):

- Mauricio Lima (Jefe de Proyecto)
- Andrés Flores
- José Tomás Montero
- Santiago Gacitúa
- Enrique Aguilar
- Roberto Bravo
- 

### PUCV:

- Dante Queirolo P.
- Mauricio Ahumada
- Pedro Apablaza

### C. Independientes:

- Andrés Jaureguizar (U. UPSO, Argentina)
- Andrés Milessi (Mar Azul Uruguayo)

## Desarrollo del Taller:

El Dr. Mauricio Lima da la bienvenida a los participantes, agradeciendo su participación en el Taller. A su vez, realiza un breve resumen respecto de las circunstancias por las cuales le ha correspondido la ingrata misión de reemplazar al Dr. Rodrigo Wiff O. en la jefatura del proyecto, quién lamentablemente ha fallecido el pasado mes de septiembre y reconoce su trabajo, trayectoria y que lamentablemente hay que seguir adelante para cumplir con los compromisos pendientes y terminar de la mejor forma el proyecto y este taller es un hito importante para hacer los resultados públicos y las conclusiones del proyecto .

Se realizó una presentación general de la justificación del proyecto, los antecedentes de las especies de rayas involucradas en el estudio y un resumen de la pesquería de rayas a nivel nacional, para luego presentar la metodología del proyecto para cada uno de los Objetivos Específicos (1 a 3), por parte del equipo de trabajo del Centro CAPES-UC. Se describió la metodología empleada, los principales resultados obtenidos, y las recomendaciones, entre otros aspectos analizados, para tratar de establecer la época reproductiva de raya volantín y raya espinosa, entre las regiones de Ñuble y Magallanes.

De las diferentes presentaciones surgieron una serie de comentarios y/o preguntas a los expositores y que fueron registradas por parte del equipo técnico de CAPES-UC, las que pueden resumirse como sigue:

## PRESENTACIONES POR OBJETIVO ESPECIFICO

### 1.- Presentación Resultados Objetivo Específico 1: *“Caracterizar el ciclo reproductivo de los recursos raya volantín y raya espinosa”*.

- a) Presentación sobre los muestreos realizados durante el estudio:

## PREGUNTAS Y RESPUESTAS:

**Nicolás Adasme (IFOP)**, quien consultó sobre el porcentaje de proporción de especies presentado, preguntando si estaba basado en número de individuos o en peso. Señaló que cuando se trabaja con información de SERNAPESCA o IFOP, las proporciones se calculan finalmente en biomasa, y que cuando se trata en peso la proporción cambia radicalmente, especialmente considerando que una raya espinosa es muchísimo más grande que una raya volantín. También planteó dudas sobre el sesgo de observación que puede existir al identificar especies en ejemplares pequeños, ya que cuando los individuos son muy pequeños la identificación no es tan clara.

**Andrés Flores (CAPES-UC)** respondió que la figura mostrada presentaba la proporción sexual por especie, donde el color rojo correspondía a las hembras y azul a los machos, basada en número de individuos. El objetivo era mostrar que dentro del muestreo de todas las campañas salían hembras en las capturas, tanto en rayas espinosas como en rayas volantín. Explicó que la proporción de especies está en correspondencia con la captura, porque el nivel de cuota asignado a la raya volantín



es mucho mayor que el de la raya espinosa. Detalló que el muestreo se adaptó a la dinámica de la pesquería: donde destacó que durante los meses de abril-mayo (2024), los pescadores fueron a áreas habituales de captura de raya volantín, mientras que durante el mes de julio dejaron la ventana para capturar raya espinosa, principalmente proveniente de la Región de Aysén.

Respecto a la identificación de especies, Flores explicó que la raya volantín generalmente tiene presencia de ocelos o manchas en la parte lateral de las aletas y una espina blanca en la nuca. La raya espinosa no tiene esa espina en la parte de atrás de la nuca (en la parte dorsal), ni tampoco poseen ocelos. Agrega que durante el muestreo el equipo técnico del proyecto fue sacando fotos de cada ejemplar entero antes de hacer el eviscerado, porque en caso de cometer algún error, podían verificar posteriormente. Efectivamente, detectaron algunos errores al identificar ejemplares de más de 200 cm como raya volantín, por ejemplo, cuando al revisar las fotos correspondían a raya espinosa, sin ocelos ni espina blanca. Comparte la opinión de N. Adasme sobre la dificultad de identificación cuando son ejemplares muy pequeños, en la etapa juvenil cuando se están desarrollando, pero explica que se trató de ser muy cuidadosos con todos los ejemplares identificados como volantín, verificando que tuvieran esas características.

**Patricio Gálvez (IFOP)** intervino preguntando sobre el diseño de muestreo utilizado en el proyecto. A. Flores (CAPES-UC) explicó que el diseño se adaptó completamente a la dinámica de la pesquería comercial, ya que no fue posible implementar un diseño de muestreo aleatorio o sistemático independiente debido a restricciones operativas y económicas. El muestreo dependió de las faenas comerciales y la disponibilidad de pescadores que colaboraron con el estudio.

## **2.- Presentación Resultados Objetivo Específico 2: “Desarrollar e implementar un marco de monitoreo o de muestreo costo efectivo que abarque desde la región de Ñuble a la región de Magallanes”**

- b) Presentación Técnica experimental de ultrasonido para muestreos no letales e rayas.

### **PREGUNTAS Y RESPUESTAS:**

No hay preguntas.

## **3.- Presentación Resultados Objetivo Específico 3. “Elaborar los términos técnicos de referencia (TTR) y económicos, en atención a la propuesta de mayor costo-efectividad y que no comprometa los aspectos técnicos del procedimiento.”**

- 1) Aspectos reproductivos
  - Presentación Revisión de la madurez sexual.

### **PREGUNTAS Y RESPUESTAS:**

Se dejan las preguntas para el plenario de discusión

2) Medidas de manejo

- Presentación Revisión de los tipos de estrategias de manejo

**PREGUNTAS Y RESPUESTAS:**

Se dejan las preguntas para el plenario de discusión

- Presentación Época reproductiva & recomendación de la veda biológica, D. EXE. 14-2016 (A. Flores)

**PREGUNTAS Y RESPUESTAS:**

Se dejan las preguntas para el plenario de discusión

## PLENARIO DE DISCUSIÓN Y PREGUNTAS:

### Preguntas y respuestas:

**José Miranda (Pescador artesanal de la Araucanía y miembro titular del Comité de Manejo de Rayas)**, realizó una intervención sobre múltiples aspectos de la pesquería. Comenzó expresando que la exposición había sido excelente y que quería referirse al periodo de veda biológica y cómo se recolectan datos. Indicó que como miembro del gremio habían conversado con sus socios y pescadores sobre la época de captura, y estarían dispuestos a trabajar entre septiembre y diciembre, debido a que su cuota es bastante acotada (19 toneladas a nivel regional).

Posteriormente criticó las carreras olímpicas que se ven en otras regiones donde hay muchos intereses y pescadores, algunos de los cuales ni siquiera desembarcan los recursos, siendo cuotas de desembarque de papel. Planteó que le gustaría que se siga pescando solamente con el arte de pesca espinel, porque es más selectivo que la red de fondo, es un arte 100% más selectivo y no genera impacto.

También expresó preocupación sobre cómo se toman las muestras, señalando que con la magnitud de algunas rayas, el IFOP sólo podía a veces muestrear las más pequeñas, porque un pescador no está levantando 80, 90 o 100 kilos. Por eso, de repente el comité científico puede tener una recomendación adversa, si los ejemplares que se muestran son los más pequeños, que han tenido recién la madurez sexual.

Luego planteó que los pescadores muchas veces ocupan arte de red para que sea más barato, pero que es un sistema de pesca con el que, al menos en La Araucanía, no están de acuerdo, porque hace daño a otros recursos y el tiempo de calado es mucho mayor. Hay una afectación del recurso porque la jaiba, la centolla o cualquier otro recurso empieza a morder el recurso que ya está enmallado, que no se puede defender ni migrar a otra zona. Finalizó su intervención agradeciendo la oportunidad de participar.

**S. Gacitúa (CAPES-UC)** reconoció que claramente el tema de la estacionalidad de la captura del recurso es un tema que se tiene que analizar, que obviamente lo define la autoridad con el comité de manejo. Como ejecutor de la investigación pueden proponer una medida en la administración que puede ser el tema de la veda, de prolongarla, pero es la autoridad, la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura en este caso, junto con los actores, quienes definen eso.

Señaló que la temporada de pesca tiende a ser muy acotada, y que hay un efecto respecto a la demanda del recurso, que también está bastante acotada, lo que influye en la pesquería y en la operación de los pescadores, restringiendo mucho la operación a algunos días. Comentó que, en el

caso de la Novena Región, siendo una región pequeña con pocos pescadores que no está totalmente desarrollada, el cambio de la ley de fraccionamiento modificó varias pesquerías, y la Región de La Araucanía está en una posición que se supone se va a mejorar, por lo que es de esperar que la implementación también les ayude.

**A. Flores (CAPES-UC)** agradeció los comentarios de don José Miranda sobre la poca rentabilidad que tenía hoy en día el recurso. Explicó que lo vieron en vivo porque pescadores estaban dispuestos a colaborar con el proyecto, pero después con el tiempo no lograron conseguir muestras porque no tenían compradores, ya que el valor había caído y no era rentable para ellos. También mencionó la dificultad de capturar el recurso, porque no todas las regiones completaron la cuota, y en aquellas regiones que se completó la cuota, se completó en dos semanas cuando era la cuota del año. Agrega además que, en Bahía Mansa, dos veces se intentó hacer pesca de investigación y hubo cero capturas.

Luego, **A. Flores** identificó tres factores limitantes: una situación económica que no era rentable, la situación del recurso difícil de capturar, y la carrera olímpica. Esto limita mucho poder llevar a cabo un estudio más acabado en términos espacio-temporales. No obstante, los resultados coinciden con lo existente en la literatura, respecto que existiría un periodo de reproducción en verano, como también otra época. Apoyó la disposición de José Miranda de trabajar durante el periodo de primavera, señalando que esa es la propuesta que se está recomendando a la autoridad.

**A. Flores (CAPES-UC)** enfatizó que la debe ser parcelada para que no se genere una carrera olímpica, que no todos capturen en un solo mes como noviembre. Ojalá que sea parcelada porque así también permite, por ejemplo, a las distintas fuentes levantar indicadores para ver cómo se va respondiendo el recurso. Destacó también la importancia de definir los puntos de desembarque, porque en algunas regiones con el TTL tratan de tener desembarques de papel, por lo que es necesario y potencialmente necesario que la autoridad regule esos puntos de desembarque para que realmente se pueda verificar aquello.

Comentó sobre pensar en modificar la temporada de captura, la apertura de la temporada de pesca, como una componente a analizar, no que sea concluyente, simplemente que hay que evaluar esa parte. Si todo se compromete en una sustentabilidad del recurso, puede ser adecuado. El moderador coincidió en que obviamente hay que tener en consideración estos aspectos.

**Mauricio Ahumada (TECPES-PUCV)** intervino planteando que al ver el problema de las rayas un poco de fuera, le llamaba la atención que no se tomen medidas un poco más drásticas respecto de la situación de la raya, en el sentido que se está hablando de dos recursos que ya llevan 10 o 12

años en estado de sobreexplotación, con cuotas que son relativamente bajas, que se acaban en muy poco tiempo, y a veces se pesca más de lo que establece la cuota como ha pasado en algunos años.

Se preguntó, sin tener todos los antecedentes sobre la mesa, si realmente se quiere recuperar a la raya o no. Si se sigue como está, pareciera ser más una fórmula para mantener una actividad basal y que el recurso no se recupere y se continúe con los problemas actuales. En cambio, si en realidad se quiere recuperar la raya, habría que tomarse en serio una revisión de lo que se ha venido haciendo hasta ahora y cuál es su efectividad. Planteó que quizá el único camino sea tomar medidas dolorosas para recuperar nuevamente el recurso.

Continuó preguntándose si la veda reproductiva, modificándola, va realmente a solucionar el problema, va a recuperar el stock para que se pueda salir de su condición desmedrada que lleva tantos años. Opinó que la respuesta es que no va a pasar eso. Sugirió que debiera tomarse un poco más en serio una revisión más profunda de las medidas de manejo que se han venido tomando, porque a su juicio no están apuntando donde deberían.

**María Ángela Barbieri (Comité Científico Técnico)** comentó que es una situación bien compleja la de la raya, recordó que ella estuvo a cargo de los primeros Comités de Manejo (CM) cuando se comenzaron a conformar y es bien complicado. Consideró que el trabajo que se ha hecho en el presente estudio es un gran aporte que le permitirá a la Subsecretaría de Pesca ver cómo avanzar.

**Renato Céspedes (IFOP)** intervino señalando que el estudio de alguna manera aporta a mejorar los datos en este tipo de especies. Planteó que estaría bueno en esta línea y en las conclusiones del estudio que se hagan sugerencias en términos de cuáles son las partes de la toma de datos que se está haciendo, en dónde hay que hacer hincapié de algunas modificaciones para poder recopilar mejor la información. De tal manera de generar una base de información que mejore las estimaciones que se pueden hacer para adelante en términos reproductivos u otros tipos de condiciones biológicas que se quieran analizar. Agradeció que en este tema se hagan recomendaciones.

**Andrés Jaureguizar (U. UPSO de Argentina)**, expresó que está súper feliz de los resultados y súper entusiasmado. Lo que más le preocupaba era cuánto iba a disminuir la edad de primera madurez, eso era lo que más le preocupaba para tratar las recomendaciones y la posibilidad de decir cómo pueden recuperar el recurso. Mencionó que, en Argentina han definido áreas de importancia para los tiburones y rayas. Son importantes como las áreas de puesta de huevos de rayas, y ese es un camino a seguir.

Propuso otro camino que es el ultrasonido, aunque es difícil. Da la posibilidad de tener muestras sin tener que adquirir (sacrificar) el individuo, más cuando tienen individuos grandes y pesados. Lamentablemente, los subsidios científicos son chiquititos, pero cree que es un camino de ida. El tema hormonal es mucho más preciso, pero lo que da es mucho tiempo de análisis de datos, es un camino largo. En Argentina lo hicieron con gatopardo y están apuntándole al ultrasonido porque les da esa factibilidad. Explicó que permite hacer muestreos de desembarque, tener la condición de un muestreo de desembarque y maduración. Es un caminito lento, es la realidad, se está desarrollando toda esa tecnología. Le sorprendió lo que realizado en el presente estudio por Andrés Flores y la histología, lo comentó con **A. Milessi (Mar Azul Uruguayo)** por privado, porque no tenían los últimos resultados a la vista. Está súper agradecido de estar ahí y también van a hacer algo por el área.

**A. Milessi (Mar Azul Uruguayo)** destacó que estos estudios y análisis aportan muchísimo. De hecho, estaban hablando con el colega Jaureguizar también que toda esta parte de análisis histológico no se ha hecho muchas veces en Argentina y en Uruguay, y que son necesarios. Bien lo marcó Mauricio, por ejemplo, que mostró una zona de veda para esta zona que es binacional entre Argentina y Uruguay, sin embargo, dista mucho de la perfección.

Señaló que lamentablemente las especies de condriictios, llámese tiburones y rayas, si bien tienen un 10% a nivel internacional de la biodiversidad, más del 50% de las poblaciones de estos condriictios tienen problemas severos de conservación y obviamente están sobreexplotados. Su comentario va en que hay que quedarse con esa visión tan local, sino que hay que recordar que estos recursos muchas veces son compartidos. En este caso pueden ser compartidos con Argentina o con la parte de Malvinas también.

Indicó que son necesarios esquemas regionales de conservación o de manejo, y ahí se complica aún más todavía el esquema de manejo. Entonces, no perder también esa visión regional que muchas veces puede traer o mayor complejidad o también otro tipo de soluciones. Finalizó felicitando por el gran aporte, más que nada la parte histológica que le pareció excelente.

**S. Gacitúa (CAPES-UC)** agradeció el comentario súper atinente de A. Milessi, recordando la distribución de estos recursos., enfatizando que a veces se tiende a la mirada en una escala local y a encerrarse muy en lo pequeño, sin pensar en que también hay factores externos, más allá de las fronteras, que pueden estar influyendo.

**J. Miranda (Pescador artesanal de la Araucanía)** intervino nuevamente comentando que realmente cree que es mejor restringir el arte de pesca. La primera medida sería que se elimine la red de fondo y se pesque sólo con espinel. No cree que el recurso se encuentre agotado, pero que se deben tomar medidas para recuperarlo. Una medida es, por ejemplo, restringir el arte de pesca, que la autoridad tome cartas en el asunto. Y el otro punto que plantea se refiere a los puntos de desembarque, que realmente sean los que se establezcan, para que nadie evite los controles y que si uno pesca, desembarque lo que pesca.

**Marcos Arteaga (INPESCA)**, agradeció la invitación al taller y felicitó al equipo del proyecto por los muy buenos resultados. Compartió un mensaje, una comunicación, ya que INPESCA está desarrollando un proyecto de revisión y mejora experta de raya volantín y de camarón nailon, y que habrá un taller que se va a realizar del 12 al 16 de enero de 2026 en la ciudad de Viña del Mar. Deja la invitación, sobre todo al equipo del proyecto, para poder participar activamente de esta reunión. Explicó que hay dos revisores expertos que se van a encargar de revisar la evaluación de stock de estos recursos, no solamente la evaluación de stock, sino que desde el seguimiento hasta la toma de decisiones en estas dos especies. Para ellos sería muy importante que por la expertis del equipo puedan participar de este taller de revisión. Valoró el trabajo y el esfuerzo realizado.

**A. Flores (CAPES-UC)**, ya finalizando el taller, aprovechó la oportunidad de agradecer primero a FIPA y SUBPESCA por la oportunidad de poder ejecutar el proyecto. También agradeció a la señora Gladys, a don Francisco, jefe de flota de Dalcahue, que facilitaron la captura y el espacio para realizar los muestreos. A los pescadores de Bahía Mansa que estuvieron dispuestos a colaborar con ellos. También a Leonardo Peña de Lebu, que estuvo siempre presente y dispuesto para poder participar. Agradeció a Enrique Aguilar y a Roberto Bravo del equipo de terreno de CAPES-UC por su siempre buena disposición al trabajo en terreno.

También agradeció al Instituto Fomento Pesquero (IFOP) porque ellos proveyeron los datos históricos lo que fue de gran ayuda para saber con qué se estaban enfrentando y poder organizarse. Solamente darles las gracias a todos. Y Rodrigo siempre va a estar presente de aquí en adelante.

Finalmente agradeció a Rodrigo Wiff, todos saben que fue un gran líder en los proyectos y en todo lo que ha participado. Nunca van a dejar de agradecer su persona, su simpatía y su profesionalismo.

**S. Gacitúa (CAPES-UC)** también agradeció a Juan Pablo Loureiro de Mundo Marino de San Clemente en Argentina, a Natalia de Mercasi de la Fundación Temaikén, que ayudaron en la

instrucción del personal del proyecto para el tema de las ecografías. A los pescadores artesanales, que siempre son un punto clave en este tipo de estudios. En este caso, a Leonardo Peña de Lebu, a Alejandro Llafquen de Bahía Mansa, Juan Soto Ruíz de Dalcahue, Miguel Ángel Bustos y José Ibáñez de Pto. Gala.

Agradece también a Pesquera Los Elefantes, a José Montt y a Francisco Arroyo. También a los funcionarios de SERNAPESCA de la Región de Los Lagos y de Aysén, que ayudaron con la pesca de investigación. A Alejandra Valdebenito y a Erick Daza de IFOP Magallanes, que colaboraron en Punta Arenas para la logística y poder hacer las encuestas a los pescadores. Y finalmente agradecer al Fondo de Investigación Pesquera (FIPA), particularmente a Daniela Bolborán y Malú Zavando, y a la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA), a Jorge Farías, a María Fernanda Mercado, y a Romina Paillán por el apoyo, principalmente para poder terminar el proyecto, particularmente desde el minuto que Rodrigo Wiff ya dejó de liderar el equipo por su lamentable fallecimiento.

De parte de todo el equipo del proyecto, muchas gracias por haber participado en el taller. Esperamos haber estado a la altura de nuestro colega y amigo Rodrigo Wiff Onetto (Q.E.P.D.).

Se da por terminado el taller alrededor de las 13:45 horas.



**Imágenes del Taller:**

