

2023

**NUEVAS ALTERNATIVAS PARA LA PESCA  
RESPONSABLE DE CAMARÓN DE  
PROFUNDIDAD EN EL OCÉANO PACÍFICO  
COSTARRICENSE, 2023-2024**

**PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN**



# ***NUEVAS ALTERNATIVAS PARA LA PESCA RESPONSABLE DE CAMARÓN DE PROFUNDIDAD EN EL OCÉANO PACÍFICO COSTARRICENSE, 2023-2024***

## **Protocolo de investigación**

**Oscar G. Zamora-García<sup>1</sup>, L. Daniel Carrillo-Colín<sup>1,2</sup>, J. Miguel Carvajal-Rodríguez<sup>3</sup>, F. Mejía-Arana<sup>3</sup>, Nixon Lara-Quesada<sup>3</sup> y J. Fernando Márquez-Farías<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Servicios Integrales de Recursos Biológicos Acuáticos y Ambientales, S. C., México.

<sup>2</sup> Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México.

<sup>3</sup> Departamento de Investigación. Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura, Costa Rica.

<sup>4</sup> Facultad de Ciencias del Mar. Universidad Autónoma de Sinaloa, México.

Junio de 2023

Cita recomendada:

Zamora-García, O.G., Carrillo-Colín, L.D., Carvajal-Rodríguez J.M., Mejía-Arana, F., Lara-Quesada, N. y Márquez-Farías, J.F. 2023. Nuevas alternativas para la pesca responsable de camarón de profundidad en el océano Pacífico costarricense, 2023-2024. Servicios Integrales de Recursos Biológicos Acuáticos y Ambientales. Doc. Tec. 0002, 48 p.

## Índice

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>5</b>
<b>2. ANTECEDENTES .....</b>	<b>6</b>
2.1 Pesquerías secuenciales de camarón.....	6
2.2 Efectos de la pesquería de camarón.....	7
2.2.1 Captura incidental (FACA).....	7
2.2.2 Ambiente Marino .....	8
2.2.3 Emisiones de carbono .....	8
2.2.4 Dimensión del impacto .....	8
2.3 Pesquerías de camarón de profundidad .....	10
2.4 Flota.....	10
2.5 Composición de la captura en la pesquería .....	11
2.6 Distribución espaciotemporal del recurso .....	12
2.7 Zona susceptibles de aprovechamiento .....	13
<b>3. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>14</b>
<b>4. OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
4.1 Objetivo general .....	15
4.2 Objetivos específicos.....	15
<b>5. METODOLOGÍA.....</b>	<b>15</b>
5.1 Embarcaciones y sistema de captura .....	16
<b>6. PROSPECCIONES .....</b>	<b>18</b>
6.1 Esfuerzo de muestreo.....	18
6.2 Fase piloto .....	18
6.3 Zonas y profundidades de operación .....	19
6.3.1 Zonas de investigación.....	19
6.3.2 Duración de los lances .....	20
6.3.3 Número de lances.....	21
6.4 Equipo para el muestreo a bordo .....	21
6.5 Muestreos a bordo .....	22
6.5.1 Determinar la proporción de la captura .....	27
6.5.2 Muestreo biológico .....	28
<b>7. ANÁLISIS DE DATOS.....</b>	<b>30</b>
7.1 Representatividad de la muestra .....	30
7.2 Composición específica de la captura y FACA.....	30
7.3 Estructura de la población .....	31
7.3.1 Proporción sexual .....	31
7.3.2 Distribución de frecuencia de longitudes.....	31



7.4 Dinámica poblacional .....	32
7.4.1. Crecimiento .....	32
7.4.2 Proporción de madurez y periodo reproductivo .....	33
7.4.3 Mortalidad.....	33
7.5 Distribución y abundancia relativa .....	34
7.5.1 Modelos Latentes Gaussianos.....	35
7.5.2 Selección del mejor modelo.....	36
7.5.3 Predicción por interpolación (Kriging) Bayesiana .....	36
7.6 Distribución batimétrica .....	37
7.7 Evaluación del stock.....	38
7.8 Plataformas de análisis de datos .....	39
<b>8. ESTRATEGIA DEL PROYECTO .....</b>	<b>39</b>
8.1 Resultado esperados .....	39
<b>9. APLICACIÓN PRÁCTICA DE LOS RESULTADOS.....</b>	<b>41</b>
9.1 Resultado de los muestreos.....	41
9.2 FACA .....	41
<b>10. SIGUIENTES PASOS.....</b>	<b>43</b>
<b>11. REFERENCIAS .....</b>	<b>44</b>
<b>APÉNDICE I.....</b>	<b>49</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

La pesca es una actividad productiva. Los gobiernos tienen la obligación de inducir el aprovechamiento responsable de los recursos pesqueros. En la mayoría de los países en desarrollo, la pesquería de camarón es una de las más importantes actividades socioeconómicas (FAO, 2022). Algunas pesquerías tienen la misión de generar empleo y otras de generar divisas. Encontrar el balance entre estos beneficios y la sostenibilidad de las poblaciones aprovechadas es el reto y la misión de la autoridad pesquera.

El Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura (INCOPECA) como autoridad pesquera, tiene la responsabilidad sobre la pesca y acuicultura de Costa Rica. Entre sus facultades y obligaciones está el fomentar la conservación, el aprovechamiento y el uso sostenible de los recursos biológicos del mar y de la acuicultura. En virtud de lo anterior, y con base en la premisa que los recursos naturales son para aprovecharse de manera responsable, es menester de la autoridad pesquera buscar las oportunidades de desarrollo del sector pesquero siempre sensible de los intereses de la opinión pública y minimizando el impacto de las actividades en el ecosistema.

La ciencia debe ser la base de la toma de decisiones responsables. El asesoramiento científico debe, a su vez, basarse en la mejor información disponible que resulte de monitoreos sistemáticos y metodológicamente robustos. En el caso de la pesca de arrastre en Costa Rica, después de un periodo de inactividad de más de cinco años de la flota camaronera del Pacífico de Costa Rica, se plantea el evaluar cual es el estado que guardan las poblaciones de camarón y los niveles de aprovechamiento que pueden ser sostenibles.

En el presente protocolo de investigación se plantean los procedimientos y la metodología pertinente para monitorear la pesquería y obtener la información de primera mano sobre las especies capturadas, su abundancia espaciotemporal, así como información sobre la biología y dinámica de poblaciones que permitan identificar las condiciones de aprovechamiento que induzca hacia una actividad sostenible. Sería de esperar que, después de un periodo largo sin pesca de arrastre en el Pacífico de Costa Rica, el ecosistema se ha recuperado, considerando que la recuperación de la estructura y función de los hábitats impactados por la pesca de arrastre pueden recuperarse después de 2–5 años del cese de la

actividad pesquera (Lambert *et al.*, 2014). Así mismo, se esperaría que las abundancias por especie hayan aumentado respecto a los niveles de las fases de explotación del pasado.

En ese sentido, Costa Rica goza de la oportunidad de establecer una pesquería que se desarrolle de manera sostenible considerando los cuatro puntos angulares de la sostenibilidad de los sistemas socio-ecológicos pesqueros en términos: ecológicos, económicos, sociales (culturales) y de gobernanza a través del enfoque ecosistémico de la pesca (EEP) (Defeo & Vasconcellos, 2020). Qué en principio deberán basarse en la generación de conocimiento desde cada punto y en su conjunto (FAO, 2022).

## **2. ANTECEDENTES**

### 2.1 Pesquerías secuenciales de camarón

Las pesquerías de camarón se basan en la captura de especies de ciclo de vida corto, y son comúnmente manejadas con vedas estacionales por medio de las cuales se controla el esfuerzo protegiendo los desoves dando oportunidad al crecimiento individual. Dichas vedas garantizan los desoves y el crecimiento somático produciendo un aumento en la supervivencia de las cohortes durante la veda. Consecuentemente, la generación de biomasa debido al crecimiento individual y a la supervivencia de las cohortes resulta en el incremento de los rendimientos al inicio de la siguiente temporada de pesca.

Este panorama es aún más complejo cuando se trata de pesquerías secuenciales en donde participan el sector social con la pesca artesanal y el sector industrial con embarcaciones mayores (García & Le Reste, 1986). Este tipo de pesquerías secuenciales de camarón son comunes en los países en desarrollo en donde el reto es balancear los beneficios de la explotación de los stocks. Dado que las dos pesquerías son fundamentalmente diferentes, para la valoración de los beneficios se deben considerar las características de cada una de las pesquerías, en términos sociales y económicos. Por un lado, la pesca artesanal es una fuente generadora de empleo y suministro de productos pesqueros baratos con un bajo costo de operación. Por otro lado, la pesca industrial es más capitalizada y su beneficio radica esencialmente en la generación de divisas y empleos por su capacidad instalada (Willmann & García, 1986). El balance entre la disminución del esfuerzo por las vedas, la dinámica

poblacional del recurso y la variabilidad ambiental es un complejo sistema que debe ser evaluado para determinar el éxito del esquema de manejo (INP, 2001).

Afortunadamente, en el caso de la pesquería de camarón de profundidad del océano Pacífico de Costa Rica, es altamente improbable que se trate de una pesquería secuencial dada la separación geográfica que existe entre los sitios y profundidades de desarrollo de la pesquería industrial y los ecosistemas sobre los que las pesquerías artesanales desarrollan regularmente (bahías, esteros y lagunas). Sin embargo, existen ciertos efectos de la pesca de arrastre que han sido ampliamente documentados y que es imprescindible considerar en la búsqueda de alternativas para la pesca responsable.

## 2.2 Efectos de la pesquería de camarón

La pesca de arrastre ha sido ampliamente criticada por la comunidad internacional debido a sus efectos negativos sobre el ambiente (Collie *et al.*, 2017) que pueden incluir entre otras cosas: 1) Altas tasas de captura incidental; 2) Daño directo sobre el ambiente marino y 3) Altas emisiones de carbono.

### **2.2.1 Captura incidental (FACA)**

El principal motivo de crítica sobre la pesquería de arrastre camarón son los altos volúmenes de FACA con respecto al camarón, que regularmente representa del 30–90% de la captura total (FAO, 2022). Esta situación se agrava cuando la FACA está compuesta por especies enlistadas en alguna categoría de riesgo debido a sus características demográficas y, por ende, su baja capacidad de resistir una captura continua.

La FACA puede reducirse por medio de modificaciones tecnológicas como la incorporación de dispositivos excluidores de tortugas (DET), de peces (DEP) y la ampliación de los tamaños mínimos de malla, entre otros. Además, la identificación de sitios con alta captura incidental puede fomentar el conocimiento de sitios altamente productivos y, por lo tanto, candidatos a protección especial (Pennino *et al.*, 2014). Las estrategias de reducción de la captura de FACA deben estar acompañadas de lineamientos de manejo abordo (buenas prácticas) que eviten el desperdicio y el impacto generado por los descartes. Por ello, es importante que los pescadores realicen prácticas de pesca responsable, las estructuras de

gobernanza participativa definen las estrategias de manejo de la pesca, y en conjunto con las autoridades, vigilar su cumplimiento de las regulaciones (FAO, 2022).

### ***2.2.2 Ambiente Marino***

El impacto del arrastre mecánico de los pesados equipos de pesca sobre ambientes marinos para el ecosistema es innegable. Por lo tanto, es indispensable que la pesca de arrastre se realice sobre sitios que no comprometan la estructura y función de los ecosistemas. Para encontrar tales sitios y áreas, y consecuentemente protegerlos, es necesaria la investigación en términos de ambientes marinos vulnerables y áreas críticas para la conservación. La actividad pesquera puede ser una plataforma de acceso al ambiente marino y a su investigación en términos geológicos, biológicos, físicos y ecológicos.

### ***2.2.3 Emisiones de carbono***

La pesca de arrastre contribuye a la liberación de carbono a la atmósfera y, por lo tanto, al cambio climático. El sector pesquero latinoamericano contribuye con 8% ( $16 \times 10^6$  t de CO<sub>2</sub>) de las emisiones totales de CO<sub>2</sub> producidas por las pesquerías globales (Parker *et al.*, 2018). Por su parte, se ha demostrado que el disturbio en los sedimentos produce la liberación de carbono secuestrado incrementando las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas con la actividad pesquera (Sala *et al.*, 2021). Por lo tanto, es importante investigar alternativas para reducir estos impactos, de tal forma que no rebasen los beneficios de la actividad. Una alternativa es el uso de artes de pesca más livianos que reduzcan el nivel de interacción directa con el fondo, al tiempo que reduzcan los tiempos de arrastre.

### ***2.2.4 Dimensión del impacto***

Los impactos de la pesca de arrastre guardan una magnitud proporcional con la antigüedad de la actividad, la intensidad de pesca, el número de embarcaciones y su poder de pesca. Por ello, las estructuras de gobernanza participativa deberán fomentar la generación de conocimiento que permita determinar estrategias para reducir los diversos impactos y su dimensión. De manera general, la Tabla 1 enlista algunas medidas de manejo para reducir la dimensión de los impactos de la pesca de arrastre.

Tabla 1. Medidas de manejo que podrían reducir los impactos negativos de la pesca de arrastre.

Medida de manejo	Efecto esperado
<ul style="list-style-type: none"> <li>Liberación inmediata de especies vulnerables capturadas vivas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reducción de la mortalidad de especies no objetivo.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Obligatoriedad de los DET y DEP.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Disminución de la interacción con tortugas y otras especies no objetivo.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Reglas de control en función de una proporción de FACA: Camarón previamente acordada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reducir el costo ecológico y la intensidad de pesca cuando la especie objetivo ha disminuido su abundancia relativa (Zamora-García, 2015).</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Establecer regulaciones en materia de descarte y porcentajes mínimos de FACA desembarcada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aprovechar integralmente a las especies ya capturadas.</li> <li>Reducir los descartes.</li> <li>Permitir a los patrones de barco evaluar, desde una perspectiva económica cuando la proporción FACA: Camarón compromete la rentabilidad de la pesca.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Definición de tallas mínimas legales para la especie objetivo y la FACA y tamaños de malla mínimos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Incrementar la probabilidad de desove de todas las especies impactadas y prevenir la sobrepesca de crecimiento (Sparre &amp; Venema, 1998)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Establecimiento de periodos de veda.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proteger el periodo reproductivo de las especies objetivo.</li> <li>Reducir la frecuencia de disturbio sobre el fondo.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Definición de áreas restringidas a la pesca.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proteger la estructura y función de los ecosistemas.</li> <li>Fomentar la recuperación de las especies.</li> <li>Incrementar la resiliencia de los sistemas socio-ecológicos pesqueros de cara al cambio climático (CONANP, 2015).</li> <li>Restringir la pesca en la zona costera, de alta productividad, así como en las zonas protegidas por criterios previamente establecidos.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Limitación al incremento del poder de pesca (capacidad de bodega, potencia de motor y dimensión de las redes).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prevenir la magnificación de impactos previamente dimensionados.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Sistemas de seguimiento satelital de embarcaciones (VMS, por sus siglas en inglés)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Evitar realización de faenas de pesca en áreas que comprometen el ecosistema u otras actividades.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Limitación en el número de embarcaciones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prevenir la magnificación de impactos previamente dimensionados.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Innovaciones tecnológicas (ecosondas) en las embarcaciones y artes de pesca para reducir su peso y buscar mayor hidrodinámica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reducción del consumo de diésel, las emisiones de CO<sub>2</sub> y el impacto sobre el fondo marino.</li> <li>Incrementar la precisión de los lances y reducir el porcentaje de lances sin captura de las especies objetivo.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Establecimiento de horarios de arrastre por especie.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reducción del impacto sobre el fondo marino en horarios de menor disponibilidad de la especie objetivo.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Establecimiento de duración máxima de los lances.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reducción del impacto sobre el fondo marino y de los costos de operación (Pennington &amp; Volstad, 1991).</li> </ul>

- 
- Cooperación cercana con la academia y las organizaciones civiles.
  - Incorporación de enfoques alternativos e innovaciones para reducir los impactos de la pesca.
- 

Por su parte, la incorporación de un programa de técnicos con una cobertura mínima del 20% de la flota (Babcock *et al.*, 2011) puede permitir la aplicación oportuna de medidas de manejo con base en la información dependiente de la pesca.

### 2.3 Pesquerías de camarón de profundidad

Algunas pesquerías de arrastre de camarón han extendido sus zonas de pesca explorando zonas de mayor profundidad ya sea por la escasez de las especies tradicionales, disposiciones gubernamentales en pro de la recuperación de recursos sobreexplotados o por la necesidad de proveer a los mercados de países desarrollados de especies para el consumo humano directo (Arana *et al.*, 2009). Las pesquerías de arrastre de profundidad para la captura de camarón operan con una dinámica similar a las pesquerías de arrastre costeras. La dimensión de los sistemas de captura cambia y la faena de pesca toma más tiempo. Así mismo, la composición de las especies cambia al igual que los volúmenes y especies que componen la FACA.

Uno de los grandes retos de la pesca de camarón de profundidad, aparte de conocer la abundancia relativa espaciotemporal, es el entendimiento de la biología de la especie el cual pueda ser la base para el manejo de la pesquería. Los ciclos de vida de las especies de profundidad (peces y crustáceos) tiene características distintas a las especies demersales de aguas más someras, las cuales poseen una mayor productividad biológica. Así mismo, las especies de FACA deberán ser documentadas y examinadas para identificar cualquier posible impacto que amenace su viabilidad poblacional. Dicho lo anterior, el monitoreo de la pesca de arrastre con embarcaciones comerciales representa una plataforma oportuna para el inicio de la generación de conocimiento sobre las especies objetivo y FACA.

### 2.4 Flota

La flota camaronera se ha ido reduciendo con el tiempo pasando de 80 embarcaciones en los años ochenta hasta 43 embarcaciones en el año 2013 y terminando con 25 embarcaciones antes de cerrarse la pesquería en agosto del 2018. Las licencias de pesca de algunas

embarcaciones incluían todas las zonas y especies. Otras licencias de barcos solo permitían la operación en zonas profundas dirigiendo su captura hacia especies de camarón pinky, Fidel, camellos y langostino o chicharra (Bolaños, 2005; Chacón *et al.*, 2007; Mejía-Arana, 2014; Mejía, 2018).

Según la base de datos SISPA, del Departamento de Protección y Registro del INCOPEPESCA, en el mes de septiembre del 2018 existían 43 embarcaciones camaroneras inscritas en ese registro, de las cuales hoy día no hay ninguna embarcación activa con licencia de pesca.

### 2.5 Composición de la captura en la pesquería

La pesquería de camarón inicio en 1952 en el golfo de Nicoya extendiéndose a toda la plataforma continental en el océano Pacífico, teniendo como especie principal al camarón blanco. Posteriormente, inician los reportes del camarón tití en 1956, el camarón rosado en 1960, el camarón café y Fidel en 1970, el camarón camello corriente en 1980 y el camarón camello real en 1987. Para el año 2005, el camarón Fidel represento el 56% de la captura de camarón (Araya *et al.* 2007, Barrantes *et al.* 2011, Palacios 2013, Mejía-Arana 2014, INCOPEPESCA, 2019). Las especies que se espera encontrar variarán de acuerdo con la profundidad. Las especies son, el camarón rosado o pinky, (*Penaeus brevivirostris*) entre 35–120 m; la chicharra (*Pleuroncodes planipes*) entre 150–200 m; camarón Fidel (*Solenocera agassizii*) entre 120–350 m; camarón camellito (*Heterocarpus vicarius*) entre 350–700 m; y camarón camello real o camellón (*Heterocarpus affinis*) entre 700–1200 m (Figura 1).

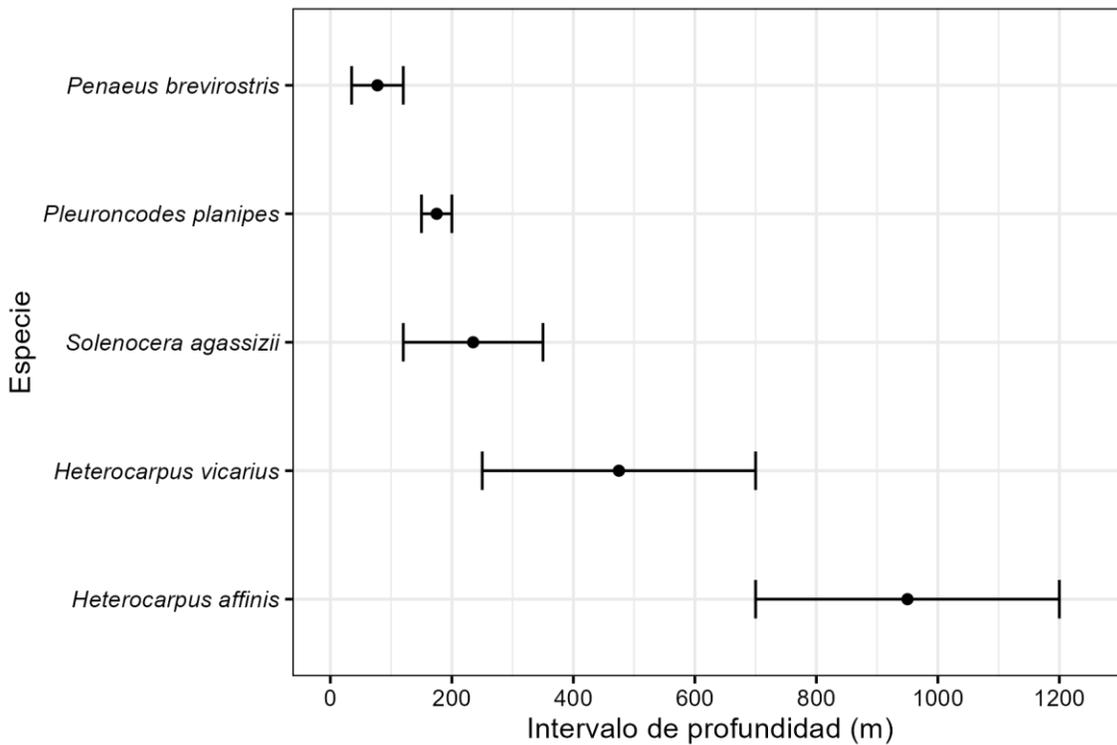


Figura 1. Intervalo de profundidad de las especies de la pesca de arrastre profundo (FAO, 1995).

## 2.6 Distribución espaciotemporal del recurso

La mayoría de los caladeros de pesca (Figura 2) solían encontrarse entre las isobatas de 300 y 500 m [excluyendo los caladeros de camello real (*H. affinis* y *P. planipes*)] (Wehrtmann & Nielsen Muñoz, 2009). La distribución geográfica de las especies objetivo es amplia, y varía entre especies:

- Camarón Fidel (*S. agassizii*): Se distribuye de Costa Rica a Perú (DecaNet, 2023).
- Camarón camellito (*H. vicarius*). Se distribuye del golfo de California a Panamá-Costa Rica (Wehrtmann & Nielsen Muñoz, 2009).
- Camarón camellón (*H. affinis*). Se distribuye desde el golfo de California hasta Perú (Wehrtmann & Nielsen Muñoz, 2009).

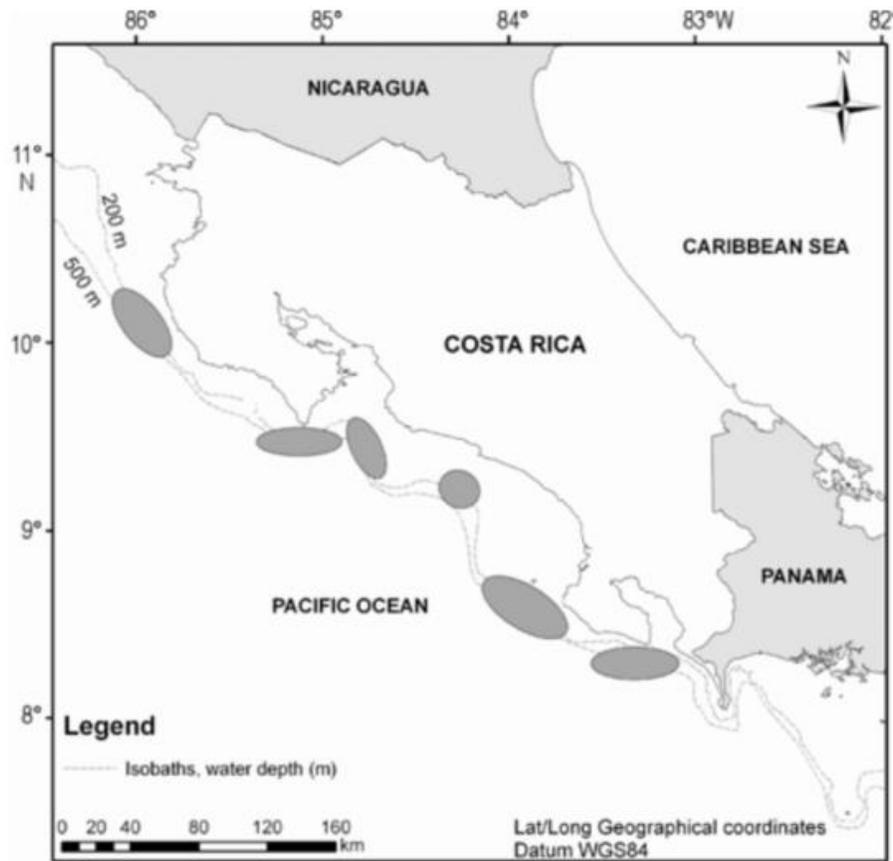


Figura 2. Principales caladeros de pesca de la pesquería de camarón de profundidad (excluyendo al camarón camellón) a lo largo de la costa del Pacífico de Costa Rica. Tomada de (Wehrtmann & Nielsen Muñoz, 2009).

### 2.7 Zona susceptibles de aprovechamiento

La zona de pesca que tradicionalmente se utilizaron para capturar camarón, han sido modificada debido a las disposiciones gubernamentales. Para los fines del presente protocolo de monitoreo, las operaciones de las embarcaciones se realizarán a partir de las 4 millas náuticas y respetando las áreas de exclusión en Áreas Silvestres Protegidas (ASP) y Áreas Marinas de Pesca Responsable (AMPR) (Figura 3).

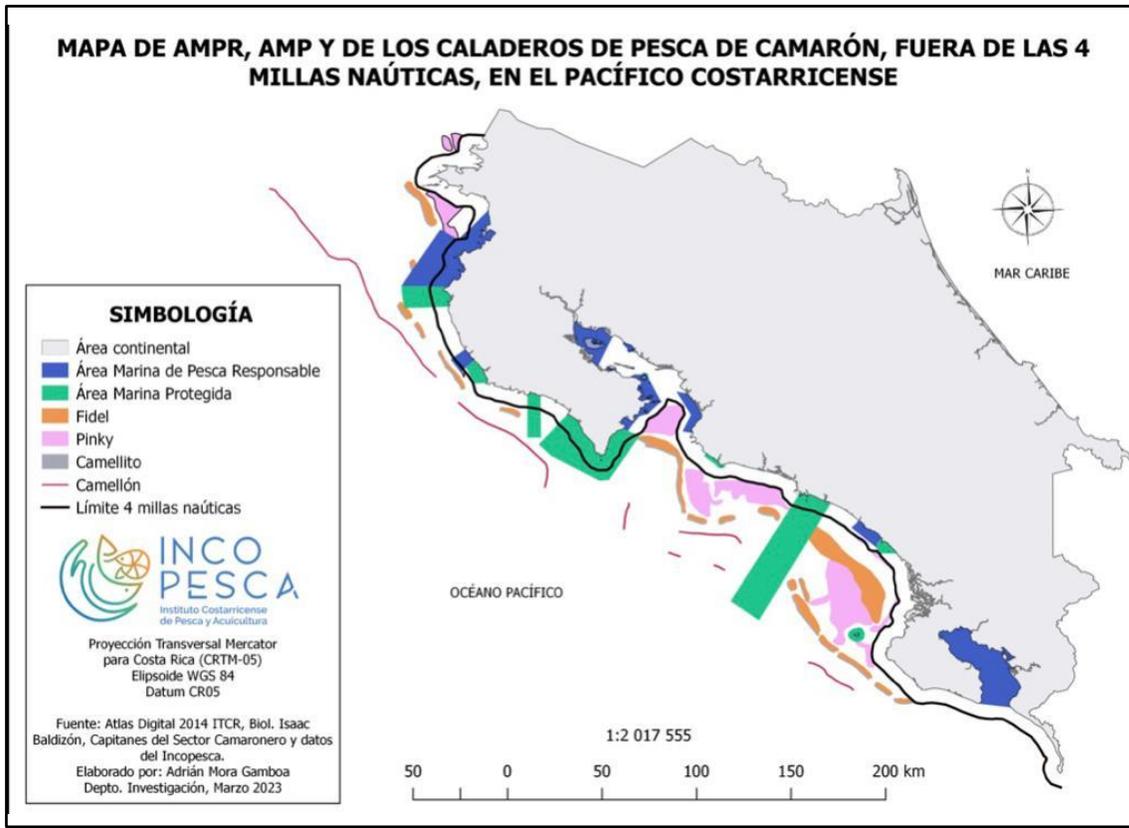


Figura 3. Áreas de exclusión para la flota camaronera en el Pacífico costarricense (Fuente: INCOPESCA).

### 3. JUSTIFICACIÓN

Considerando la imperante necesidad de generar información que permita el desarrollo sostenible de la pesquería de camarón de profundidad en el Pacífico de Costa Rica, es importante el establecimiento de un protocolo de investigación integral que permita la generación de la información que represente la línea base para el establecimiento de medidas de regulación y manejo de la pesquería.

#### **4. OBJETIVOS**

##### 4.1 Objetivo general

Evaluar alternativas en la pesca responsable de los diferentes stocks de camarón de profundidad en el océano Pacífico de Costa Rica.

##### 4.2 Objetivos específicos

- 4.2.1 Documentar la composición de la captura en términos de especies objetivo y fauna acompañante (FACA), y determinar la proporción FACA: Camarón.
- 4.2.2 Conocer la estructura de la población de las especies (Proporción sexual, tallas, pesos, fases de desarrollo).
- 4.2.3 Evaluar la dinámica poblacional de las especies objetivo (Crecimiento, Madurez, Mortalidad, Migración)
- 4.2.4 Caracterizar la variación espaciotemporal de los indicadores de la pesquería (distribución, abundancia, estructura) para conocer su disponibilidad y susceptibilidad de captura.
- 4.2.5 Evaluar el estado de los stocks de camarón sujetos a explotación para conocer su condición e identificar medidas de control del aprovechamiento.

Adicionalmente, la contribución de la academia será relevante para los siguientes objetivos:

- 4.2.6 Estimar el impacto social y económico de los sectores involucrados en la pesquería de profundidad.
- 4.2.7 Evaluar el impacto de la actividad pesquera de camarón de profundidad sobre los fondos marinos.

#### **5. METODOLOGÍA**

El presente protocolo de investigación se sustenta en la operación de ocho embarcaciones nacionales adaptadas con sistema de captura para camarón de profundidad. De dichas embarcaciones, dos de ellas serán designadas para la captura de camarón de profundidad: “Camellito” (*Heterocarpus vicarius*) y “Camellón” (*H. affinis*) y seis embarcaciones para la

captura de camarón “Pinky” (*Penaeus brevirostris*) y “Fidel” (*Solenocera agassizii*). Para el segundo año se explorará también la viabilidad del uso de la especie *Pleuroncodes planipes*.

### 5.1 Embarcaciones y sistema de captura

Se utilizarán embarcaciones con casco de acero y madera tipo Florida con características similares de eslora, motor y capacidad para realizar la pesca de camarón de profundidad. De acuerdo con reportes previos (Bolaños, 2005, Chacón *et al.*, 2007), las dimensiones y características promedio incluyen un motor estacionario de 272 hasta 400 HP con una capacidad de 86,9 toneladas (tonelaje bruto) y de 27,2 toneladas (tonelaje neto), con autonomía de 15–30 días vía la pesca.

Para la pesca de arrastre de camarón, tradicionalmente se utilizarán dos redes de arrastre de tipo semi-balón las cuales operan simultáneamente, una por babor y la otra por estribor. De acuerdo con la información proporcionada por INCOPEPESCA, para el propósito del presente monitoreo, se usará la red Doble AA Costa Rica cuyas características, tipo y ubicación de los dispositivos excluidores de tortugas (DET) y excluidores de peces (DEP) se enlistan en la Tabla 2.

Tabla 2. Característica de las redes AA-Costa Rica (Fuente: INCOPESCA).

Características	Tipo de red AA
Red Principal	
Alto red en la faena de pesca (m)	0,81
Altura mecate del calón (m)	2
Área de la malla cuadrada (m)	0,91 x 0,60
Circunferencia de copo (mallas)	150
Distancia entre Doble relinga (m)	0,25
Distancia entre tirantes de la doble relinga (m)	0,62
Longitud de copo (m)	3,8
Longitud Rabizas (m)	0,25–0,38
Longitud Red (m)	19,8–20
Longitud Relinga inferior (m)	20
Longitud Relinga superior (m)	19,8
Luz de la malla cuadrada	6"
Luz de malla copo	1,75"
Luz de malla cuerpo	2"
Material Red	Polietileno
Tamaño de la malla cuadrada	4 x 6"
Tipo de Relinga Inferior	Doble
Dispositivos excluidores	
Características excluidor de tortugas (DET)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material: Aluminio</li> <li>• Abertura entre barras: 4"</li> <li>• Tipo de barras: planas</li> </ul>
Dispositivo excluidor de peces (DEP)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo: Ojo de pescado</li> <li>• Material: Acero inoxidable o aluminio</li> <li>• Abertura: 320 mm</li> <li>• Altura: 220 mm</li> <li>• Profundidad del vértice: 440 mm</li> </ul>

## 6. PROSPECCIONES

El monitoreo a bordo de las embarcaciones será la base de la presente investigación pesquera. Las embarcaciones participantes en la investigación serán seleccionadas por la autoridad pesquera y el sector.

### 6.1 Esfuerzo de muestreo

La definición *a priori* del esfuerzo de muestreo puede resultar arbitraria. Por lo tanto, es necesario un programa piloto, acompañado de un análisis preliminar de resultados para estimar el esfuerzo de muestreo que optimice la ganancia de información al tiempo que reduce los costos de operación en términos de viabilidad en campo, de costos económicos y el impacto en el sistema de estudio (Guerra-Castro *et al.*, 2021). Por lo tanto, el presente proyecto se realizará en dos fases: 1) Fase piloto y 2) Fase de investigación.

### 6.2 Fase piloto

La fase piloto cumplirá la función de robustecer la preparación y el conocimiento mínimo para la fase de investigación sobre la sostenibilidad de la pesca semiindustrial de camarón en Costa Rica. En esta primera etapa se trabajará con cuatro embarcaciones; posteriormente, con cuatro más para un total de ocho embarcaciones. En principio, cumplirá el objetivo de permitir a los participantes seleccionados probar sus unidades de pesca, calibrar equipos de pesca, que después de más de cinco años sin operar, es de esperarse que presenten fallas mecánicas. Por otra parte, permitirá la estimación del esfuerzo de muestreo óptimo y la calibración de los protocolos de muestreo y el monitoreo por parte de las autoridades pesqueras.

Todas las embarcaciones que participen contarán con un técnico capacitado (avalado por INCOPECA) para el monitoreo de la actividad de acuerdo con los formatos establecidos (adjuntos). Por su parte, las embarcaciones serán monitoreadas en tiempo real por medio de un Sistema de Monitoreo Satelital (VMS, por sus siglas en inglés) para conocer las áreas de operación.

La operación de las embarcaciones se realizará de forma tradicional en días y horarios de pesca. Esto tiene la ventaja de que permitirá conocer la faena de pesca que prevalecerá de acuerdo con los resultados del estudio. Las faenas de pesca inevitablemente variarán

dependiendo de la profundidad de operación y las condiciones climáticas estacionales. El objetivo general de la etapa piloto es determinar el número de viajes, lances, y su duración lo cual es necesario para estimar el esfuerzo de muestreo óptimo que garantice la representatividad de los resultados. La duración de la fase piloto será de tres meses (abril–junio de 2023).

### 6.3 Zonas y profundidades de operación

Los investigadores y técnicos de INCOPESCA, así como los empresarios del sector productivo, señalan que los caladeros tradicionales de pesca son irregulares y discontinuos debido esencialmente al tipo de fondo y a las zonas de exclusión. Considerando esto, se delinearón las zonas disponibles para la pesca de arrastre respetando las disposiciones vigentes de zonas de conservación y pesca responsable en la Figura 3. Las zonas que permitan la operación de los artes de pesca y no estén catalogadas como áreas de exclusión, serán consideradas como “zonas de investigación” para el presente proyecto.

#### ***6.3.1 Zonas de investigación***

Las zonas de investigación se subdividieron en dos: 1) La zona somera y 2) la zona profunda. Las áreas específicas cubiertas por cada zona se definirán con base en los datos obtenidos durante la fase piloto.

##### **6.3.1.1 Zona somera**

La zona somera se clasificó con base en la distribución batimétrica de los camarones Pinky, camarón Fidel (y chicharra) hasta los 300 m de profundidad. Esta zona se subdividió en tres subzonas (Norte, Centro y Sur). En la primera etapa, se contemplan tres embarcaciones en la zona cercana (una en cada subzona realizando lances de forma aleatoria dentro de las zonas de investigación) (Tabla 3). En la segunda etapa se contará con dos embarcaciones en cada zona, rotándose las zonas entre embarcaciones y considerando los resultados de los resultados de la fase piloto, se estimará la representatividad necesaria en cada zona.

Tabla 3. Distribución de los barcos participantes de la fase piloto dentro de las subzonas de la zona cercana de investigación.

Etapa	Subzona		
	Norte	Centro	Sur
1	Barco 1	Barco 2	Barco 3
2	Barco 2	Barco 3	Barco 1
	Barco 4	Barco 5	Barco 6

### 6.3.1.2 Zona profunda

La zona profunda se clasificó con base en la distribución batimétrica del camarón camellito y camarón camellón de 400 m y 1000–1200 m de profundidad, respectivamente. Esta zona se subdividió en 2 subzonas (Norte y Sur). En la primera etapa se contempla una embarcación en alguna de las dos zonas y en la segunda etapa, una embarcación en cada zona, intercambiándose entre sí (Tabla 4).

Tabla 4. Distribución de los barcos participantes de la fase piloto dentro de las subzonas de la zona lejana de investigación

Etapa	Subzona	
	Norte	Sur
1	Barco 7	
2	Barco 7	Barco 8

### 6.3.2 Duración de los lances

La duración óptima de los lances para la fase de investigación se determinará en la fase piloto. Inicialmente, se plantea la realización proporcional de lances de 1–2 h (25%), 3–4 h (50%) y 5 h (25%) para la zona cercana. Para la zona lejana, considerando la larga duración del calado y cobrado de hasta 90 minutos (*Pescadores de camarón camellón, comm. pers.*) se realizarán lances de 2–3 h (50%) y 3–4 h, siempre considerando el máximo de 4 h establecido previamente (INCOPELCA, 2017). Con los resultados obtenidos se realizarán las pruebas estadísticas pertinentes para establecer la duración máxima para para cada zona durante la fase de investigación. Adicionalmente, y en función de las necesidades del sector, dicha

información podrá utilizarse para definir una duración máxima de los lances, en caso de que la actividad comercial se reactive.

### ***6.3.3 Número de lances***

Inicialmente, se realizará el número de lances que la tripulación sea capaz de realizar. Una vez concluida la etapa piloto se realizarán las pruebas estadísticas pertinentes para determinar el número máximo de lances en la fase de investigación, así como los horarios óptimos para la pesca. El número máximo de lances se estimará con base en las abundancias relativas de camarón (en relación con la FACA) obtenidas durante la fase piloto, con la intención de evitar el sobreesfuerzo en el fondo bajo condiciones en las que es poco probable capturar a las especies objetivo.

### **6.4 Equipo para el muestreo a bordo**

Los técnicos a bordo de las embarcaciones llevarán consigo el equipo mínimo necesario para realizar el monitoreo de la captura y muestreos biológicos:

- Termómetros de -5° a 70°C.
- Ictiómetro
- Balanza con cap. de 120 kg (+/- 1 g)
- Cinta métrica
- Vernier
- Tinajas de 25 kg
- Cubetas de 5 kg (#12)
- Bolsas de plástico
- Tablas de campo
- Bitácora de muestreo
- Formatos de muestreo

## 6.5 Muestreos a bordo

Al inicio de cada crucero se usará el formato de viaje (

### FORMATO DE VIAJE



**Técnico:** Nombre completo del responsable técnico

**Clave Técnico:** Inicial del primer nombre + inicial del primer apellido (e.g., Juan Ramirez = JR)

**# de viaje del Técnico:** Número consecutivo de cada viaje registrado por el técnico.

**Clave de viaje:** Clave del técnico + Número de viaje (e.g. JR1)

#### 1. Control

Técnico	Clave observador	# de viaje del observador	Clave de viaje

#### 2. Embarcación

Nombre embarcación		Matricula		Licencia		Puerto base	
Eslora (m)	Potencia motor (Hp)	Tonelaje bruto (t)	Tonelaje neto (t)	Sistema de refrigeración			

#### 3. Arte de pesca

Tipo de red	Tamaño malla alas (pulgadas)	Tamaño malla copo (pulgadas)	Tipo DET	Tipo DEP	Doble relinga	Longitud relinga inferior (pies)	Longitud relinga superior (pies)
Observaciones del arte de pesca:							

#### 4. Viaje

Puerto de salida	Fecha de salida (dd/mm/aa)	Fecha de suspensión	Motivo de suspensión	Fecha de reinicio	Fecha de llegada a puerto	Puerto desembarque
Observaciones del viaje:						

Figura 4). El cual, está dividido en 4 secciones y algunas instrucciones para su llenado se encuentran en el recuadro de la esquina superior derecha.

1. Control. En esta sección se registra la información que permite identificar a cada viaje dentro de la base de datos.
2. Embarcación. En esta sección se identifica y caracteriza la embarcación en la que se realizó el viaje.
3. Arte de pesca. En esta sección se describen las características específicas del arte de pesca utilizado durante ese viaje, que puede cambiar de un viaje a otro en la misma embarcación.
4. Viaje. En esta sección se especifica la duración total y efectiva del viaje, así como los motivos de suspensión en caso de haberla y se registran observaciones específicas del viaje (averías, particularidades, malfuncionamiento, trabajo a bordo, etc.).

### FORMATO DE VIAJE



**Técnico:** Nombre completo del responsable técnico

**Clave Técnico:** Inicial del primer nombre + inicial del primer apellido (e.g., Juan Ramírez = JR)

**# de viaje del Técnico:** Número consecutivo de cada viaje registrado por el técnico.

**Clave de viaje:** Clave del técnico + Número de viaje (e.g. JR1)

#### 1. Control

Técnico	Clave observador	# de viaje del observador	Clave de viaje

#### 2. Embarcación

Nombre embarcación		Matricula		Licencia		Puerto base	
Eslora (m)	Potencia motor (Hp)	Tonelaje bruto (t)	Tonelaje neto (t)	Sistema de refrigeración			

#### 3. Arte de pesca

Tipo de red	Tamaño malla alas (pulgadas)	Tamaño malla copo (pulgadas)	Tipo DET	Tipo DEP	Doble relinga	Longitud relinga inferior (pies)	Longitud relinga superior (pies)
<b>Observaciones del arte de pesca:</b>							

#### 4. Viaje

Puerto de salida	Fecha de salida (dd/mm/aa)	Fecha de suspensión	Motivo de suspensión	Fecha de reinicio	Fecha de llegada a puerto	Puerto desembarque
<b>Observaciones del viaje:</b>						

Figura 4. Representación gráfica del formato de viaje. Los formatos se adjuntan en formato pdf al envío de este documento.

Por su parte, en cada lance, es indispensable llenar un formato de lance, independientemente de si hubo captura o no (



FORMATO DE LANCE

<b>Clave de viaje:</b> Asignada en el formato de viaje (e.g. JR1) <b>Pesca objetivo:</b> Pinky / Fidel / Camellón / Camellito <b>Fecha:</b> dd/mm/aa <b># de lance:</b> Consecutivo del mismo viaje <b>Clave de lance:</b> Clave de viaje + # de lance + 2 dígitos del año (JR1123)	<b>Prof. (br):</b> Profundidad (promedio de arrastre) en brazas <b>Sedimento:</b> Cuando esté disponible usar una descripción concreta (lodo, arena, grava, etc). <b>TSM:</b> Temperatura superficial del mar en grados centígrados <b>Camarón (kg):</b> Total de captura de camarón en kilogramos (Especificar porcentaje de: P=Pinky, F=Fidel, Co: Camellito, CR=Camello real o camellón, Ch=Chicharra, Col=Cojiniza, Otras: Especies no contempladas). <b>FACA (kg):</b> Total de captura de camarón en kilogramos
---	---

Clave de viaje:			Pesca objetivo:		Fecha:		# de lance:				Clave de lance:	
Prof. (br):	Mín.:	Máx.:	Zona:	Caladero:	TSM:	Velocidad (kn):	Camarón total (kg):				FACA total (kg):	
							P:	F:	Co:	CR:	Descarte (kg):	Comercial (kg):
<b>Sedimento:</b>			<b>Inicio del calado</b>	<b>Final del calado</b>	<b>Inicio del cobrado</b>	<b>Final del cobrado</b>	<b>Ch:</b>	<b>Col:</b>	<b>Otras:</b>	<b>Observaciones</b> (Tipo de sedimento/Duración efectiva, malfuncionamiento, Detalles particulares):		
Hora (e.g., 14:25)												
Latitud (e.g., 9,32584°)												
Longitud (e.g., -84,29462°)												

Clave de viaje:			Pesca objetivo:		Fecha:		# de lance:				Clave de lance:	
Prof. (br):	Mín.:	Máx.:	Zona:	Caladero:	TSM:	Velocidad (kn):	Camarón total (kg):				FACA total (kg):	
							P:	F:	Co:	CR:	Descarte (kg):	Comercial (kg):
<b>Sedimento:</b>			<b>Inicio del calado</b>	<b>Final del calado</b>	<b>Inicio del cobrado</b>	<b>Final del cobrado</b>	<b>Ch:</b>	<b>Col:</b>	<b>Otras:</b>	<b>Observaciones</b> (Tipo de sedimento/Duración efectiva, malfuncionamiento, Detalles particulares):		
Hora (e.g., 14:25)												
Latitud (e.g., 9,32584°)												
Longitud (e.g., -84,29462°)												

Figura 5). Cada hoja permite el registro de 2 lances. En cada formato de lance se especifica:

- 1) La clave del viaje (para mantener la conexión con el viaje en la base de datos y las instrucciones se encuentran en el recuadro de la esquina superior izquierda).
- 2) La pesca objetivo (es decir, que tipo de camarón se estaba buscando en esa zona).
- 3) La fecha del lance (que puede repetirse a lo largo de varios lances).
- 4) El número consecutivo del lance durante el viaje.
- 5) La clave del lance (para mantener la con las capturas y biometrías en la base de datos y las instrucciones se encuentran en el recuadro de la esquina superior izquierda).
- 6) La profundidad (mínima y máxima) de arrastre, en brazas (br).
- 7) La zona (profunda-norte, profunda-sur, somera-norte, somera-centro, somera-sur).
- 8) La temperatura superficial del mar (TSM) que podrá medirse tomando una muestra de agua en una cubeta y usando el termómetro.

- 9) En la pesca de arrastre es importante registrar la hora y las coordenadas geográficas en cuatro momentos:
- i. Al inicio del calado (cuando la red cae al agua).
  - ii. Al final del calado (cuando la red alcanza la profundidad deseada).
  - iii. Al inicio del cobrado (cuando termina el arrastre y se inicia la recuperación de la red).
  - iv. Al final del cobrado (cuando las tablas salen del agua).
- 10) La captura en kg de camarón total (este dato se llena al final, una vez que se obtuvo la estimación). Esta estimación puede realizarse con el peso promedio de los costales/jabas/canastas almacenadas, multiplicado por su número. El resultado deberá multiplicarse, a su vez, por el factor de conversión necesario para estimar el peso fresco a partir del peso descabezado. Es importante mencionar que por camarón se entienden todas las especies que lo componen y por lo tanto, será necesario especificar el porcentaje que representa cada especie dentro de la captura de camarón.
- 11) La estimación del total de la FACA, así como el peso de la FACA comercial y la FACA descarte (este dato se llena al final después de llenar el formato de capturas (Figura 6).
- 12) Observaciones: En este apartado se pueden registrar observaciones específicas cuando existan como, el tipo de sedimento, en caso de que sea posible detectarlo (lodo, arena, conchas, etc.), la duración efectiva de los lances, registros de malfuncionamiento u otro que pudiera ser relevante de considerar durante el análisis.

FORMATO DE LANCE

**Clave de viaje:** Asignada en el formato de viaje (e.g. JR1)

**Pesca objetivo:** Pinky / Fidel / Camellón / Camellito

**Fecha:** dd/mm/aa

**# de lance:** Consecutivo del mismo viaje

**Clave de lance:** Clave de viaje + # de lance + 2 dígitos del año (JR1123)

**Prof. (br):** Profundidad (promedio de arrastre) en brazas

**Sedimento:** Cuando esté disponible usar una descripción concreta (lodo, arena, grava, etc).

**TSM:** Temperatura superficial del mar en grados centígrados

**Camarón (kg):** Total de captura de camarón en kilogramos (Especificar porcentaje de: P=Pinky, F=Fidel, Co= Camellito, CR=Camello real o camellón, Ch=Chicharra, Col=Cojindra, Otras: Especies no contempladas).

**FACA (kg):** Total de captura de camarón en kilogramos

Clave de viaje:			Pesca objetivo:		Fecha:		# de lance:				Clave de lance:	
Prof. (br):	Mín.:	Máx.:	Zona:	Caladero:	TSM:	Velocidad (kn):	Camarón total (kg):				FACA total (kg):	
							P:	F:	Co:	CR:	Descarte (kg):	Comercial (kg):
Sedimento:			Inicio del calado	Final del calado	Inicio del cobrado	Final del cobrado	Ch:	Col:	Otras:			
Hora (e.g., 14:25)							Observaciones (Tipo de sedimento/Duración efectiva, malfuncionamiento, Detalles particulares):					
Latitud (e.g., 9,32584°)												
Longitud (e.g., -84,29462°)												

Clave de viaje:			Pesca objetivo:		Fecha:		# de lance:				Clave de lance:	
Prof. (br):	Mín.:	Máx.:	Zona:	Caladero:	TSM:	Velocidad (kn):	Camarón total (kg):				FACA total (kg):	
							P:	F:	Co:	CR:	Descarte (kg):	Comercial (kg):
Sedimento:			Inicio del calado	Final del calado	Inicio del cobrado	Final del cobrado	Ch:	Col:	Otras:			
Hora (e.g., 14:25)							Observaciones (Tipo de sedimento/Duración efectiva, malfuncionamiento, Detalles particulares):					
Latitud (e.g., 9,32584°)												
Longitud (e.g., -84,29462°)												

Figura 5. Representación gráfica del formato de lance. Los formatos se adjuntan como pdf al envío de este documento.

### 6.5.1 Determinar la proporción de la captura

Una vez que la captura de las dos redes se deposita en cubierta, se procede con: la ubicación y toma de información de especies como condriictios y aquellas con importancia comercial. Posteriormente con la extracción y descabezado del camarón, separándose del resto de la fauna de acompañamiento (FACA). La FACA se separará por morfoespecies, se contabilizará el número de organismos por especie y se pesa (agrupando los organismos en jabas o canastas). Esta información será registrada en el formato de capturas (Figura 6). Es de suma importancia que se registre la clave del lance para mantener la conexión con los datos de lance, y los nombres científicos y comunes al máximo nivel taxonómico posible, considerando que esta identificación mejorará con el tiempo y el aumento de los muestreos biológicos. Este formato permite identificar la proporción de FACA comercial y FACA descartada.

Para su identificación precisa en laboratorio, se tomará una muestra aleatoria de 5 a 10 kg de FACA de forma que una gran proporción de las especies capturadas estén





## 7. ANÁLISIS DE DATOS

Toda la información colectada en los cruceros sobre la biología pesquera captura y FACA, será almacenada en una base de datos diseñada con base en los formatos de muestreos. La base de datos será codificada, verificada y validada periódicamente para identificar datos incorrectos o aberrantes. La gestión de la base de datos se realizará por medio de hojas de cálculo de Excel ® y el software estadístico R.

### 7.1 Representatividad de la muestra

Se generará una curva acumulada de especies mediante un programa informático Matlab ® para remuestrear la riqueza de especies. Se utilizarán 200 remuestreos Bootstrap de viajes de pesca seleccionados al azar para calcular una media y una desviación estándar de las especies (Ferry & Cailliet, 1996). La curva acumulada de especies representa el ritmo promedio en la que se van encontrando las especies por viaje de pesca. La parte inicial de la curva presenta un incremento abrupto, representando la fase de ocurrencia de las especies por primera vez en las capturas. Posteriormente, la curva tiende a estabilizarse proyectando un promedio de especies nuevas cada vez menor, sugiriendo que se ha alcanzado la mayor riqueza dado el incremento en los viajes de pesca. Para definir cuando la riqueza de especies se ha alcanzado, consideraremos que el número de viajes representa el 95% de las especies totales registradas.

### 7.2 Composición específica de la captura y FACA

Se examinará los datos de la FACA por mes, ubicación espacial y profundidad. Se construirán histogramas de frecuencia para comprender su estructura en el paso del tiempo y los posibles cambios en las proporciones. En ese sentido, se prestará especial atención a la composición específica de la biología de las especies objetivo y de aquellas especies en peligro, amenazadas o protegidas, para identificar su distribución y abundancia y así poder considerar la definición de áreas de exclusión de arrastre. En función de las características de los datos, será posible considerar enfoques que consideren múltiples variables (explicativas o respuesta) para mejorar la comprensión sobre los procesos ecológicos que afectan al ecosistema en su conjunto.

### 7.3 Estructura de la población

#### **7.3.1 Proporción sexual**

La proporción de sexos será calculada a partir de los conteos del número de machos y hembras de las especies que presentaron dicha información. Se utilizará la prueba de  $\chi^2$  utilizando un nivel de significancia del 5% ( $\alpha = 0,05$ ) para determinar si dicha proporción es estadísticamente diferente del valor esperado de 1H: 1M.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^2 \frac{(obs - esp)^2}{esp}$$

Donde *obs* es la frecuencia observada y *esp* es la frecuencia esperada.

Se realizará el mismo procedimiento a través de los diferentes niveles del factor año y mes.

#### **7.3.2 Distribución de frecuencia de longitudes**

Las longitudes obtenidas en los muestreos se examinarán utilizando diferentes factores como criterio estadístico. Se construirán histogramas de frecuencia por cada mes considerando la profundidad y el área de muestreo. La amplitud del intervalo de clase se definirá de acuerdo con la distribución de los datos. Se realizarán pruebas estadísticas para valorar la aplicación de un enfoque paramétrico o no paramétrico según corresponda. En todo caso, la distribución de frecuencia de longitudes será también comparada entre sexo. Debido a que a bordo es virtualmente imposible registrar los pesos de los individuos con precisión debido al movimiento del barco, los pesos se obtendrán de los análisis en laboratorio. El análisis de frecuencia de longitudes se realizará para todas las especies objetivo. Al final de la temporada, el análisis de frecuencia de longitudes nos permitirá identificar algún posible patrón de crecimiento destacando los grupos modales dentro de cada distribución de frecuencia. Asimismo, se analizará la estructura de longitudes considerando la fase de madurez de cada sexo para todas las especies. Este análisis nos permitirá conocer cuál es la proporción de cada fase de madurez en la muestra y a su vez nos permitirá hacer inferencias sobre su distribución espacio temporal.

Utilizando las longitudes y las posiciones geográficas de los lances se construirán mapas temáticos que permitan conocer cuál es la distribución espacial batimétrica de las

tallas en el tiempo. Para examinar el cambio en las tallas promedio mensuales para cada una de las especies, se utilizará un modelo aditivo generalizado que nos permita incorporar factores que pudieran influenciar en la estimación de la talla media (Zamora-García *et al.*, 2020).

## 7.4 Dinámica poblacional

### **7.4.1. Crecimiento**

Con el fin de describir el crecimiento individual, se empleará la progresión modal de la distribución de frecuencias de longitudes, ya que la estimación de la edad en crustáceos resulta complicada debido a la falta de estructuras duras confiables y de fácil acceso. Con el método de progresión modal es posible obtener las longitudes promedio de cada mes asignándole un valor de edad relativa que nos permita estimar el coeficiente de crecimiento ( $k$ ) y la longitud máxima teórica ( $L_{\infty}$ ). De este modo, es posible proyectar el crecimiento individual hacia adelante en el tiempo, aunado a retro-calcular tallas a edades más tempranas de las disponibles en la muestra. Se explorarán algunos modelos alternativos para describir el crecimiento los cuales logren captar los cambios en el patrón de crecimiento y son comúnmente aplicados a crustáceos debido a sus mudas (*e. g.*, modelos oscilatorios). La estimación de los parámetros de crecimiento se realizará ajustando el modelo a tallas promedios y edades relativas y se reportarán incluyendo sus intervalos de confianza al 95%. Los modelos a probar serán el modelo de crecimiento convencional de von Bertalanffy con sus modificaciones para incluir el crecimiento oscilatorio (por estaciones) (Picher & Macdonald, 1973), y el modelo de Gompertz. Este último por considerarlo más flexible.

El modelo de crecimiento de von Bertalanffy (Bertalanffy 1935):

$$L_t = L_{\infty}(1 - \exp^{-k(t-t_0)})$$

Donde  $L_{\infty}$  es la longitud máxima teórica que puede alcanzar el individuo,  $k$  es el coeficiente de crecimiento y  $t_0$  es la edad teórica cuando la longitud  $L$  es igual a 0.

El modelo de Gompertz (Ricker, 1975) utilizado fue con un parámetro adicional  $t_i$  que representa el punto de inflexión en el crecimiento:

$$L_t = L_{\infty} \exp(-\exp^{-k(t-t_i)})$$

#### **7.4.2 Proporción de madurez y periodo reproductivo**

En lo que respecta a la reproducción, se utilizarán los datos asignados de las fases de madurez y las longitudes observadas (ver Apéndice 1). Con las fases de madurez codificadas podremos estimar la proporción de organismos maduros para cada especie y la longitud a la cual la mitad de la población ha madurado ( $L_{50\%}$ ). Para ello, se utilizará un análisis de regresión logística binaria, la cual utiliza datos pareados de madurez en hembras: [inmaduras, 0 (estadios I, y II) y maduras, 1 (estadios III, IV y V)] y en machos [inmaduros, 0 (estadio I) y maduros, 1 (estadio II)] y la longitud respectiva. Los datos son ajustados por la función logística:

$$Pm = \frac{1}{1 + \exp(- (L - L_{50\%})/\phi)}$$

Donde  $Pm$  es la proporción de organismos maduros a una longitud  $L$ ,  $L_{50\%}$  es la mediana de la función y representa la talla en la que la mitad de los individuos han alcanzado la madurez y  $\phi$  representa la inclinación de la función y es obligadamente positiva. El ajuste del modelo a los datos y la estimación de los intervalos de confianza de los coeficientes y del modelo será implementado en la plataforma de análisis R.

Por su parte, los datos de madurez se graficarán de manera mensual para detectar los incrementos porcentuales en la actividad reproductiva y poder determinar picos reproductivos, que en lo sucesivo permitan la protección del periodo reproductivo a través de vedas temporales.

#### **7.4.3 Mortalidad.**

Para estimar la mortalidad total ( $Z$ ) de la población se utilizarán tres métodos basados en longitudes, los cuales han sido ampliamente recomendados por la FAO (Sparre & Venema, 1998). Este tipo de métodos se utilizan cuando no existen información precisa sobre la edad ni la mortalidad natural ( $M$ ).

1) Se utilizará el método de curva de captura linealizada basada en talla, el cual permite determinar el coeficiente de  $Z$  que resulta de una regresión lineal entre el logaritmo natural de la frecuencia ( $y$ ) y los intervalos de la frecuencia de longitudes observadas ( $x$ ).

$$\text{Ln}\left(\frac{C(L_1, L_2)}{\Delta t(L_1, L_2)}\right) = c - b(t_{Lm})$$

Donde, C es la frecuencia de individuos del intervalo de clase longitud  $L_1+L_2$ ,  $\Delta t$  es la amplitud del intervalo de clase longitud  $(L_1+L_2)/2$ ,  $t_{Lm}$  es el promedio del intervalo de clase de longitud  $L_m = (L_1+L_2)/2$ . El valor absoluto de la pendiente  $b$  es  $Z$  ( $Z = |b|$ ).

2) Se aplicará el método de curva de captura acumulada de Jones y van Zalinge (1981). Este método relaciona linealmente el logaritmo natural de la captura acumulada de individuos  $\text{Ln}(CC_{\Delta L})$  de un rango de longitudes ( $\Delta L$ ) de  $L$  a  $L_{\infty}$ :

$$\text{Ln}(CC_{L, L_{\infty}}) = a + \left(\frac{Z}{k}\right) \text{Ln}(L_{\infty} - L)$$

En esta condición lineal  $a$  es el intercepto y la pendiente  $b = Z/K$ . El valor de  $Z$  se obtiene despejando la pendiente de tal modo que  $Z = k(b)$ .

3) Complementariamente, se estimará  $Z$  con la ecuación propuesta por Beverton y Holt (1956):

$$Z = k \left( \frac{L_{\infty} - L_{med}}{L_{med} - L_{pc}} \right)$$

Donde  $Z$  es el coeficiente instantáneo de mortalidad total,  $k$  es el coeficiente de crecimiento de la función de von Bertalanffy,  $L_{\infty}$  es la longitud máxima teórica de la función de von Bertalanffy y  $L_{pc}$  es la longitud de primera captura.

### 7.5 Distribución y abundancia relativa

La distribución y abundancia de las especies cambia con el tiempo y el espacio debido a su dinámica poblacional y en respuesta a las condiciones ambientales (Ciannelli *et al.*, 2008). Por ello, los indicadores de abundancia relativa como la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) requieren de un proceso de estandarización, en el cual se estima el efecto de las covariables (tecnológicas y ambientales) y se anula, de tal forma que es posible obtener una CPUE estandarizada (*i.e.* libre de dichos efectos confusos) que pueda representar la variación real de la abundancia relativa en términos temporales (y espaciales) (Maunder & Punt, 2004).

Los enfoques principales en la estandarización de CPUE y con ello los modelos de distribución de especies son los modelos lineales (GLM) y aditivos generalizados (GAM), particularmente cuando incorporan la autocorrelación espacial en el proceso de estimación y predicción. Se conocen como modelos espacialmente explícitos (Guisan *et al.*, 2002). Los modelos espacialmente explícitos se han utilizado en pesquerías de arrastre para identificar zonas de alta incidencia de fauna acompañante (Pennino *et al.*, 2014), zonas de reclutamiento (Izquierdo *et al.*, 2021) o zonas de distribución y abundancia de especies de interés comercial (Zamora-García, 2021) entre muchas otras aplicaciones en pesquerías.

El enfoque más adecuado para el ajuste de modelos espacialmente explícitos es el Bayesiano. Sin embargo, debido a la alta complejidad de los cálculos numéricos necesarios para la estimación de parámetros por medio de cadenas de Markov de Montecarlo (MCMC), una alternativa eficiente es la aplicación de las Aproximaciones Integradas de Laplace Anidadas (INLA, por sus siglas en inglés) que ha demostrado resultados comparables con el enfoque de MCMC (Held *et al.*, 2010). La aplicación del enfoque INLA es apropiado para la predicción de distribución de la especie objetivo, de fracciones críticas de su población, así como para la probabilidad de presencia de especies en riesgo, amenazadas o protegidas. Este proceso es implementado gracias al paquete R-INLA<sup>1</sup>

### 7.5.1 Modelos Latentes Gaussianos

Los modelos GAM y GLM son un subconjunto de los Modelos Latentes Gaussianos. En ellos, se supone que la variable respuesta tiene una distribución probabilística que puede ser, por ejemplo: binomial, lognormal o normal, y que la media se relaciona con un predictor a través de una función de enlace. Por su parte, el predictor puede contemplar el efecto de varias variables aditivamente estructuradas:

$$n_i = \alpha + \sum_{j=1}^{n_f} f^{(j)}(U_{ji}) + \sum_{k=1}^{n_\beta} \beta_k Z_{ki} + \epsilon_i$$

Donde  $\alpha$  representa el intercepto, el segundo término representa la sumatoria de las relaciones desconocidas  $\{f^{(\cdot)}(\cdot)\}$  de las covariables  $U$  que pueden tomar cualquier forma, el

---

<sup>1</sup> R-INLA Project [Disponible en: <https://www.r-inla.org/>, visitado el 23 de mayo de 2023].

tercer término representa la sumatoria de las relaciones lineales  $\{\beta_k\}$  de las covariables  $Z$  y  $\epsilon_i$  es el error entre el predictor y la variable respuesta  $y_i$  (Rue *et al.*, 2009). Las funciones  $f(\cdot)$  permiten incorporar efectos aleatorios específicos y generar modelos con dependencia temporal y espacial. La dependencia espacial puede ser considerada una covariable a través de una función  $f(\cdot)$  y una covariable espacial  $u$  de tal forma que  $f(u_s) = f_s$ , donde  $s$  representa la localización espacial o la región  $s$  (Rue *et al.*, 2009).

Estos modelos permiten incorporar el efecto de las variables ambientales (profundidad, temperatura), la hora del día, mes o año, así como variables asociadas con el esfuerzo (tipo de red, luz de malla, *etc.*) considerando la autocorrelación espacial (o espacio-temporal) para estandarizar variables de interés como la CPUE de camarón, la proporción FACA: Camarón o la presencia/ausencia de especies de interés para la conservación y con ello realizar predicciones en un contexto probabilístico a través del enfoque Bayesiano.

### **7.5.2 Selección del mejor modelo**

Debido a la flexibilidad de los modelos latentes Gaussianos, es posible incorporar el efecto de la variación ambiental, de la observación y en las unidades de pesca, contemplando la dependencia espacial supuesta entre organismos que tienen hábitos gregarios (Zamora-García, 2021). La cantidad de permutaciones de variables relevantes para describir de mejor manera la distribución y abundancia puede ser muy alta, en función de la cantidad de variables consideradas. Por ello, se usará el Criterio de Información de Watanabe-Akaike (WAIC) (Watanabe, 2010) para evaluar la parsimonia y la capacidad predictiva de cada modelo. Alternativamente, se utilizará el enfoque del logaritmo medio de ordenada predictiva condicional (LCPO), con base en el método “leave-one-out” como indicador de la capacidad predictiva (Izquierdo *et al.*, 2021).

### **7.5.3 Predicción por interpolación (Kriging) Bayesiana**

El módulo SPDE de INLA permite cubrir el área de estudio con triangulaciones de Delaunay, optimizando la cantidad y complejidad de los cálculos necesarios para la interpolación espacial (Lindgren *et al.*, 2011). Bajo este enfoque, las observaciones se usan como vértices de la triangulación para después agregar nuevos vértices y minimizar el número necesario para cubrir la región de interpolación. Al conjunto de triángulos que cubren la región, se le

conoce como “malla” (Muñoz *et al.*, 2012). En la malla se consideran los vértices vacíos como datos faltantes y, por lo tanto, supone que la misma relación entre las variables predictoras y respuesta se mantiene en ellos.

### 7.6 Distribución batimétrica

En caso de que la batimetría (profundidad) sea relevante en la distribución o abundancia de las especies objetivo, u otras especies de interés, los valores predichos a través del método de Kriging Bayesiano se utilizarán para predecir la ocurrencia en los diferentes estratos batimétricos (definidos en función de los datos), como se muestra, a modo de ejemplo en la

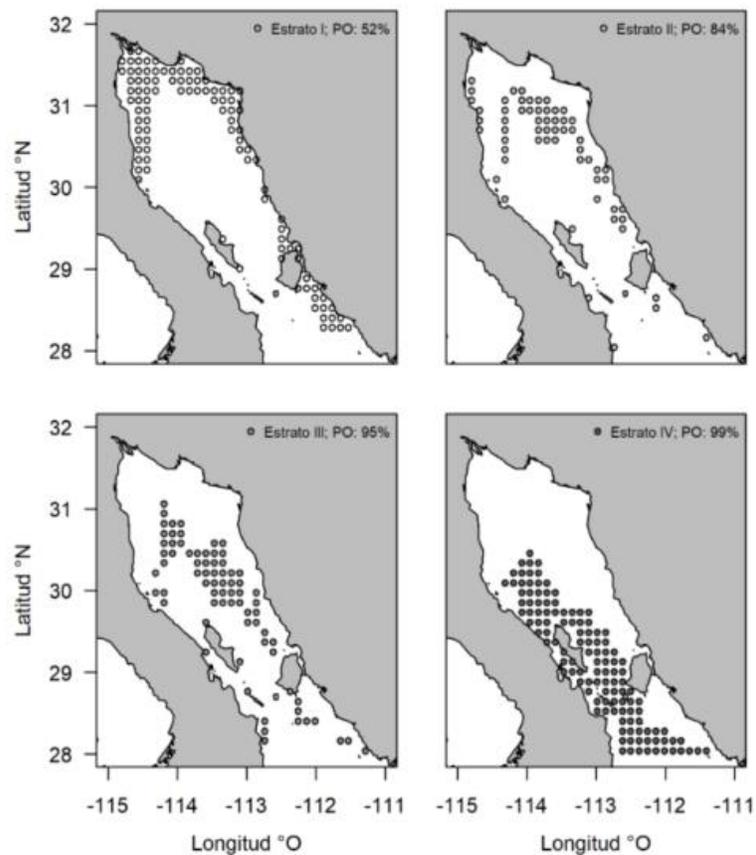


Figura 8. Probabilidad de ocurrencia de merluza norteña en diferentes estratos de profundidad. Fuente: Zamora-García, 2021.

Alternativamente al método planteado anteriormente, se estimará la distribución batimétrica de las especies por medio de un análisis de regresión logística multinomial. Este tipo de análisis permite utilizar variables categóricas (las especies) y variables continuas como predictores (profundidad). La estimación de los coeficientes de la regresión logística

multinomial permite determinar la probabilidad de encontrar a cada una de las especies  $j$  en función de su batimetría  $x$ . Dichas probabilidades son obtenidas después de haber seleccionado una categoría de referencia por medio de:

$$\log\left(\frac{\pi_j}{\pi_c}\right) = \alpha_j + \beta_j x, j=1, \dots, c-1$$

el modelo tendrá  $c-1$  ecuaciones, con sus respectivos parámetros y los efectos varían de acuerdo con la categoría comparada contra la categoría de referencia. La ecuación tiene la forma  $\alpha + \beta x$  con el coeficiente  $\alpha = (\alpha_1 - \alpha_2)$  y la pendiente  $\beta = (\beta_1 - \beta_2)$ .

### 7.7 Evaluación del stock

Dado que la pesquería está reiniciando después de una suspensión por cinco años, consideramos que en esta etapa es necesario comprender la dinámica de la población y de la pesquería para diseñar una evaluación de stock que complemente el manejo de la pesquería. En esta etapa se considera la construcción de un modelo predictivo de análisis de población virtual (APV), estructurado por tallas y sexos, que nos permita conocer la biomasa (capturas) y su respuesta ante las variantes mensuales y temporales que ejerza la pesca para cada caladero y profundidad, tomando como base las estimaciones de mortalidad por pesca ( $F$ ) derivados de los datos que se generen en este proyecto. El modelo predictivo de Thompson-Bell y el modelo de cohortes de Jones son herramientas complementarias que permiten incorporar información disponible de la pesquería y el stock (Sparre & Venema, 1998).

El modelo de Jones permitirá estimar la mortalidad por pesca ( $F$ ) partiendo de la distribución de frecuencia de longitudes. La estimación puede ser adaptada a factores de interés como tiempo y espacio. El método permite calcular el número de individuos por clases de longitud con la fórmula:

$$N_{L1} = (N_{L2} H_{1-2} + H_{1-2})(C_{1-2})$$

Donde  $N_{L1}$  y  $N_{L2}$  es el número de individuos al inicio y final del intervalo de longitud,  $C_{1-2}$  es la captura de un intervalo de longitudes, y  $H_{1-2}$  es el factor de mortalidad natural para un intervalo de longitudes,  $M$  es la tasa de mortalidad y  $K$  es el coeficiente de crecimiento de von Bertalanffy:

$$H_{1-2} = \left( \frac{L_{\infty} - L_1}{L_{\infty} - L_2} \right)^{M/2K}$$

La tasa de explotación  $E$  se calcula con la siguiente formula:

$$E = \left( \frac{C_{1-2}}{N_{L1} - N_{L2}} \right)$$

y la mortalidad por pesca  $F$  está dada por:

$$F = \left( \frac{F/Z_{L1-2}}{1 - F/Z_{L1-2}} \right)$$

Obviando detalles de la descripción matemática del procedimiento, este mismo método nos permitirá conocer el valor virtual del tamaño de la población de cada especie en la temporada, la tasa de explotación, la captura esperada (en número y en peso), y la biomasa producida por el stock.

### 7.8 Plataformas de análisis de datos

Todos los análisis se realizarán usando MS-Excel®, Minitab y ambientes de programación como R, Matlab y WinBugs y los distintos paquetes adicionales.

## **8. ESTRATEGIA DEL PROYECTO**

### 8.1 Resultado esperados

#### 8.1.1 Fase piloto

- a) Identificación del área de pesca y los caladeros de mayor uso.
- b) Identificación de la duración óptima de los lances.
- c) Identificación de los horarios óptimos de pesca.
- d) Identificación del número de lances mínimo necesario.

### 8.1.2 Fase de investigación

- a) Descripción de la composición específica de la captura en la pesquería de camarón, variando por especies objetivo.
- b) Detección de especies en peligro, amenazadas o protegidas (ETP, por sus siglas en inglés) que requieren atención especial.
- c) Estimación de la abundancia relativa y su variación espaciotemporal.
- d) Estimación de la proporción FACA: Camarón para las distintas especies y su variación espaciotemporal.
- e) Conocimiento de la estructura poblacional de las especies impactadas.
- f) Obtener la línea base del estado de los stocks de camarón tras la recuperación de la comunidad.
- g) Estimación de puntos de referencia biológicos y pesqueros para el manejo de la pesquería de camarón en el Pacífico Costarricense.

## 9. APLICACIÓN PRÁCTICA DE LOS RESULTADOS

### 9.1 Resultado de los muestreos

**A corto plazo:** Se complementará el entendimiento del ciclo de vida, el monitoreo de la estructura de la población (tallas, sexos, madurez) y el monitoreo de la abundancia y distribución; crecimiento poblacional e individual, mortalidad, reclutamiento y varios aspectos reproductivos. **A mediano plazo:** Se podrá comparar la última temporada contra temporadas anteriores en términos de la estructura de la población, su abundancia relativa y FACA. **A largo plazo:** Con la información suficiente sobre la abundancia relativa, se podrá realizar una evaluación del stock, examinar la tendencia de la abundancia y la distribución de las especies objetivo y establecer puntos de referencia para el manejo de la pesquería. Dichos puntos de referencia pueden ser adaptativos debido a la dinámica de la flota y de los efectos del cambio climático.

### 9.2 FACA

Por lo general, las pesquerías de arrastre de camarón son multi-específicas tanto de las especies objetivo como por la captura incidental llamada FACA. Los usos y costumbres de las pesquerías de camarón han adaptado el aprovechamiento de otras especies de escama que inevitablemente inciden en las capturas y de las cuales se obtiene un beneficio económico por parte de cada sector; el social e industrial. La FACA puede ser un índice que sirva como mecanismo complementario para el control de la pesquería (Zamora-García, 2015).

El proceso completo de registro de información, metodología de análisis, así como resultados y conocimiento esperado se detallan en la Figura 9.

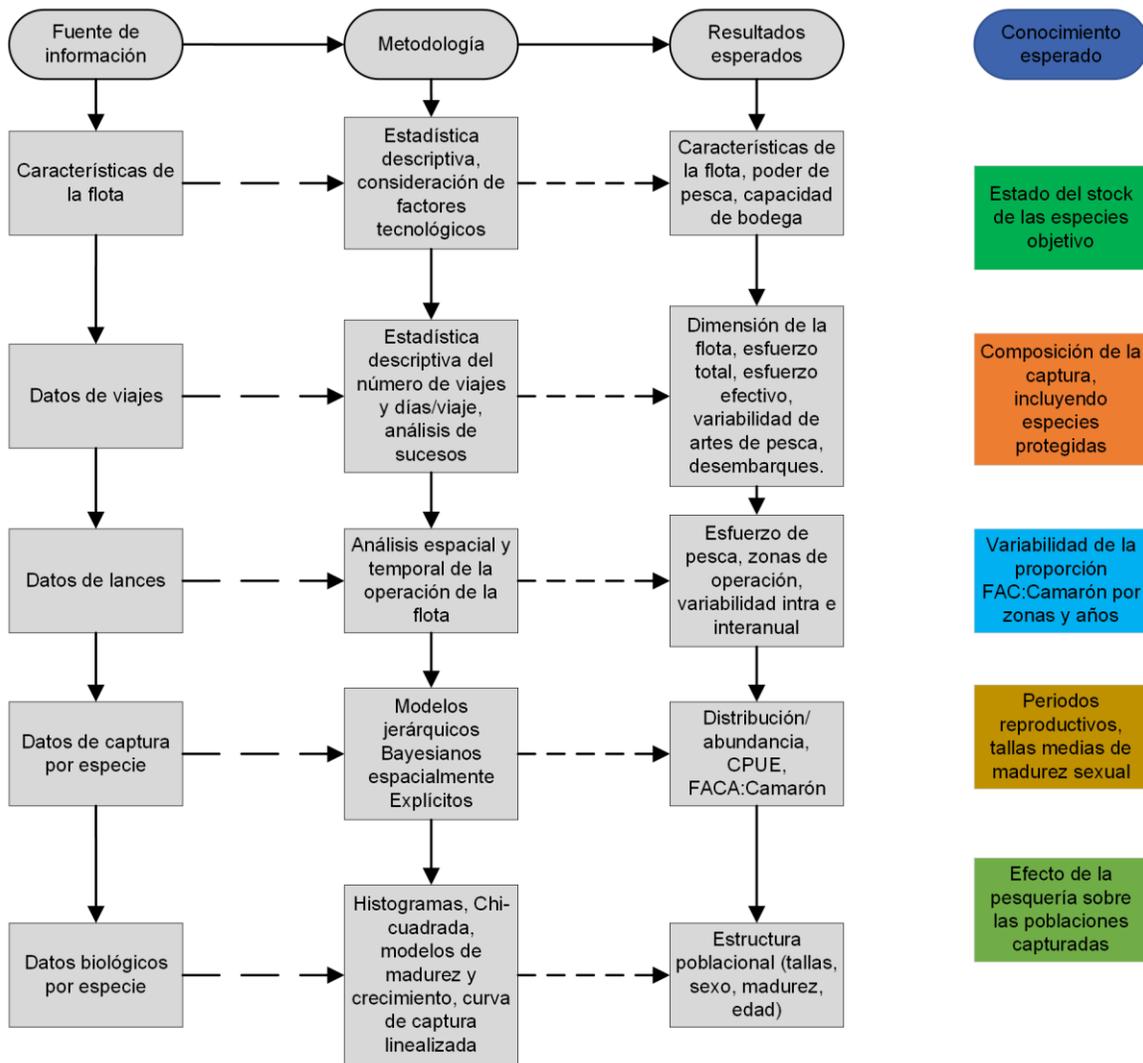


Figura 9. Estrategia del proyecto en términos de fuentes de información requeridas, metodologías de análisis planeadas, resultados y conocimiento esperados al término de la fase de investigación.

## 10. SIGUIENTES PASOS

Una vez culminada la fase piloto será necesario realizar un análisis de los datos preliminares obtenido para definir:

- ✓ Número mínimo de lances a monitorear durante un viaje. Esto con la intención de generar información representativa que sea factible en términos de tiempo y desgaste de los técnicos a bordo.
- ✓ Duración máxima de los lances.
- ✓ Número máximo de lances durante el día.
- ✓ Especies prioritarias para el registro y recolección de muestras.
- ✓ Definición de sitios prioritarios para el monitoreo.
- ✓ Adecuaciones tecnológicas necesarias para optimizar la operación de los artes de pesca.

Por su parte, con la intención de poder capturar, almacenar, consultar y analizar la información producto del proyecto de investigación se recomienda:

- ✓ Diseñar un sistema de base de datos que permita la captura y consulta de información referente al proyecto de investigación de forma consistente, rápida y segura.

## 11. REFERENCIAS

- Angulo, W & Madrid, N. (2002). Evaluación biológico-pesquera del recurso camarón de aguas profundas en el Pacífico Colombiano. Marzo 2001 – febrero 2002. Inf. Técn. Agropesquera Bahía Cupica Ltda, Buenaventura. 70 p
- Arana, P., Álvarez-Pérez, J. A., & Pezzuto, P. R. (2009). Deep-sea fisheries off Latin America: an introduction. *Latin American Journal of Aquatic Research* (3), 281–284. <https://doi.org/10.3856/vol37-issue3-fulltext-1>
- Araya, H., Vásquez, A. R., Marín, B., Palacios, J.A., Soto, R. L., Mejía, F., Shimazu, Y., & Hiramatsu, K. (2007). Reporte del comité de evaluación de los recursos pesqueros No. 1 / 2007. Proyecto “Manejo sostenible de la pesquería para el Golfo de Nicoya, Costa Rica”. Puntarenas, Costa Rica: INCOPECA-UNA- JICA.
- Babcock, E. A., Pikitch, E. K., & Hudson, C. (2011). How much observer coverage is enough to adequately estimate bycatch? [https://www.researchgate.net/publication/267378274\\_How\\_much\\_observer\\_coverage\\_is\\_enough\\_to\\_adequately\\_estimate\\_bycatch#:~:text=If%20the%20observer%20samples%20are,good%20estimates%20of%20total%20bycatch.](https://www.researchgate.net/publication/267378274_How_much_observer_coverage_is_enough_to_adequately_estimate_bycatch#:~:text=If%20the%20observer%20samples%20are,good%20estimates%20of%20total%20bycatch.)
- Barrantes, W., Flores, W., Benavides, C., & Mejía, F. (2011). Prefactibilidad Técnico-Económica del procesamiento de la fauna de acompañamiento de la pesquería de Arrastre de Camarón. San José, Costa Rica: MIDEPLAN/INCOPECA.
- Bolaños, M. (2005). Characterization of the Costa Rican semi-industrial coastal shrimp trawling fishery and the small-scale artisanal shrimp trawling fishery. Puntarenas, Costa Rica: FAO.
- Chacón, A., Araya, H., Vásquez, A., Brenes, R., Marín, B., Palacios, J., Soto, R., Mejía-Arana, F., Shimazu, Y., & Hiramatsu, K. (2007). Estadísticas Pesqueras del Golfo de Nicoya, Costa Rica; 1994-2005. Puntarenas, Costa Rica: UNA-JICA-INCOPECA.
- Chakraborty, R. (2013). Deep sea prawns. Pp 107-131. *In: Manual of Taxonomy and identification of commercially important crustaceans of India* (eds. Joseleen, J & S. Lakshmi, P.). Central Marine Fisheries Research Institute, Cochin. August 20-24, 2013.
- Ciannelli, L., Fauchald, P., Chan, K. S., Agostini, V. N., & Dingsør, G. E. (2008). Spatial fisheries ecology: Recent progress and future prospects. *Journal of Marine Systems*, 71(3-4), 223-236. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2007.02.031>
- Collie, J., Hiddink, J. G., van Kooten, T., Rijnsdorp, A. D., Kaiser, M. J., Jennings, S., & Hilborn, R. (2017). Indirect effects of bottom fishing on the productivity of marine fish. *Fish and Fisheries*, 18(4), 619-637. <https://doi.org/10.1111/faf.12193>

- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). (2015). Estrategia de Cambio Climático desde las Áreas Naturales Protegidas: Una convocatoria para la Resiliencia de México (2015-2020). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México
- DecaNet. (2023). *Solenocera agassizii* Faxon, 1893. World Register of Marine Species. Retrieved April 10 from <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=377658>
- Defeo, O., & Vasconcellos, M. (2020). Transición hacia un enfoque ecosistémico de la pesca - Lecciones aprendidas de pesquerías de América del Sur (Documento técnico de pesca y acuicultura, Issue.
- FAO. (2022). Planes de gestión en las pesquerías de arrastre de fondo de América Latina y el Caribe bajo un enfoque ecosistémico. Sistematización y análisis de casos nacionales. (1237). (FAO Circular de pesca y acuicultura, Issue. <https://doi.org/10.4060/cb8688es>
- Ferry, L. A., & Cailliet, G. M. (1996, July 14-18). Sample size and data analysis: Are we characterizing and comparing diet properly? Feeding Ecology and Nutrition in Fish, San Francisco State University.
- García, S. & Reste, L. Le. (1981). Life cycles, dynamics, exploitation, and management of coastal penaeid shrimp stocks. FAO Fish. Tech. Pap., (203): 215 pp.
- Giron-Montaño, A., Rueda, M., Eraso-Ordonez J., & Rodríguez-Jiménez, A. (2016). Variación interanual de la estructura de tallas y aspectos reproductivos del camarón pink (*Farfantepenaeus brevisrostris*) en el Pacífico Colombiano. Bol. investig. mar. Costeras. 45 (2). 253-268.
- Guerra-Castro, E. J., Cajas, J. C., Simões, N., Cruz-Motta, J. J., & Mascaró, M. (2021). SSP: an R package to estimate sampling effort in studies of ecological communities. *Ecography*, 44(4), 561-573. <https://doi.org/10.1111/ecog.05284>
- Guisan, A., Edwards, T. C., & Hastie, T. (2002). Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecological Modelling*(157), 89–100. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(02\)00204-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00204-1)
- Held, L., Schrödle, B., & Rue, H. (2010). Posterior and Cross-validated Predictive Checks: A Comparison of MCMC and INLA. In *Statistical Modelling and Regression Structures* (pp. 91-110). [https://doi.org/10.1007/978-3-7908-2413-1\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-7908-2413-1_6)
- INCOPESCA. (2017). Establece una nueva Licencia de pesca comercial para el aprovechamiento sostenible del recurso del camarón, [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=85576&nValor3=110709&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=85576&nValor3=110709&strTipM=TC)
- INCOPESCA (2019). Estadísticas: Información de producción nacional pesquera 2014.

- Instituto Nacional de la Pesca (INAPESCA). (2001). Camarón del Océano Pacífico. En: Sustentabilidad y Pesca Responsable en México. Evaluación y Manejo. 1997-98. Instituto Nacional de la Pesca, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México. 5-62:691 pp.
- Izquierdo, F., Paradinas, I., Cerviño, S., Conesa, D., Alonso-Fernández, A., Velasco, F., Preciado, I., Punzón, A., Saborido-Rey, F., & Pennino, M. G. (2021). Spatio-Temporal Assessment of the European Hake (*Merluccius merluccius*) Recruits in the Northern Iberian Peninsula. *Frontiers in Marine Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.614675>
- Jones y van Zalinge (1981). Estimates of mortality rate and population size for shrimps in Kuwait waters. *Kuwait Bull.Mar. Sci.* 2:273-288
- Lambert, G. I., Jennings, S., Kaiser, M. J., Davies, T. W., Hiddink, J. G., & Punt, A. (2014). Quantifying recovery rates and resilience of seabed habitats impacted by bottom fishing. *Journal of Applied Ecology*, 51(5), 1326-1336. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12277>
- Lindgren, F., Rue, H., & Lindström, J. (2011). An explicit link between gaussian fields and gaussian markov random fields: The stochastic partial differential equation approach. *Journal of the Royal Statistical Society(73)*, 423–498. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.14679868.2011.00777.x>
- Maunder, M. N., & Punt, A. E. (2004). Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches. *Fisheries Research*, 70(2-3), 141-159. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2004.08.002>
- Mejía, F. (2018). Dinámica pesquera de la langostilla roja (*Pleuroncodes planipes* Stimpson, 1860), Costa Rica. (Tesis de Maestría). UNA, Costa Rica.
- Mejía-Arana, F. (2014). Información de base sobre la pesca de camarón, la camaronicultura y las especies relacionadas a las mismas en Costa Rica. En A. Gumy, D. Soto y R. Morales (Ed.), *Implementación práctica del enfoque ecosistémico a la pesca y la acuicultura del camarón en los países del sistema de integración centroamericana (SICA/OSPESCA)* (pp: 49-78). Roma, Italia: FAO.
- Muñoz, F., Pennino, M. G., Conesa, D., López-Quílez, A., & Bellido, J. M. (2012). Estimation and prediction of the spatial occurrence of fish species using Bayesian latent Gaussian models. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 27(5), 1171-1180. <https://doi.org/10.1007/s00477-012-0652-3>
- Palacios, J. A. (2013). Evaluación de las pesquerías en la zona media y externa del Golfo de Nicoya, Costa Rica. San José-Costa Rica: BIOMARCC-SINAC-GIZ.
- Parker, R. W. R., Blanchard, J. L., Gardner, C., Green, B. S., Hartmann, K., Tyedmers, P. H., & Watson, R. A. (2018). Fuel use and greenhouse gas emissions of world fisheries. *Nature Climate Change*, 8(4), 333-337. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0117-x>

- Pennington, M., & Volstad, J. H. (1991). Optimum Size of Sampling Unit for Estimating the Density of Marine Populations. *Biometrics*, 47(2), 717–723. <http://www.jstor.org/stable/2532157>
- Pennino, M. G., Muñoz, F., Conesa, D., López-Quílez, A., & Bellido, J. M. (2014). Bayesian spatio-temporal discard model in a demersal trawl fishery. *Journal of Sea Research*, 90, 44-53. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2014.03.001>
- Picher, T. J., & Macdonald, P. D. M. (1973). Two Models for Seasonal Growth in Fishes. *Journal of Applied Ecology*, 10(2), 599–606. <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/2402304>
- Rodríguez, A., Rueda, M., & Cubillos, L.A. (2012). Agregación reproductiva del camarón de aguas profundas *Solenocera agassizi* (Crustacea: Decapoda) en el Pacífico Colombiano. *Biol. Invest. Mar. Cost.* 41 (2). 429-446.
- Rue, H., Martino, S., & Chopin, N. (2009). Approximate Bayesian Inference for Latent Gaussian Models Using Integrated Nested Laplace Approximations. *Journal of the Royal Statistical Society*(71), 319–392. <http://www.statslab.cam.ac.uk/~rjs57/RSS/0708/Rue08.pdf>
- Sala, E., Mayorga, J., Bradley, D., Cabral, R. B., Atwood, T. B., Auber, A., Cheung, W., Costello, C., Ferretti, F., Friedlander, A. M., Gaines, S. D., Garilao, C., Goodell, W., Halpern, B. S., Hinson, A., Kaschner, K., Kesner-Reyes, K., Leprieur, F., McGowan, J., . . . Lubchenco, J. (2021). Protecting the global ocean for biodiversity, food and climate. *Nature*, 592(7854), 397-402. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03371-z>
- Sparre, P., & Venema, S. C. (1998). Introduction to tropical fish stock assessment (FAO Fisheries Technical Paper, Issue. [http://ledhyane.lecture.ub.ac.id/files/2015/09/Sparre-Venema\\_1998.pdf](http://ledhyane.lecture.ub.ac.id/files/2015/09/Sparre-Venema_1998.pdf)
- Villalobos-Rojas, F. (2009). Biología reproductiva del camarón fidel, *Solenocera agrassizii* Faxon, 1893 (Decapoda: Solenoceridae) en el Pacífico costarricense. Tesis de Licenciatura. Universidad de Costa Rica. Facultad de Ciencias. Escuela de Biología. 71 p.
- Watanabe, S. (2010). Equations of states in singular statistical estimation. *Neural Networks*, 23(1), 20-34. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2009.08.002>
- Wehrtmann, I. S., & Nielsen Muñoz, V. (2009). The deep water fishery along the Pacific coast of Costa Rica, Central America. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 37(3), 543-554. <https://doi.org/10.3856/vol37-issue3-fulltext-19>
- Willmann, R. & García, S.M. 1986. Modelo bioeconómico para el análisis de pesquerías secuenciales artesanales e industrial de camarón tropical (con un estudio de la pesquería de camarón de Surinam). *FAO Doc. Tec. Pesca*, (270):47 p.
- Zamora-García, O. G. (2015). Identificación de un punto de referencia para el cierre de temporada con base en la captura incidental de la pesquería industrial de camarón del alto golfo de California [Master, Universidad Nacional Autónoma de México].



Zamora-García, O. G., Márquez-Farías, J. F., Stavrinaky-Suárez, A., Díaz-Avalos, C., Zamora-García, N. I., & Lara-Mendoza, R. E. (2020). Catch rate, length, and sex ratio of Pacific hake (*Merluccius productus*) in the northern Gulf of California. *Fishery Bulletin*, 118(4), 365-379. <https://doi.org/10.7755/fb.118.4.6>

Zamora-García, O. G. (2021). *Ecología pesquera y dinámica poblacional de la merluza norteña (Merluccius productus, Ayres 1855) del norte del golfo de California* [Universidad Nacional Autónoma de México]. Ciudad de México.

## APÉNDICE I

Las fases de madurez para camarón Pinky (*P. brevirostris*) se determinarán siguiendo a Girón-Montaña *et al.* (2016), por medio de la observación macroscópica de las gónadas de hembras, siguiendo la siguiente clave:

- I. **Inmaduro:** Ovario de color blanco amarillento translúcido;
- II. **En desarrollo:** Ovario con coloración amarillenta opaca en desarrollo;
- III. **En maduración:** Ovario con una coloración naranja oscuro que se extiende hasta el telson;
- IV. **Maduro:** Gónada desarrollada color verde oscuro y algunas veces naranja; y
- V. **Desove:** Ovarios vacíos, flácida.

Para machos, se identificarán al menos dos fases de madurez de acuerdo con Angulo y Madrid (2002):

- I. **Inmaduro:** Ampollas terminales pequeñas y ligeramente visibles a través del exoesqueleto
- II. **Maduro:** Ampollas terminales grandes y claramente visibles a través del exoesqueleto.

Para el caso de camarón Fidel (*S. agassizii*), se realizó una adaptación para la determinación de la madurez en hembras a partir de Villalobos (2009) y Rodríguez *et al.* (2012) s en camarón Fidel:

- I. **Inmaduro:** Gónada delgada, translúcida en el abdomen, mientras que en el cefalotórax se torna de un color blancuzco; confinadas en la región abdominal y poco desarrolladas en la parte anterior; no se puede observar a través del exoesqueleto en camarones frescos;
- II. **En desarrollo:** Los lóbulos son un poco translúcidos, amarillo pálido a color rosa, aumentan en grosor y se tocan uno al otro, alcanzan gran parte del cefalotórax; el tubo digestivo aún se puede observar; la gónada no es visible a través de exoesqueleto del camarón fresco;
- III. **En maduración:** No se ve el tubo digestivo, coloración naranja a color vino claro, gónadas agrandadas, granulosas; ocupan gran parte de la región dorsal;

la gónada se observa como una zona oscura a través del exoesqueleto del camarón fresco;

- IV. **Maduro:** Gónadas gruesas, granuladas, color vino oscuro, ocupan toda la región dorsal; no se puede ver a través del exoesqueleto del camarón fresco;
- V. **Desove:** La gónada se retrae y empieza a aclararse, son delgadas y flácidas por la expulsión de los huevos; inicia la visualización del tubo digestivo.

Por su parte, las fases de madurez para las especies del género *Heterocarpus* (Camellito y Camellón) se determinarán a partir de Chakraborty (2013). Es de esperarse que se encuentren cuatro etapas de madurez identificables de acuerdo con la intensidad del color y la dimensión del ovario en el cefalotórax (inmaduro, madurando, maduro y desovado).

Además, con base en observaciones previas, se validarán las fases de madurez de cuatro etapas, correspondientes a la maduración de los huevos en las hembras ovígeras basados en el color y el desarrollo del embrión:

- I. **Inmaduro.** Coloración homogénea sin visualización de larva
- II. **En desarrollo.** Color disminuido, ojos de larva presentes
- III. **En maduración.** Color poco intenso, larva desarrollada completamente
- IV. **Maduro.** Coloración grisácea por larvas fuera de los huevos o ausencia total de las mismas

Por último, a través de la colección de datos y muestras y con la colaboración de la academia, estas claves de madurez podrán validarse y aplicarse de forma rutinaria.