

**Universidad Nacional  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales  
Escuela de Ciencias Biológicas**

**Informe Escrito Final**

**ANÁLISIS DE HERRAMIENTAS Y PROCESOS METODOLÓGICOS PARA LA  
EVALUACIÓN PESQUERA, MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE  
INDICADORES PESQUEROS QUE PERMITAN EL ORDENAMIENTO DE ESTA  
ACTIVIDAD EN COSTA RICA.  
(PASANTÍA)**

**Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura (Incopesca)**

**Trabajo Final de Graduación para optar al grado de Licenciatura en Biología  
Marina**

**José Daniel Cruz Romero (208040767)**

**Tutor:**

**M. Sc. Luis Hernández Noguera**

**Supervisor:**

**M. Sc. Fernando Mejía Arana**

**Campus Omar Dengo  
Heredia, 2026**

Este trabajo de graduación fue APROBADO por el Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Biología Marina



---

**PhD., Juan B. Ulloa Rojas**  
**Presidente del Tribunal**

CRISTIAN ALONSO  
FONSECA  
RODRIGUEZ (FIRMA)

Firmado digitalmente por CRISTIAN  
ALONSO FONSECA RODRIGUEZ (FIRMA)  
Fecha: 2026.04.07 13:54:20 -06'00'

---

**M.Sc., Cristian Fonseca Rodríguez**  
**Representante del Director de la Escuela de Ciencias Biológicas**

LUIS ADRIAN HERNANDEZ NOGUERA (FIRMA)  
PERSONA FISICA, CPF-06-0313-0912.  
Fecha declarada: 24/03/2026 01:51:41 p. m.  
Esta es una representación gráfica únicamente,  
verifique la validez de la firma.

---

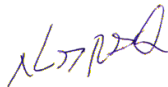
**M.Sc., Luis Hernández Noguera**  
**Tutor**

FERNANDO  
ALBERTO MEJIA  
ARANA (FIRMA)

Firmado digitalmente  
por FERNANDO  
ALBERTO MEJIA ARANA  
(FIRMA)  
Fecha: 2026.03.24  
15:47:41 -06'00'

---

**M.Sc., Fernando Mejía Arana**  
**Asesor**



---

**Lic., Nixon Lara Quesada**  
**Invitado especial**

## **Agradecimiento**

A Dios, por ser fuente de fortaleza, sabiduría y guía constante durante todo este proceso académico y personal.

A la Universidad Nacional de Costa Rica, por brindar las herramientas, el acompañamiento y las oportunidades que hicieron posible mi formación profesional, así como por su compromiso con la excelencia académica y el desarrollo científico del país.

Expreso mi sincero agradecimiento a los docentes y tutores que me orientaron con sus conocimientos, sugerencias y apoyo durante la realización de este Trabajo Final de Graduación. Su dedicación y compromiso fueron fundamentales para la consolidación de este proyecto.

A mi familia, por su apoyo incondicional, comprensión y aliento en cada etapa del camino. Su respaldo fue esencial para culminar esta meta con éxito.

Finalmente, agradezco al Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura (Incopesca) por abrirme las puertas para el desarrollo de la pasantía y permitir la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos, contribuyendo de manera significativa a mi crecimiento profesional y humano.

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo con profundo amor y gratitud a mis padres, Orlando Cruz Rodríguez e Ingrid Romero Martínez, quienes han sido mi mayor fuente de apoyo, motivación y confianza. Su ejemplo, sacrificio y acompañamiento constante han guiado cada paso de mi formación personal y profesional.

A mis hermanos Mario, Carlos, Laura y María, por ser un pilar indispensable en mi vida, por su cercanía, comprensión y cariño incondicional durante todo este camino académico.

Dedico también este logro a la M.Sc., Rosa Soto Rojas, docente ejemplar cuya pasión por la enseñanza y su calidad humana dejaron una huella imborrable en mi proceso de formación. Su guía, motivación y entrega continúan inspirándome, incluso tras su partida, y su recuerdo permanece como un faro que acompañó cada etapa de este trabajo.

## Índice

Miembros del tribunal.....	II
Agradecimiento.....	III
Dedicatoria.....	IV
Índice .....	V
Índice de cuadros .....	VI
Índice de figuras .....	VII
Índice de anexos .....	VIII
Abreviaturas o acrónimos.....	IX
Resumen .....	X
Introducción .....	1
Historia de la institución y actividades económicas a la que se dedica .....	1
Ubicación en el país de la empresa.....	2
Visión.....	2
Misión.....	3
Justificación de la pasantía .....	3
Objetivos de la pasantía .....	5
Objetivo general.....	5
Objetivos específicos .....	6
Actividades realizadas .....	6
Resultados obtenidos de la pasantía en la institución .....	10
Integración, contextualización y análisis de información biológico-pesquera .....	11
Diseño, selección y aplicación de indicadores biológico-pesqueros .....	18
Indicadores generales del protocolo estandarizado.....	23
Fortalecimiento de competencias técnicas y capacidades locales.....	35
Discusión de resultados .....	37
Interpretación biológica integrada del sistema aplicado.....	37
Dinámica de abundancia relativa y señales tempranas de presión.....	38
Composición específica y resiliencia ecológica .....	39
Relación entre esfuerzo de pesca y tasa de explotación.....	39
Aporte metodológico del sistema de indicadores .....	40
Limitaciones del estudio .....	41
Implicaciones para manejo adaptativo.....	41
Relevancia de la pasantía en su perfil profesional y conocimientos adquiridos de la experiencia.....	42
Conclusiones y recomendaciones.....	43
Referencias.....	47
Anexos .....	50

## Índice de cuadros

Cuadro 1. Fuentes documentales y técnicas utilizadas como referencia para la delimitación de variables biológico-pesqueras .....	24
Cuadro 2. Indicadores biológico-pesqueros diseñados y seleccionados para la evaluación de las pesquerías artesanales en Costa Rica .....	30
Cuadro 3. Núcleo de indicadores biológico-pesqueros y rangos de referencia del protocolo metodológico estandarizado .....	36
Cuadro 4. Sistema de clasificación tipo “semáforo” para la interpretación diagnóstica biológico-pesquera.....	37
Cuadro 5. Orientaciones técnicas específicas según indicador y condición diagnóstica.....	38
Cuadro 6. Resultados de la aplicación del sistema diagnóstico en la pesquería de corvinas (Zonas 201 y 202) .....	43

## Índice de figuras

Figura 1. Esquema metodológico para la construcción del sistema de indicadores biológico-pesqueros .....	28
Figura 2. Modelo conceptual del sistema de indicadores biológico-pesqueros para la evaluación y orientación de decisiones en pesquerías artesanales.....	39
Figura 3. Representación visual del sistema tipo semáforo aplicado a los indicadores biológico-pesqueros evaluados en la pesquería de corvinas (Zonas 201 y 202, Golfo de Nicoya.....	44

## Índice de anexos

Anexo 1. Protocolo estandarizado para la evaluación del estado de las pesquerías artesanales en Costa Rica.....	60
Anexo 2. Evidencia fotográfica de actividades de campo y capacitación .....	62

## Abreviaturas o acrónimos

AMPR	Área Marina de Pesca Responsable
AMP	Área Marina Protegida
CPUE	Captura por Unidad de Esfuerzo
CPUA	Captura por Unidad de Área
IIP	Índice de Importancia Pesquera
Lm	Talla de primera madurez
L <sub>50</sub>	Talla en la que el 50 % de la población alcanza la madurez sexual
E	Tasa de explotación
F	Mortalidad por pesca
M	Mortalidad natural
F/M	Relación entre mortalidad por pesca y mortalidad natural
Incopesca	Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
SINAC	Sistema Nacional de Áreas de Conservación

## Resumen

La sostenibilidad de las pesquerías artesanales depende en gran medida de la capacidad para interpretar adecuadamente la información biológica disponible y traducirla en decisiones de manejo fundamentadas. En Costa Rica, la ausencia de criterios metodológicos estandarizados ha dificultado la integración y análisis sistemático de los datos generados por programas de monitoreo. En este contexto, el presente trabajo tuvo como propósito diseñar y estructurar un conjunto de indicadores biológico-pesqueros, junto con un protocolo metodológico estandarizado, orientado al diagnóstico del estado de pesquerías artesanales de pequeña escala. El proceso integró la revisión y sistematización de información institucional histórica, la evaluación comparativa de herramientas analíticas y la selección de variables con relevancia biológica y viabilidad operativa. A partir de ello se construyó un modelo de evaluación basado en indicadores asociados al crecimiento, reproducción, mortalidad y presión de pesca, organizados bajo un sistema de interpretación tipo semáforo que facilita su síntesis diagnóstica y comunicación. La aplicabilidad del modelo fue examinada en la pesquería de corvinas del Golfo de Nicoya mediante seis meses de muestreo continuo. El análisis indicó tallas promedio iguales o superiores a la talla de primera madurez reportada, tasas de explotación dentro de rangos intermedios y estabilidad relativa del esfuerzo de pesca. No obstante, se identificaron señales de advertencia relacionadas con una disminución moderada de la captura por unidad de esfuerzo y con la concentración de capturas en el género *Cynoscion*. En conjunto, el trabajo propone un marco metodológico organizado y adaptable que contribuye a fortalecer los procesos de evaluación biológico-pesquera en contextos artesanales, favoreciendo la toma de decisiones basada en información técnica disponible y promoviendo una gestión más estructurada de los recursos marinos.

**Palabras clave:** Evaluación, Indicadores, Ordenamiento, Pesquerías, Sostenibilidad

## **Introducción**

### **Historia de la institución y actividades económicas a la que se dedica**

El Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura (Incopesca) fue creado el 16 de marzo de 1994 mediante la Ley N.º 7384 (Costa Rica, 1994), como una institución autónoma del Estado encargada de administrar, fomentar y regular la actividad pesquera y acuícola en el país. Su establecimiento marcó un punto de inflexión en la gestión de los recursos marinos, al separar estas funciones del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), que anteriormente actuaba como ente rector y promotor del sector pesquero (Costa Rica, 1994). La creación de Incopesca permitió una gestión más especializada y eficaz en investigación, regulación y control de la actividad pesquera.

Según el artículo 13 de la Ley N.º 8436 (Ley de Pesca y Acuicultura) (Costa Rica, 1987), “el Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura ejercerá el control de la actividad pesquera y acuícola que se realice en aguas marinas e interiores y brindará asistencia técnica a la actividad acuícola en aguas continentales y marinas”. Asimismo, el artículo 15 define la pesca de fomento como aquella destinada a la investigación científica, la exploración y la conservación de los recursos acuáticos, otorgando a la institución la facultad de desarrollar estudios y aplicar metodologías que sustenten el manejo sostenible del recurso.

En la actualidad, Incopesca se estructura por direcciones (Administrativa Financiera, Fomento Pesquero y Acuícola, y Ordenamiento Pesquero y Acuícola) y departamentos especializados (Recursos humanos, Promoción de Mercados, Investigación, entre otros). Destaca el Departamento de Investigación, adscrito a la Dirección de Ordenamiento Pesquero y Acuícola, cuya función es “sustentar técnica y científicamente las decisiones de manejo, ordenación, desarrollo y conservación de las pesquerías, así como el desarrollo de nuevas alternativas tecnológicas productivas” (Incopesca, s.f.). Este departamento genera

información biológica y pesquera esencial para el diseño de políticas, permisos y regulaciones que aseguren el aprovechamiento racional de los recursos marinos.

Entre sus principales acciones se encuentran el monitoreo del estado de los stocks pesqueros, la implementación de programas de investigación aplicada, y la coordinación con comunidades costeras y organizaciones pesqueras para fortalecer la recolección de datos, promover buenas prácticas y combatir la pesca ilegal.

Actualmente, se desarrollan proyectos orientados a especies de interés comercial (como el proyecto denominado “Caracterización de la pesquería de corvinas capturadas por la flota de pequeña escala, Golfo de Nicoya, Costa Rica. Fase II: Zonas 201 y 202 (2024–2026)”, como las corvinas (familia Sciaenidae) en el Golfo de Nicoya, integrando esfuerzos institucionales y comunitarios para mejorar el conocimiento científico y la sostenibilidad del recurso.

### **Ubicación en el país de la empresa**

Zona geográfica: El Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura (Incopesca) tiene su sede central en el Cocal de Puntarenas, siendo este su domicilio legal (Ley 7384, 1994).

### **Visión**

Incopesca liderará la gestión de las pesquerías y la acuicultura para el aprovechamiento sostenible de los recursos hidrobiológicos.

## **Misión**

Incopesca es la institución que administra, regula y promueve el desarrollo del sector pesquero y acuícola con enfoque ecosistémico, bajo los principios de sostenibilidad, responsabilidad social y competitividad.

## **Justificación de la pasantía**

De acuerdo con datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), para el año 2022 se produjeron 92,3 millones de toneladas de organismos provenientes del sector pesquero (FAO, 2023). Estas cifras reflejan la relevancia global de la actividad pesquera como motor económico y social.

En el caso de Costa Rica, se estima que en el año 2020 la producción pesquera y acuícola generó 60 mil millones de colones (aproximadamente 103 millones de dólares), además de 8 687 empleos directos e indirectos (OCDE, 2023). Estos datos evidencian la importancia del sector para las comunidades costeras y el desarrollo económico nacional.

El aprovechamiento sostenible de los recursos marinos y costeros representa un reto técnico y científico que requiere investigación continua, acompañamiento a los sectores pesqueros, vigilancia sobre el estado de los recursos, y el desarrollo de herramientas para monitorear, prevenir, mitigar o corregir impactos ecológicos derivados de la actividad extractiva (Guerrero, 2021; Miranda et al., 2013).

En este contexto, resulta esencial generar instrumentos científicos y técnicos que permitan acceder a información actualizada sobre el estado de las pesquerías. La construcción y aplicación de indicadores biológico-pesqueros se consolida como una herramienta

fundamental para evaluar la sostenibilidad de las actividades pesqueras, ya que posibilita establecer criterios objetivos, cuantificar variables biológicas y definir acciones de manejo según umbrales previamente determinados (Yagual, 2023).

La generación de indicadores proporciona una base empírica y cuantificable que permite analizar los problemas y desafíos del sector pesquero (FAO, 2000). Estos instrumentos posibilitan medir, comparar y evaluar el desempeño de las pesquerías con respecto a sus objetivos ecológicos, sociales y económicos, facilitando la toma de decisiones fundamentadas (INE, 2001; Mendoza et al., 2021; Polanía, 2010).

Según Tapia et al. (2014), los indicadores deben cumplir con siete atributos esenciales: **Precisión**, al medir los fenómenos de forma exacta y directa; **Mensurabilidad**, para permitir su repetición futura y la comparación con datos disponibles; **Relevancia**, garantizando que los datos sean útiles y respondan a necesidades reales; **Fiabilidad**, asegurando que los resultados sean consistentes y verificables; **Oportunidad y puntualidad**, enfocándose en los problemas y necesidades actuales; **Economía**, de modo que los recursos invertidos sean proporcionales al esfuerzo requerido; y **Accesibilidad y comparabilidad**, permitiendo que los indicadores sean comprendidos, aplicables y contrastables entre distintas zonas o grupos.

El cumplimiento de estas características permite estructurar indicadores sólidos y útiles para el manejo sostenible de los recursos marino-costeros, fortaleciendo la gestión del conocimiento y la toma de decisiones basada en evidencia científica.

En este sentido, el Incopesca ha venido desarrollando metodologías que integran estos principios, con el objetivo de mejorar la comprensión del estado de las pesquerías en diferentes zonas del país. La implementación de un modelo tipo “semáforo” (verde para indicar un buen estado, amarillo para advertencia y rojo para condición crítica) constituye un enfoque innovador para estandarizar los procesos de evaluación pesquera, aplicable tanto por personal técnico como por actores comunitarios (Bertolotti, 2016; Campos & Morales, 2010; Duarte et al., 2005).

De esta manera, la pasantía se justifica por la necesidad de fortalecer la toma de decisiones en el manejo pesquero costarricense mediante la creación de herramientas metodológicas que integren criterios biológicos, sociales y económicos, así como por la pertinencia de que el estudiante, desde su formación en Biología Marina, aplique conocimientos especializados al abordaje de problemáticas reales del sector pesquero. La propuesta desarrollada contribuye a generar conocimiento técnico, promover la participación local y consolidar un marco de trabajo orientado a la sostenibilidad, a partir del aporte directo del estudiante en la interpretación técnica de información pesquera, el análisis de datos biológicos, la selección de variables relevantes y la aplicación de criterios científicos para el diseño y validación de indicadores biológico-pesqueros. Este proceso permitió articular contenidos teóricos adquiridos en áreas como ecología pesquera, dinámica de poblaciones y evaluación de recursos marinos con las necesidades operativas del Incopesca, generando insumos técnicos con sustento científico que fortalecen la capacidad institucional para evaluar el estado de las pesquerías y respaldar la toma de decisiones. En este sentido, la pasantía no solo responde a una necesidad institucional, sino que evidencia un aporte académico y profesional concreto del estudiante, cuya participación, resulta fundamental para el desarrollo y aplicación de las herramientas propuestas, dando paso a los objetivos específicos centrados en el diseño, aplicación y validación de indicadores dentro del marco institucional del Incopesca.

## **Objetivos de la pasantía**

### **Objetivo general**

Analizar la aplicación de herramientas metodológicas para la evaluación de las pesquerías artesanales en Costa Rica, mediante el diseño y validación de indicadores biológico-pesqueros que fortalezcan el ordenamiento y manejo sostenible del recurso, con el fin de que el pasante adquiera experiencia profesional en investigación aplicada y gestión pesquera dentro del Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura (Incopesca).

## **Objetivos específicos**

- 1) Examinar la información biológico-pesquera disponible en bases de datos institucionales, literatura científica y proyectos en ejecución, con el fin de sustentar técnicamente el diseño de indicadores biológico-pesqueros.
- 2) Evaluar herramientas y modelos de análisis pesquero, incluyendo enfoques estadísticos, poblacionales y bioeconómicos, para analizar su viabilidad metodológica y su pertinencia en la interpretación del estado de las pesquerías artesanales, como apoyo al proceso de ordenamiento.
- 3) Diseñar un conjunto de indicadores biológico-pesqueros, validándolos para el diagnóstico de la sostenibilidad de las pesquerías artesanales y el respaldo de la toma de decisiones en Incopesca.
- 4) Estructurar un protocolo metodológico estandarizado, basado en un modelo tipo “semáforo”, que facilite la aplicación, interpretación y replicación de los indicadores biológico-pesqueros en diferentes zonas del país.
- 5) Fortalecer las competencias técnicas y profesionales del pasante, así como las capacidades locales de los actores pesqueros, a través de la participación en procesos de investigación aplicada, la socialización de resultados y la gestión participativa de la información.

## **Actividades realizadas**

El desarrollo de la pasantía se ejecutó en el Incopesca bajo la supervisión del M.Sc. Fernando Mejía Arana y la tutoría académica del M.Sc. Luis Hernández Noguera, en el marco del Departamento de Investigación, adscrito a la Dirección de Ordenamiento Pesquero y Acuícola.

Las actividades se organizaron en cinco fases metodológicas, directamente relacionadas con los objetivos específicos planteados, combinando la aplicación de herramientas científicas con la adquisición de experiencia profesional en investigación pesquera.

## **Fase I. Contextualización de información biológico-pesquera**

Esta fase tuvo como finalidad contextualizar técnica y conceptualmente el trabajo mediante la revisión, depuración y organización de información biológico-pesquera existente en el ámbito institucional. Se emplearon bases de datos del Incopesca, informes técnicos internos, literatura científica especializada y documentación asociada a proyectos ejecutados entre los años 2005 y 2025.

El trabajo se desarrolló exclusivamente a partir de registros históricos utilizados con fines formativos y de práctica analítica. No se realizaron levantamientos primarios de campo durante esta etapa.

La revisión permitió identificar especies de relevancia comercial, principales zonas de pesca y variables recurrentes en estudios nacionales, tales como talla de captura, peso individual, esfuerzo de pesca, composición específica, estructura sexual y parámetros de mortalidad. Estas variables fueron clasificadas según tipo de dato, frecuencia de registro, continuidad temporal y viabilidad de análisis estadístico.

El proceso incluyó la evaluación de consistencia interna de bases de datos, identificación de vacíos de información y organización estructurada de los registros según escala espacial y temporal. Este ejercicio permitió delimitar un conjunto preliminar de variables con suficiente continuidad histórica para su eventual uso en análisis posteriores.

Durante esta fase se emplearon herramientas como Microsoft Excel, FISAT II, RStudio y FishBase para la exploración preliminar de parámetros biológicos y verificación de coherencia entre registros institucionales y valores reportados en literatura especializada.

## **Fase II. Evaluación de herramientas y modelos de análisis pesquero**

Con base en la información sistematizada, se desarrolló una etapa orientada a la revisión técnica y aplicación exploratoria de herramientas estadísticas y modelos biológico-pesqueros.

Se analizaron metodologías descritas en Tapia et al. (2014) y Yagual (2023), así como enfoques clásicos de dinámica poblacional aplicables a pesquerías artesanales de pequeña escala. El análisis consideró supuestos teóricos, requerimientos de información, sensibilidad a variaciones de datos y condiciones operativas necesarias para su implementación.

Se exploraron procedimientos asociados a: Análisis de estructura de tallas, Estimación de mortalidad natural (M), Estimación de mortalidad por pesca (F), Cálculo de tasa de explotación (E), Evaluación de relaciones longitud-peso, Cálculo de factores de condición.

Las herramientas empleadas incluyeron FISAT II, RStudio, Microsoft Excel y FishBase como referencia para parámetros biológicos comparativos.

Esta fase tuvo carácter exploratorio y permitió examinar la factibilidad técnica de aplicar determinados modelos sobre información histórica disponible, sin generar productos analíticos formales.

### **Fase III–IV. Diseño y estructuración del protocolo metodológico de indicadores biológico-pesqueros**

A partir de los insumos obtenidos en las fases anteriores, se procedió al diseño estructurado del conjunto de indicadores biológico-pesqueros.

El proceso inició con la selección técnica de variables que cumplieran criterios de continuidad temporal, disponibilidad institucional y relevancia ecológica. Las variables fueron organizadas según tres componentes funcionales: estado biológico del recurso, presión de explotación y estructura poblacional.

El diseño metodológico de cada indicador se orientó por los atributos propuestos por Tapia et al. (2014): precisión, mensurabilidad, relevancia, fiabilidad, oportunidad, economía y accesibilidad. Para cada indicador se definieron su objetivo, forma de cálculo, unidad de medida, fuente de información y condiciones mínimas para su aplicación.

Posteriormente se establecieron rangos de referencia para aquellos indicadores susceptibles de clasificación diagnóstica, fundamentados en literatura especializada de dinámica poblacional y criterios técnicos empleados en evaluación de recursos pesqueros.

Como parte del proceso metodológico, el conjunto de indicadores fue incorporado como referencia técnica dentro del proyecto institucional en ejecución sobre corvinas en el Golfo de Nicoya (2024–2026), con el fin de examinar su coherencia operativa dentro de un contexto real de monitoreo.

Con base en esta estructura se elaboró el protocolo metodológico estandarizado, el cual describe de manera secuencial los procedimientos de selección de indicadores, procesamiento de datos, comparación con umbrales y clasificación diagnóstica mediante el sistema tipo semáforo.

## **Fase V. Fortalecimiento de capacidades técnicas y sociales**

La fase final consistió en la transferencia metodológica del sistema de indicadores y del protocolo estandarizado hacia actores institucionales y comunitarios vinculados al sector pesquero artesanal.

Las actividades se desarrollaron en coordinación con el Departamento de Investigación del Incopesca e incluyeron sesiones técnicas de presentación del modelo, revisión de fundamentos metodológicos y explicación de procedimientos de cálculo e interpretación.

El pasante participó en la elaboración de materiales técnicos de apoyo y en la organización de espacios de capacitación dirigidos a personal institucional y representantes de comunidades pesqueras.

Estas acciones formaron parte del componente participativo del proceso metodológico, orientado a facilitar la comprensión operativa del sistema de indicadores dentro del contexto institucional y comunitario.

## **Resultados obtenidos de la pasantía en la institución**

El desarrollo de la pasantía permitió consolidar un sistema metodológico de evaluación orientado al análisis de las pesquerías artesanales costarricenses, basado en la construcción y validación de indicadores biológico-pesqueros. Los resultados obtenidos no se limitan a la aplicación aislada de herramientas analíticas, sino que corresponden a la integración progresiva de información histórica, evaluación comparativa de modelos, selección técnica de variables y estructuración de un protocolo estandarizado para su implementación institucional.

En coherencia con el objetivo general del trabajo, el principal resultado de la pasantía fue el diseño fundamentado de un conjunto de indicadores biológico-pesqueros técnicamente viables, sustentados en información disponible en las bases institucionales del Incopesca y alineados con los requerimientos operativos del ordenamiento pesquero nacional. Este sistema se construyó a partir de un proceso secuencial que incluyó la sistematización de información, la evaluación crítica de herramientas de análisis y la validación metodológica de los enfoques seleccionados.

El proceso desarrollado permitió transformar información dispersa y heterogénea en un marco estructurado de variables cuantificables, verificables y comparables, orientadas al diagnóstico del estado biológico de las pesquerías artesanales. De esta manera, la pasantía no solo fortaleció la comprensión técnica del análisis pesquero, sino que derivó en la formulación de una herramienta metodológica aplicable para apoyar la toma de decisiones institucionales.

Los resultados se presentan a continuación organizados según las etapas técnicas que condujeron a la construcción del sistema de indicadores, iniciando con la integración y sistematización de la información biológico-pesquera disponible, seguida por la evaluación comparativa de herramientas analíticas y culminando con el diseño y estructuración del modelo de indicadores propuesto.

### **Integración, contextualización y análisis de información biológico-pesquera**

Al inicio de la pasantía y durante la integración al proyecto institucional, se desarrolló un proceso sistemático de recopilación, revisión crítica, depuración y organización de información biológico-pesquera, con el propósito de sustentar técnicamente el diseño posterior de indicadores. Esta etapa respondió directamente al primer objetivo específico, orientado a examinar la información disponible como base técnica para la construcción de herramientas de evaluación.

Dicho proceso incluyó la revisión de bases de datos institucionales del Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura (Incopesca), registros históricos de desembarque, informes técnicos internos, literatura científica especializada y documentación asociada a proyectos de investigación ejecutados entre los años 2005 y 2025. A partir de este proceso se identificaron las variables más recurrentes en estudios nacionales sobre pesquerías artesanales, tales como talla de captura, peso individual, esfuerzo de pesca, composición específica, estructura sexual, estados de madurez gonadal y parámetros de mortalidad.

La identificación de estas variables no se realizó de manera arbitraria. En primera instancia, se examinó la recurrencia y relevancia de los parámetros utilizados en investigaciones previas y documentos técnicos nacionales. Posteriormente, se contrastaron dichas variables con la información efectivamente disponible en las bases institucionales del Incopesca, evaluando su consistencia temporal, su nivel de completitud y su viabilidad de análisis estadístico. Este ejercicio permitió descartar variables con registros fragmentados o con baja repetibilidad histórica, priorizando aquellas que cumplieran criterios de mensurabilidad, verificabilidad y posibilidad de estandarización.

Durante esta fase también se sostuvieron reuniones técnicas con el M.Sc. Fernando Mejía Arana, investigador del Departamento de Investigación del Incopesca y supervisor de la pasantía, así como con el biólogo M.Sc. Alberto Villarreal, profesional con amplia trayectoria en evaluación de recursos pesqueros y participación en procesos de planificación y ordenamiento pesquero a nivel institucional. En estas sesiones se discutieron enfoques metodológicos, se contrastaron antecedentes técnicos y se validaron conjuntamente las variables consideradas más pertinentes para describir la dinámica biológico-pesquera de las especies explotadas. El intercambio técnico permitió asegurar que la selección de variables estuviera alineada tanto con la evidencia científica disponible como con la experiencia práctica acumulada en la institución.

El uso de herramientas informáticas especializadas, incluyendo Microsoft Excel, AO–ICLARM Stock Assessment Tools (FISAT II), RStudio y la base de datos FishBase, facilitó la depuración de registros, la verificación de consistencia de datos y la exploración preliminar de patrones en series históricas. Esto permitió consolidar un marco informativo coherente que sirvió como insumo analítico para el diseño de indicadores biológico-pesqueros.

La recopilación y sistematización integró además información derivada del proyecto institucional en ejecución “Caracterización de la pesquería de corvinas capturadas por la flota de pequeña escala, Golfo de Nicoya, Costa Rica. Fase II: Zonas 201 y 202” (2024–2026), lo cual permitió complementar el análisis histórico con datos recientes y contextualizados. A partir de esta integración se obtuvo una visión comparativa de la actividad pesquera artesanal en distintas regiones del país, evidenciando variaciones en composición de especies, tallas promedio, intensidad del esfuerzo y patrones espaciales de captura.

Complementariamente, se efectuó una revisión técnica y científica orientada a contextualizar los hallazgos y ratificar la pertinencia de las variables seleccionadas. Esta revisión incluyó documentos institucionales, investigaciones publicadas y reportes académicos relacionados con la biología, ecología y gestión de pesquerías artesanales costarricenses. El Cuadro 1 presenta una síntesis representativa de algunas de las fuentes consultadas durante este proceso de contextualización. Dichas referencias no constituyen la totalidad del material revisado, sino ejemplos de trabajos que aportaron criterios técnicos y antecedentes relevantes para validar el enfoque analítico adoptado.

**Cuadro 1.** Fuentes documentales y técnicas utilizadas como referencia para la delimitación de variables biológico-pesqueras.

<b>Fuente</b>	<b>Tipo de información</b>	<b>Zona de estudio</b>
SINAC (2013)	Evaluación de las pesquerías en la parte interna del Golfo de Nicoya (Incopesca)	Golfo de Nicoya
Guzmán-Mora y Molina-Ureña (2007)	Estado de la Pesquería Artesanal de Peces en Golfo Dulce	Golfo Dulce
Guzmán-Sánchez (2019)	Estado actual de la pesquería en Áreas Marinas de Pesca Responsable	Golfo de Nicoya
Soto et al. (2009)	Reproducción y crecimiento de <i>Lutjanus guttatus</i> en áreas de pesca responsable	Golfo de Nicoya
Villalobos-Rojas et al. (2014)	Actividades pesqueras dependientes de la ictiofauna en el Pacífico Norte de Costa Rica	Pacífico Norte

En conjunto, esta etapa permitió no solo organizar y validar la información biológico-pesquera disponible, sino también delimitar formalmente un conjunto preliminar de variables técnicamente consistentes, recurrentes en los registros institucionales y verificables mediante análisis estadístico. Este proceso garantizó que el diseño posterior de indicadores se fundamentara en información empírica real, con continuidad temporal y aplicabilidad operativa dentro del Incopesca. De esta manera, la sistematización cumplió su propósito de establecer una base técnica y analítica para la construcción posterior de herramientas de evaluación biológico-pesquera

### **Evaluación comparativa de herramientas y modelos de análisis pesquero**

En cumplimiento del segundo objetivo específico, se llevó a cabo una evaluación técnica de herramientas y modelos de análisis pesquero con el fin de determinar su viabilidad

metodológica y su pertinencia para el análisis de pesquerías artesanales de pequeña escala en Costa Rica. Esta fase se orientó a examinar críticamente los enfoques disponibles, identificar sus requerimientos de información y establecer criterios de selección coherentes con las capacidades institucionales del Incopesca.

La evaluación se organizó en tres grupos de herramientas: enfoques estadísticos descriptivos, modelos de dinámica poblacional y aproximaciones bioeconómicas. Para cada grupo se analizaron sus supuestos teóricos, requerimientos de datos, nivel de complejidad técnica y aplicabilidad en contextos con registros históricos variables.

Las herramientas estadísticas descriptivas, incluyendo análisis de tendencias temporales, estimación de captura por unidad de esfuerzo (CPUE), distribución de frecuencias de tallas y caracterización básica de la estructura poblacional, demostraron alta viabilidad operativa. Su bajo requerimiento de datos estructurados y su facilidad de interpretación las posicionan como instrumentos adecuados para el monitoreo continuo en pesquerías artesanales. Este enfoque encuentra respaldo tanto en la literatura especializada (Chacón et al., 2015; Estrada, 2024; Valencia, 2025) como en la evaluación metodológica desarrollada durante la pasantía.

Los modelos de dinámica poblacional, incluyendo estimaciones de crecimiento, mortalidad natural ( $M$ ), mortalidad por pesca ( $F$ ) y tasa de explotación ( $E$ ), fueron evaluados mediante el uso de FISAT II, RStudio y referencias técnicas como FishBase. Se determinó que estos modelos ofrecen una aproximación sólida al estado biológico del recurso, pero su aplicabilidad depende de la consistencia y continuidad de las series de datos disponibles. En consecuencia, se estableció que su uso debe realizarse de manera adaptativa, priorizando aquellos parámetros cuya estimación resultó metodológicamente consistente con la calidad y continuidad de los registros institucionales.

Por su parte, los enfoques bioeconómicos asociados a rendimiento máximo sostenible y económico fueron analizados desde una perspectiva conceptual. Se identificó que su implementación formal requiere bases de datos económicas sistemáticas que no se encuentran completamente consolidadas en el ámbito artesanal, lo que limita su aplicación directa dentro del alcance de la pasantía.

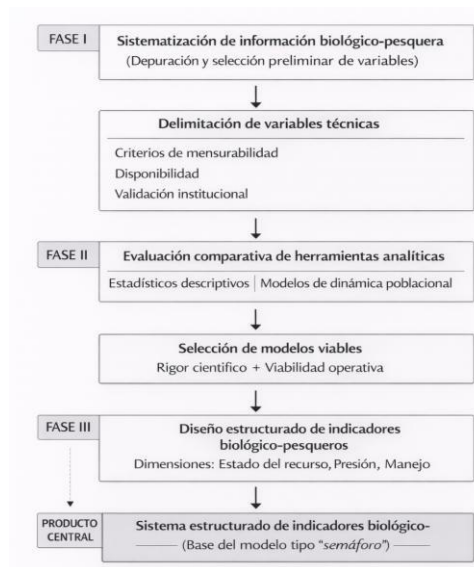
Durante esta se desarrolló un proceso de análisis técnico conjunto con el M.Sc. Fernando Mejía Arana y el M.Sc. Alberto Villarreal, orientado a discutir la pertinencia operativa de los modelos evaluados y su adecuación al contexto institucional. Este trabajo colaborativo permitió integrar la revisión metodológica realizada con la experiencia acumulada en procesos nacionales de evaluación pesquera, facilitando una construcción consensuada de criterios para la selección de herramientas técnicamente viables, replicables y coherentes con la realidad operativa del Incopesca.

La evaluación comparativa de herramientas y modelos permitió establecer criterios técnicos claros para la selección de enfoques analíticos compatibles con la realidad de las pesquerías artesanales costarricenses. Este ejercicio no se limitó a una revisión conceptual, sino que funcionó como un filtro metodológico orientado a determinar cuáles procedimientos podían transformarse en instrumentos operativos de diagnóstico dentro del contexto institucional. Como resultado, se identificó que los enfoques estadísticos descriptivos y los modelos básicos de dinámica poblacional ofrecen la combinación más adecuada entre rigurosidad científica y viabilidad operativa, mientras que los modelos bioeconómicos requieren niveles de sistematización de información aún no consolidados en el ámbito artesanal. Esta delimitación metodológica permitió reducir la incertidumbre técnica y definir con mayor precisión el marco analítico sobre el cual se estructuraría el sistema de indicadores biológico-pesqueros.

En consecuencia, la integración de la información sistematizada y la evaluación técnica de herramientas analíticas permitió consolidar un marco metodológico coherente para la construcción del sistema de indicadores biológico-pesqueros. La delimitación de variables verificables y la selección de modelos viables establecieron las condiciones necesarias para avanzar hacia el diseño estructurado de indicadores orientados al diagnóstico de la sostenibilidad biológica de las pesquerías artesanales, cuyos resultados se presentan en la siguiente sección.

Con el fin de sintetizar el proceso metodológico desarrollado y visualizar la relación secuencial entre las fases ejecutadas, se presenta a continuación un esquema integrador que resume la progresión técnica desde la sistematización de información hasta la estructuración del sistema de indicadores biológico-pesqueros.

La Figura 1 sintetiza la arquitectura metodológica del proceso desarrollado, integrando la sistematización de información, la evaluación comparativa de herramientas analíticas y la estructuración del sistema de indicadores biológico-pesqueros que constituye el producto central de la pasantía.



**Figura 1.** Esquema metodológico para la construcción del sistema de indicadores biológico-pesqueros

## Diseño, selección y aplicación de indicadores biológico-pesqueros

Los resultados obtenidos en esta fase corresponden al diseño estructurado y validación metodológica de un conjunto de indicadores biológico-pesqueros orientados al diagnóstico de la sostenibilidad de las pesquerías artesanales de pequeña escala en Costa Rica. Esta etapa respondió directamente al tercer objetivo específico y se sustentó en el marco técnico delimitado durante la integración de información y la evaluación comparativa de herramientas analíticas, lo que permitió definir un conjunto de variables cuantificables y operativamente viables dentro del contexto institucional del Incopesca.

Si bien el proyecto institucional contempla dimensiones sociales, económicas, ambientales e institucionales, el presente trabajo se concentró en la dimensión biológico-pesquera por constituir la base primaria para evaluar la condición del recurso y su dinámica poblacional. Esta delimitación no implica ausencia de integración futura, sino una priorización

metodológica coherente con la disponibilidad y consistencia de la información sistematizada en las fases anteriores.

A partir del análisis de la información histórica y de los criterios técnicos definidos previamente, se estructuró un sistema de indicadores que permite describir de manera integrada el estado biológico del recurso, la intensidad de la presión extractiva y la respuesta poblacional asociada. La selección de cada indicador se fundamentó en su relevancia ecológica documentada en literatura especializada, su sensibilidad ante variaciones en el esfuerzo de pesca y la existencia de registros verificables en las bases institucionales.

El proceso de depuración metodológica que condujo a esta selección se apoyó en los atributos propuestos por Tapia et al. (2014), particularmente en los criterios de precisión, mensurabilidad, fiabilidad, oportunidad y comparabilidad. Estos principios permitieron discriminar entre variables potenciales y aquellas que efectivamente cumplen condiciones técnicas para su uso como instrumentos de diagnóstico, reduciendo la incertidumbre analítica y fortaleciendo la coherencia interna del sistema.

Los indicadores propuestos poseen carácter general, en el sentido de que pueden ser aplicados a distintas pesquerías artesanales del país bajo un mismo marco metodológico. No obstante, su implementación no es rígida ni automática. La selección final de los indicadores a aplicar en cada zona debe realizarse considerando las características específicas del sitio, la especie objetivo, el arte de pesca utilizado y el nivel de información disponible. En este sentido, el sistema se concibe como un conjunto estructurado de herramientas disponibles, cuya activación depende del contexto ecológico y productivo particular, garantizando adaptabilidad sin perder consistencia técnica.

El Cuadro 2 presenta la estructura consolidada de los indicadores biológico-pesqueros seleccionados, junto con su descripción operativa y forma de evaluación. Este conjunto constituye la base técnica del modelo tipo “semáforo” desarrollado posteriormente, orientado a facilitar la interpretación de los resultados y su incorporación en procesos de ordenamiento y toma de decisiones dentro del ámbito institucional.

**Cuadro 2.** Indicadores biológico-pesqueros diseñados y seleccionados para la evaluación de las pesquerías artesanales en Costa Rica

Componente de análisis	Indicador	Descripción técnica	Forma de estimación	Aplicabilidad
Estado biológico del recurso	Estructura de tallas de captura	Distribución de frecuencias de longitud de los individuos capturados	Histogramas de frecuencia, talla media, comparación con talla de primera madurez ( $L_{50}$ )	General
	Proporción de individuos bajo talla de madurez	Porcentaje de individuos capturados por debajo de la talla reproductiva	Comparación con $L_{50}$ reportada en literatura o estimada localmente	General
	Relación longitud-peso	Evaluación del patrón de crecimiento y condición biológica	Ajuste del modelo $W = aL^b$	General
	Factor de condición (K)	Indicador del estado fisiológico de los individuos	Cálculo a partir de relación longitud-peso	General
	Mortalidad natural (M)	Tasa estimada de mortalidad por causas no asociadas a pesca	Métodos empíricos (Pauly u otros) usando FISAT II o R	Condicionada a disponibilidad

Componente de análisis	Indicador	Descripción técnica	Forma de estimación	Aplicabilidad
Presión de explotación	Captura por unidad de esfuerzo (CPUE)	Indicador de productividad relativa del recurso	Captura total / esfuerzo (días, viajes o embarcaciones)	General
	Esfuerzo de pesca	Intensidad de actividad extractiva	Número de viajes, días de faena o unidades activas	General
	Mortalidad por pesca (F)	Proporción de individuos removidos por pesca	Estimación a partir de modelos poblacionales	General
	Tasa de explotación (E)	Relación entre mortalidad por pesca y mortalidad total	$E = F / (F + M)$	General
Estructura poblacional y dinámica	Composición específica	Proporción relativa de especies en la captura total	Análisis porcentual de capturas	General
	Índices de diversidad (Shannon-Wiener, Simpson)	Medición de diversidad y dominancia en la comunidad explotada	Cálculo matemático con abundancia relativa	General
	Reclutamiento	Incorporación de individuos juveniles a la población explotada	Identificación de cohortes en análisis de tallas	Condicionada a series temporales
	Nivel trófico promedio	Posición trófica de las especies capturadas	Asignación de valores desde FishBase u otra base de datos especializada	General

El sistema de indicadores presentado en el Cuadro 2 constituye la síntesis estructurada del proceso metodológico desarrollado en las fases anteriores. Su organización responde a una lógica funcional que integra la condición biológica del recurso, la presión de explotación y la dinámica poblacional, permitiendo una evaluación articulada del estado de la pesquería. Esta estructura evita análisis fragmentados y favorece una interpretación sistémica en la que cada indicador cumple una función diagnóstica específica dentro del conjunto.

El carácter general del sistema permite su aplicación en distintas pesquerías artesanales del país bajo un mismo marco metodológico. Sin embargo, su implementación no implica la utilización simultánea de todos los indicadores en cada contexto. La selección final debe realizarse considerando las particularidades ecológicas del sitio, la especie objetivo, el arte de pesca empleado y la calidad de la información disponible. En este sentido, el modelo se concibe como un conjunto estructurado de herramientas disponibles, cuya aplicación se ajusta a las condiciones técnicas y productivas de cada zona evaluada, manteniendo coherencia y consistencia analítica.

### **Integración de los indicadores en un esquema de interpretación**

Una vez definidos los indicadores biológico-pesqueros y delimitados sus criterios técnicos de referencia, se procedió a estructurar un mecanismo de integración que permitiera interpretar sus resultados de manera articulada.

El propósito de este esquema fue establecer una forma estandarizada de lectura diagnóstica, evitando evaluaciones aisladas de cada variable y favoreciendo una interpretación conjunta del

estado del recurso. En lugar de incorporar nuevos parámetros, el sistema organiza los indicadores ya definidos bajo un marco de clasificación coherente con los criterios técnicos previamente establecidos.

Esta estructuración permitió transformar los resultados cuantitativos derivados del análisis poblacional y del esfuerzo de pesca en insumos comparables para la gestión, facilitando su posterior aplicación en contextos institucionales de monitoreo y ordenamiento. La definición operativa del protocolo estandarizado se presenta en la sección siguiente.

### **Indicadores generales del protocolo estandarizado**

Como se indicó previamente, la selección del núcleo operativo del modelo biológico-pesquero se basó en indicadores capaces de reflejar directamente procesos poblacionales fundamentales: crecimiento, reproducción, mortalidad y presión de pesca. Una vez definidos estos indicadores, fue necesario establecer rangos que permitieran diferenciar estados biológicos contrastantes de manera técnicamente defendible.

La delimitación de los umbrales se realizó a partir de principios clásicos de dinámica de poblaciones explotadas. En el caso de la talla de primera madurez ( $L_{50}$ ), se partió del criterio biológico mínimo de que una fracción mayoritaria de la población debe alcanzar al menos un evento reproductivo antes de ser capturada (Jacob-Cervantes & Aguirre-Villaseñor, 2014). Diversos enfoques de manejo precautorio sugieren que cuando menos del 40 % de los individuos capturados han alcanzado la madurez, existe riesgo de sobrepesca por crecimiento y reclutamiento, mientras que proporciones superiores al 70 % reflejan una mayor

probabilidad de reposición poblacional. El intervalo intermedio se interpreta como zona de advertencia.

Para la tasa de explotación (E), se adoptó como punto de referencia el valor teórico cercano a 0,5, comúnmente asociado a condiciones aproximadas de rendimiento máximo sostenible en modelos poblacionales simplificados (Sparre & Venema, 1998). Valores superiores indican incremento progresivo de presión pesquera, y umbrales mayores a 0,7 reflejan una intensidad de extracción que puede comprometer la estabilidad del stock si se mantiene en el tiempo.

En el caso de la relación F/M el fundamento es directo: cuando la mortalidad inducida por pesca supera la mortalidad natural, la extracción pasa a ser el principal factor de regulación poblacional (Caddy & Mahon, 1996). Valores significativamente mayores a 1 evidencian dependencia creciente de la explotación como determinante de la dinámica poblacional.

Para la captura por unidad de esfuerzo (CPUE), el criterio adoptado se basa en tendencias relativas más que en valores absolutos, dado que se trata de un indicador indirecto de abundancia. Variaciones sostenidas superiores al 20 % respecto a promedios históricos han sido utilizadas en sistemas de monitoreo como señales de alerta temprana en pesquerías artesanales tropicales (Gonzales et al., 2023).

Es importante señalar que, aunque el banco general de indicadores definido anteriormente incluye variables adicionales como índices de diversidad, nivel trófico o volumen de captura por comunidad, estos no fueron incorporados dentro del núcleo de clasificación diagnóstica. La razón principal es que tales indicadores cumplen funciones descriptivas, comparativas o contextuales, pero no permiten establecer con la misma claridad estados diferenciados de riesgo biológico asociados directamente a la dinámica poblacional del recurso explotado. En consecuencia, permanecen integrados en el protocolo como herramientas complementarias de

caracterización y análisis, pero no forman parte del sistema central de clasificación basado en umbrales biológicos.

Sobre esta base se consolidó el núcleo diagnóstico del protocolo metodológico, cuyos rangos se presentan en el Cuadro 3.

**Cuadro 3.** Núcleo de indicadores biológico-pesqueros y rangos de referencia del protocolo metodológico estandarizado.

Indicador	Condición estable	Condición de advertencia	Condición de riesgo biológico
Proporción de individuos $\geq$ talla de primera madurez ( $L_{50}$ )	$> 70$ % de la captura supera $L_{50}$	$40-70$ % supera $L_{50}$	$< 40$ % supera $L_{50}$
Captura por unidad de esfuerzo (CPUE)	Variación $\leq \pm 20$ % respecto al promedio histórico	Disminución $> 20$ % respecto al promedio histórico	Disminución sostenida y marcada en series temporales
Estructura de tallas	Presencia de múltiples cohortes y representación de adultos reproductivos	Reducción de clases de talla superiores	Predominio de juveniles y ausencia de adultos maduros
Tasa de explotación (E)	$E \leq 0,5$	$0,5 < E \leq 0,7$	$E > 0,7$
Relación mortalidad por pesca / mortalidad natural (F/M)	$F \leq M$	$M < F \leq 1,5 \cdot M$	$F > 1,5 \cdot M$
Reclutamiento	Patrón estable y recurrente en series temporales	Variabilidad interanual significativa	Disminución sostenida o ausencia de reclutas
Estacionalidad reproductiva	Periodos reproductivos identificados y protegidos	Captura parcial durante temporada reproductiva	Captura intensa durante picos reproductivos

Con el fin de traducir los rangos técnicos definidos en el Cuadro 3 en una herramienta de interpretación visual y operativa, se estructuró un sistema de clasificación tipo “semáforo”, que asocia cada condición biológica con una categoría cromática diferenciada.

**Cuadro 4.** Sistema de clasificación tipo “semáforo” para la interpretación diagnóstica biológico-pesquera.

Condición biológica	Color del sistema	Interpretación técnica	Implicación general para la gestión
Condición estable	Verde	Indicadores dentro de rangos compatibles con estabilidad poblacional y renovación adecuada del stock.	Mantener niveles actuales de extracción bajo monitoreo continuo y verificación periódica de indicadores.
Condición de advertencia	Amarillo	Presencia de señales tempranas de presión creciente o alteraciones en la estructura poblacional.	Aplicar medidas preventivas y ajustes precautorios para evitar transición a estado de riesgo.
Condición de riesgo biológico	Rojo	Valores que indican presión pesquera elevada o deterioro en procesos de crecimiento, reproducción o reclutamiento.	Implementar medidas correctivas orientadas a reducir la presión extractiva y favorecer la recuperación poblacional.

La clasificación cromática presentada en el Cuadro 4 sintetiza el estado biológico general del recurso a partir de los indicadores evaluados. No obstante, dado que cada variable responde a procesos poblacionales específicos, la naturaleza de las medidas de manejo debe ajustarse al tipo de alteración detectada. No todas las condiciones de riesgo obedecen a la misma causa biológica ni requieren la misma respuesta técnica.

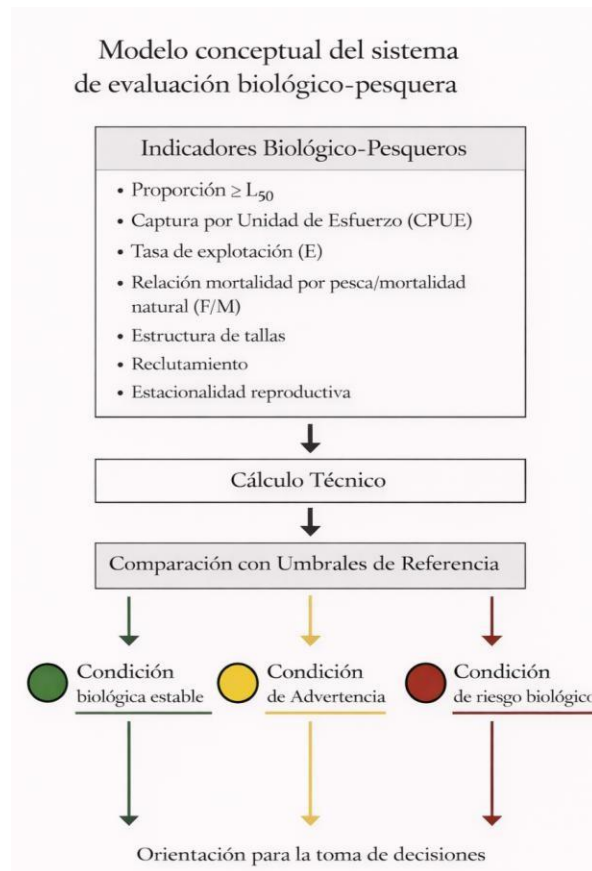
En consecuencia, se establecieron orientaciones diferenciadas según el indicador que active la señal diagnóstica, permitiendo vincular de manera directa el tipo de desequilibrio identificado con la acción de manejo más coherente desde el punto de vista biológico-pesquero. El Cuadro 5 presenta estas orientaciones técnicas específicas, concebidas como lineamientos generales para la toma de decisiones dentro del protocolo.

**Cuadro 5.** Orientaciones técnicas específicas según indicador y condición diagnóstica.

Indicador crítico	Condición amarilla (advertencia)	Condición roja (riesgo biológico)
Proporción $\geq L_{50}$	Reforzar control de tallas mínimas y promover mayor selectividad de artes de pesca.	Establecer o ajustar tallas mínimas obligatorias, aplicar vedas temporales y proteger áreas de crecimiento juvenil.
CPUE	Revisar intensidad del esfuerzo y fortalecer monitoreo temporal.	Reducir esfuerzo de pesca, limitar días de faena o implementar cierres espaciales temporales.
E (tasa de explotación)	Ajustar progresivamente el esfuerzo extractivo.	Reducir de forma inmediata el esfuerzo total y revisar cuotas o límites de captura.
Relación F/M	Evaluar reducción del número de embarcaciones o artes activas.	Aplicar reducción significativa del esfuerzo y revisar régimen de explotación.

Indicador crítico	Condición amarilla (advertencia)	Condición roja (riesgo biológico)
Estructura de tallas	Promover cambios en selectividad de redes o anzuelos.	Prohibir captura de juveniles y reforzar fiscalización en desembarques.
Reclutamiento	Reforzar monitoreo reproductivo y revisar cumplimiento de vedas.	Implementar vedas reproductivas estrictas y proteger zonas de reclutamiento.
Estacionalidad reproductiva	Ajustar periodos de protección temporal.	Establecer cierres completos durante picos reproductivos.

Con el propósito de integrar los elementos presentados en los Cuadros 3, 4 y 5 dentro de una estructura visual unificada, se elaboró el modelo conceptual del sistema de evaluación biológico-pesquera, el cual sintetiza la secuencia metodológica desarrollada en esta etapa. La Figura 2 representa gráficamente el proceso que articula la selección y cálculo de indicadores, la comparación con umbrales de referencia y la clasificación diagnóstica que orienta las decisiones de manejo.



**Figura 2.** Modelo conceptual del sistema de indicadores biológico-pesqueros para la evaluación y orientación de decisiones en pesquerías artesanales.

La estructuración del protocolo metodológico estandarizado, la delimitación de umbrales de referencia y la definición del sistema diagnóstico tipo semáforo completan el cumplimiento del cuarto objetivo específico del estudio. La integración de variables seleccionadas, su clasificación en rangos biológicos y su vinculación con orientaciones técnicas permitieron consolidar un marco operativo para la evaluación sistemática de pesquerías artesanales.

El modelo establece una secuencia metodológica que comprende el cálculo de indicadores, su comparación con umbrales definidos y su clasificación diagnóstica. Sobre esta base se procedió a la aplicación del sistema en el contexto del proyecto institucional en ejecución.

En la siguiente sección se presentan los resultados derivados de la aplicación del sistema de indicadores biológico-pesqueros en el estudio de caso seleccionado, con el fin de ilustrar su funcionamiento dentro de un escenario real de evaluación pesquera.

### **Aplicación del sistema de indicadores biológico-pesqueros en la pesquería de corvinas**

Con el fin de aplicar el sistema de indicadores biológico-pesqueros estructurado en las secciones anteriores, se seleccionó la pesquería de corvinas (familia Sciaenidae) correspondiente al proyecto institucional “Caracterización de la pesquería de corvinas capturadas por la flota de pequeña escala, Golfo de Nicoya, Costa Rica. Fase II: Zonas 201 y 202” (2024–2026), ejecutado por el Departamento de Investigación del Incopesca.

La aplicación se realizó utilizando información generada durante seis meses de muestreo continuo (enero-junio 2025) en distintas comunidades pesqueras ubicadas en las zonas 201 y 202 del Golfo de Nicoya. La base de datos incluyó registros de desembarques, tallas individuales, pesos, esfuerzo de pesca, número de jornadas y composición específica, obtenidos mediante muestreos directos en campo y la sistematización de formularios técnicos institucionales.

### **Caracterización biológico-pesquera del periodo evaluado**

Durante el periodo analizado, las capturas totales por jornada oscilaron entre 45 y 65 kg. La especie dominante fue la corvina reina (*Cynoscion albus*), que representó el 30,5 % de la

captura acumulada, seguida por *Cynoscion squamipinnis* (18,0 %) y *Cynoscion phoxocephalus* (13,5 %). Las especies acompañantes incluyeron *Trachinotus* sp., *Centropomus* sp. y *Lutjanus* sp., mientras que la captura incidental representó aproximadamente 1,4 % del total registrado.

En relación con la estructura de tallas, los promedios obtenidos fueron: 77,2 cm para *C. albus*, 41,3 cm para *C. squamipinnis*, 37,6 cm para *C. phoxocephalus*.

La talla de primera madurez sexual ( $L_{50}$ ) reportada para *C. albus* en el Golfo de Nicoya ha sido estimada en aproximadamente 75 cm de longitud total (Campos, 1992). Asimismo, criterios técnicos institucionales establecen valores de referencia de 55 cm para *C. albus*, 34 cm para *C. squamipinnis* y 32,7 cm para *C. phoxocephalus* (Incopesca, 2018).

Los valores promedio registrados durante el periodo evaluado se ubicaron dentro o por encima de estos rangos de referencia.

## **Selección de indicadores aplicados**

De acuerdo con los criterios definidos en el protocolo metodológico estandarizado y considerando la disponibilidad y consistencia de la información recopilada, se seleccionaron cinco indicadores para la aplicación del sistema diagnóstico:

Talla de primera madurez ( $L_{50}$ ), Captura por unidad de esfuerzo (CPUE), Composición de especies, Esfuerzo de pesca y Tasa de explotación ( $E = F / (F + M)$ ).

Otros indicadores contemplados en el protocolo general no fueron aplicados en esta evaluación específica debido a limitaciones temporales del muestreo o a la ausencia de series históricas completas para su estimación durante el periodo enero-junio 2025. La delimitación se realizó en función de la disponibilidad y calidad de los datos, manteniéndose la estructura metodológica previamente definida.

## **Aplicación del sistema diagnóstico**






Con base en los umbrales establecidos en el Cuadro 3 y la clasificación definida en el Cuadro 4, se procedió a categorizar los resultados obtenidos mediante el modelo tipo semáforo (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Resultados de la aplicación del sistema diagnóstico en la pesquería de corvinas (Zonas 201 y 202).

<b>Indicador</b>	<b>Resultado obtenido</b>	<b>Clasificación</b>
Proporción $\geq L_{50}$	Talla media $\geq L_{50}$ en especies dominantes	Verde
CPUE	60 % respecto al promedio histórico	Amarillo
Composición de especies	<i>Cynoscion</i> 62 %, otras especies 38 %	Amarillo
Esfuerzo de pesca	Estable respecto a registros previos	Verde
Tasa de explotación (E)	0,53	Verde

Tres indicadores se clasificaron en condición verde y dos en condición amarilla. No se registraron indicadores en condición roja durante el periodo evaluado.

Con el propósito de facilitar la interpretación integrada de los resultados presentados en el Cuadro 6, se incorpora la Figura 3, en la cual se representa gráficamente la clasificación diagnóstica obtenida para cada indicador mediante el sistema tipo semáforo. Esta representación visual permite sintetizar de manera clara el estado relativo de los parámetros evaluados, mostrando de forma inmediata las condiciones estables y aquellas que requieren seguimiento preventivo. La figura no sustituye el análisis técnico expuesto en el cuadro anterior, sino que lo complementa, reforzando la lectura comparativa del conjunto de indicadores aplicados en el estudio de caso.

<b>Proporción <math>\geq L_{50}</math></b>	Talla media $\geq L_{50}$ en especies dominantes	
<b>CPUE</b>	60 % respecto al promedio histórico	
<b>Composición de especies</b>	Cynoscion 62 %, otras especies 38 %	
<b>Esfuerzo de pesca</b>	Estable respecto a registros previos	
<b>Tasa de explotación (E)</b>	0,53	

**Figura 3.** Representación visual del sistema tipo semáforo aplicado a los indicadores biológico-pesqueros evaluados en la pesquería de corvinas (Zonas 201 y 202, Golfo de Nicoya).

La aplicación permitió ejecutar la secuencia de selección, cálculo y clasificación diagnóstica de los indicadores conforme a los parámetros definidos en el protocolo metodológico.

### **Proyección operativa dentro del proyecto en ejecución**

En el contexto del proyecto institucional actualmente en desarrollo, la incorporación formal del sistema permitiría integrar los registros generados en campo dentro de un esquema diagnóstico estandarizado. Bajo esta estructura, los datos obtenidos en muestreos sucesivos podrían procesarse de acuerdo con los umbrales definidos en el protocolo, posibilitando la clasificación periódica de los indicadores y el seguimiento comparativo entre ciclos de evaluación.

La aplicación descrita operacionaliza el sistema de indicadores biológico-pesqueros estructurado en fases anteriores, permitiendo ejecutar la secuencia metodológica definida en el protocolo.

### **Fortalecimiento de competencias técnicas y capacidades locales**

En cumplimiento del objetivo específico 5, se desarrollaron actividades orientadas al fortalecimiento de competencias técnicas del pasante y a la transferencia metodológica hacia actores vinculados al sector pesquero artesanal.

Durante el periodo de ejecución de la pasantía, el pasante participó en procesos institucionales de investigación aplicada que incluyeron la depuración y análisis de bases de datos biológico-pesqueras, estimación de parámetros poblacionales, cálculo de indicadores y elaboración de reportes técnicos internos dirigidos al Departamento de Investigación del Incopesca. Estas actividades implicaron el uso operativo de herramientas como RStudio, FISAT II, FishBase y Microsoft Excel, aplicadas al procesamiento de registros históricos y datos de campo generados en el proyecto de corvinas.

Como parte de la integración institucional, se colaboró en reuniones técnicas de seguimiento del proyecto, revisión de formularios de muestreo y sistematización de información proveniente de comunidades pesqueras del Golfo de Nicoya. La participación en estas actividades permitió ejecutar de manera práctica los procedimientos descritos en el protocolo metodológico desarrollado en el presente estudio.

En el marco de dicha integración institucional, los productos técnicos derivados de dichas actividades (incluyendo insumos metodológicos, aportes a bases de datos y contribuciones a materiales de capacitación) se incorporaron directamente a la dinámica operativa del proyecto en ejecución. Debido a que estos productos forman parte de los procesos internos y entregables institucionales del Incopesca, no se presentan de manera detallada en el presente informe, el cual se concentra en describir el aporte metodológico desarrollado y su articulación con las actividades realizadas durante la pasantía.

De manera paralela, se realizaron espacios de socialización y capacitación (cuatro actividades en total) dirigidos a pescadores artesanales y personal técnico local, en los cuales se presentaron los fundamentos del sistema de indicadores biológico-pesqueros y su aplicación dentro del modelo tipo semáforo.

Estas actividades incluyeron: Presentaciones técnicas y descriptivas sobre talla mínima de madurez y su relación con la sostenibilidad del recurso, Explicación del cálculo básico de CPUE y su interpretación operativa, Revisión conjunta de registros de captura y esfuerzo, Discusión sobre la importancia del monitoreo continuo.

La evidencia documental de estas actividades, incluyendo el manual de campo, y registros fotográficos, se presenta en los Anexos 1 y 2.

La ejecución de estas acciones permitió incorporar el sistema de indicadores dentro de un proceso participativo de intercambio técnico, articulando el trabajo de campo, el análisis institucional y la socialización comunitaria en el marco del proyecto en ejecución en el Golfo de Nicoya.

En síntesis, esta fase no solo permitió validar un modelo técnico, sino también consolidar un proceso de formación profesional y empoderamiento local, en el que la ciencia aplicada se convierte en una herramienta de aprendizaje colectivo. El fortalecimiento de competencias técnicas y comunitarias constituye, por tanto, un resultado transversal que refuerza la sostenibilidad del trabajo desarrollado durante la pasantía y su impacto social en las zonas pesqueras del Golfo de Nicoya.

## **Discusión de resultados**

### **Interpretación biológica integrada del sistema aplicado**

La aplicación del protocolo metodológico (“sistema semáforo) permitió analizar la pesquería de corvinas del Golfo de Nicoya desde una perspectiva integrada, articulando indicadores de estructura poblacional, presión extractiva y dinámica productiva. Este enfoque responde a los principios clásicos de evaluación de pesquerías tropicales artesanales, donde la información disponible suele ser limitada y se requiere combinar múltiples señales indirectas para aproximarse al estado del recurso (Sparre & Venema, 1998; FAO, 2015).

La predominancia de individuos con tallas iguales o superiores a la talla de primera madurez constituye un elemento central del diagnóstico biológico. En poblaciones explotadas, la captura sistemática de individuos que aún no han contribuido reproductivamente genera riesgo de sobrepesca por reclutamiento, reduciendo la capacidad de renovación del stock (Caddy & Mahon, 1996). En este caso, la proporción observada sugiere que una fracción

significativa de la población alcanza la madurez antes de ser extraída, condición compatible con esquemas de explotación que no comprometen inmediatamente la reposición generacional. Sin embargo, la interpretación debe considerar que la talla media por sí sola no garantiza estabilidad poblacional. Es necesario analizarla en conjunto con la estructura completa de tallas y con la intensidad de mortalidad inducida por pesca. La coherencia observada entre talla media adecuada, presencia de múltiples cohortes y tasa de explotación intermedia fortalece la interpretación de estabilidad relativa durante el periodo evaluado.

### **Dinámica de abundancia relativa y señales tempranas de presión**

El comportamiento de la CPUE clasificada en condición de advertencia introduce un matiz importante dentro del diagnóstico general. La captura por unidad de esfuerzo es ampliamente utilizada como indicador indirecto de abundancia relativa, particularmente en pesquerías artesanales donde no se dispone de estimaciones directas de biomasa (FAO, 2015). Descensos sostenidos pueden reflejar reducción en la densidad poblacional, cambios en la distribución espacial o variaciones en la eficiencia del arte de pesca.

En el presente caso, la disminución relativa respecto a los promedios institucionales previamente registrados para la misma pesquería y zona de estudio no se acompaña de una reducción en la talla media ni de un incremento crítico en la tasa de explotación. Esta disociación sugiere que la variación podría estar asociada a fluctuaciones ambientales o dinámicas espaciales, más que a un deterioro estructural inmediato del stock. No obstante, la literatura advierte que cambios en CPUE suelen preceder modificaciones en estructura de tallas cuando la presión se intensifica progresivamente (Sparre & Venema, 1998). Por ello, el indicador cumple una función preventiva dentro del sistema.

## **Composición específica y resiliencia ecológica**

La dominancia del género *Cynoscion* es consistente con estudios previos en el Golfo de Nicoya (Guzmán-Sánchez, 2019; Villalobos-Rojas et al., 2014). En sistemas tropicales artesanales, la especialización hacia especies de mayor valor comercial es frecuente. Sin embargo, la permanencia de especies acompañantes contribuye a mantener una estructura comunitaria funcionalmente diversa.

Desde una perspectiva ecológica, la diversidad de especies explotadas puede amortiguar variaciones ambientales y reducir la dependencia excesiva de una sola población objetivo (Salas et al., 2007). La estabilidad observada en la composición, sin dominancias extremas ni reducción drástica de especies secundarias, sugiere que el sistema mantiene cierto grado de resiliencia.

No obstante, la tendencia hacia una concentración progresiva en pocas especies comerciales podría generar vulnerabilidad a mediano plazo, especialmente si factores ambientales o reproductivos afectan diferencialmente al género dominante.

## **Relación entre esfuerzo de pesca y tasa de explotación**

La estabilidad del esfuerzo de pesca constituye un elemento clave para interpretar la tasa de explotación estimada. En modelos poblacionales simplificados, valores de  $E$  cercanos a 0,5 se asocian con escenarios próximos al rendimiento máximo sostenible teórico (Sparre & Venema,

1998). El valor observado indica una presión extractiva intermedia, sin evidencia de sobreexplotación crítica durante el periodo analizado.

La relación F/M, cuando la mortalidad por pesca no supera ampliamente la mortalidad natural, sugiere que la extracción no es el único factor regulador dominante de la dinámica poblacional (Caddy & Mahon, 1996). Esta coherencia entre indicadores refuerza la interpretación integrada del diagnóstico.

Es importante subrayar que la estabilidad actual no implica ausencia de riesgo futuro. En sistemas tropicales, pequeñas variaciones en esfuerzo o reclutamiento pueden alterar rápidamente el equilibrio poblacional, particularmente en especies con ciclos reproductivos específicos o dependencia de hábitats críticos.

### **Aporte metodológico del sistema de indicadores**

Más allá del estado biológico puntual, uno de los aportes centrales del estudio radica en la estructuración de un sistema diagnóstico articulado. La combinación de indicadores permitió evitar análisis fragmentados y facilitó la identificación de señales coherentes o discordantes entre variables.

La implementación del modelo tipo semáforo constituye una herramienta de síntesis que traduce umbrales técnicos en categorías interpretativas comprensibles. De acuerdo con la FAO (2015), los sistemas de clasificación simplificados pueden mejorar la comunicación entre técnicos y actores locales, siempre que estén respaldados por criterios metodológicos claros y replicables.

En este caso, la coherencia interna observada entre los indicadores —sin contradicciones significativas entre talla, explotación y esfuerzo— respalda la funcionalidad del esquema integrador.

### **Limitaciones del estudio**

El periodo de muestreo limitado a seis meses constituye la principal restricción para evaluar tendencias interanuales. Las pesquerías tropicales presentan variabilidad asociada a estacionalidad reproductiva, condiciones oceanográficas y factores climáticos. Un periodo más prolongado permitiría discriminar entre fluctuaciones temporales y cambios estructurales. Adicionalmente, el análisis se concentró en la dimensión biológico-pesquera. La ausencia de indicadores socioeconómicos impide evaluar integralmente la sostenibilidad bajo un enfoque de triple dimensión (ecológica, económica y social), como recomiendan Salas et al. (2007).

### **Implicaciones para manejo adaptativo**

La integración de indicadores biológicos con un esquema de interpretación estandarizado ofrece una base técnica para fortalecer procesos de monitoreo continuo. El sistema permite detectar señales tempranas de advertencia antes de alcanzar condiciones críticas, coherente con enfoques de manejo precautorio.

La experiencia desarrollada evidencia que es posible estructurar un protocolo metodológico adaptable a contextos institucionales con disponibilidad de datos limitada, lo cual resulta particularmente relevante en pesquerías artesanales de pequeña escala.

En términos generales, los resultados sugieren que la pesquería evaluada se encuentra en una condición de estabilidad relativa durante el periodo analizado, aunque con señales preventivas que requieren seguimiento técnico continuo.

### **Relevancia de la pasantía en su perfil profesional y conocimientos adquiridos de la experiencia**

La pasantía constituyó una experiencia formativa significativa al permitir la participación directa en procesos institucionales de análisis biológico-pesquero. La intervención en la sistematización de información, evaluación de herramientas analíticas y estructuración de un protocolo metodológico favoreció la integración entre conocimientos teóricos adquiridos durante la formación académica y su aplicación en un contexto real de gestión pesquera.

El diseño del conjunto de indicadores biológico-pesqueros implicó el análisis crítico de variables ecológicas y productivas, así como la revisión de criterios técnicos utilizados en evaluación de recursos marinos. Este proceso contribuyó al fortalecimiento de habilidades relacionadas con la selección de parámetros relevantes, la interpretación de información cuantitativa y la articulación entre fundamentos biológicos y decisiones de manejo.

La estructuración del protocolo metodológico estandarizado requirió organizar procedimientos de manera secuencial y coherente, lo que permitió desarrollar competencias asociadas a la planificación técnica, sistematización de procesos y redacción metodológica. La incorporación del modelo tipo semáforo como herramienta de síntesis favoreció la comprensión de la importancia de traducir información técnica en formatos interpretativos accesibles, particularmente en contextos donde convergen actores con distintos niveles de formación.

La aplicación del sistema en el estudio de caso de corvinas permitió enfrentar el análisis de datos reales bajo condiciones operativas, fortaleciendo la capacidad de interpretar indicadores en escenarios concretos. La interacción con personal técnico institucional y con actores del sector pesquero artesanal aportó una comprensión más amplia de la complejidad ecológica y social asociada a la gestión de recursos marino-costeros.

En el ámbito profesional, la experiencia contribuyó al desarrollo de competencias en análisis estadístico básico aplicado a pesquerías, uso de herramientas especializadas (RStudio, FISAT II, FishBase y Excel), redacción técnica y comunicación de resultados. Asimismo, permitió identificar áreas que requieren fortalecimiento continuo, tales como el manejo de modelos poblacionales más complejos y la integración de dimensiones socioeconómicas en esquemas de evaluación.

En conjunto, la pasantía favoreció la consolidación de un perfil profesional orientado hacia la evaluación y el monitoreo de recursos pesqueros, con comprensión de los principios biológicos, metodológicos y operativos que sustentan la gestión sostenible.

La experiencia permitió dimensionar las diferencias entre el análisis académico y la gestión institucional, evidenciando la necesidad de adaptar herramientas científicas a condiciones operativas reales, sin comprometer rigurosidad metodológica.

## **Conclusiones y recomendaciones**

El desarrollo de la pasantía permitió consolidar un proceso de análisis integral sobre el estado de las pesquerías artesanales del Pacífico costarricense, en el que se combinaron la construcción de indicadores biológico-pesqueros, la elaboración de un protocolo metodológico estandarizado y su validación mediante un estudio de caso aplicado. Esta experiencia demostró

que es posible generar herramientas científicas adaptadas a las condiciones locales, capaces de fortalecer la gestión participativa y de orientar decisiones técnicas basadas en evidencia. A través del diseño, selección y aplicación de indicadores, el trabajo permitió avanzar hacia la estandarización de criterios técnicos que orientan la evaluación de poblaciones explotadas, aportando lineamientos prácticos que fortalecen la toma de decisiones en contextos donde la pesca constituye una fuente esencial de sustento económico y social.

El diseño del conjunto de indicadores biológico-pesqueros representó un avance metodológico significativo, al establecer parámetros cuantificables y comparables que permiten evaluar el estado de los recursos de manera objetiva. La integración de los indicadores dentro del modelo tipo semáforo evidenció su utilidad como herramienta de diagnóstico rápido y comunicación visual, pues traduce información científica compleja en representaciones comprensibles tanto para técnicos e investigadores como para los pescadores artesanales. Esta innovación constituye un aporte metodológico relevante para la gestión pesquera costarricense, al favorecer la replicabilidad del modelo y su eventual institucionalización en los procesos de monitoreo y evaluación de los recursos marinos.

El estudio de caso centrado en la pesquería de corvinas (Familia Sciaenidae) validó la pertinencia y aplicabilidad del modelo diseñado. A partir del análisis de seis meses de datos biológicos y pesqueros, fue posible elaborar un diagnóstico preliminar que reveló condiciones favorables de sostenibilidad, tales como tallas medias por encima de la talla de primera madurez, esfuerzos de pesca estables y tasas de explotación dentro de los rangos de sostenibilidad biológica. Estos resultados demuestran que, incluso en escenarios con bases de datos limitadas, el modelo puede generar información útil para el manejo adaptativo y la planificación de estrategias de conservación, siempre que se mantenga un monitoreo constante que permita evaluar las tendencias a largo plazo.

Asimismo, la experiencia reafirmó la relevancia de involucrar activamente a las comunidades pesqueras en la generación y validación de la información. La participación de los pescadores en la toma de datos y en la socialización de los resultados fortaleció la legitimidad de los hallazgos y redujo los posibles sesgos derivados de procesos exclusivamente técnicos. Este componente participativo no solo mejoró la calidad de los datos, sino que además impulsó una cultura de corresponsabilidad en el manejo de los recursos, en consonancia con el enfoque ecosistémico y las recomendaciones internacionales para el manejo pesquero sostenible. De esta manera, la pasantía integró la dimensión técnica con la dimensión social del ordenamiento, generando un modelo de trabajo que combina ciencia, institucionalidad y conocimiento local.

En el ámbito profesional, la pasantía constituyó un espacio formativo clave para fortalecer las competencias técnicas y analíticas del pasante, particularmente en la aplicación de metodologías de evaluación pesquera, el uso de software especializado y la interpretación de resultados biológicos y estadísticos. El proceso también permitió desarrollar habilidades transversales en comunicación científica, redacción técnica y gestión de la información, así como destrezas sociales vinculadas con la educación ambiental, la divulgación y la coordinación con actores comunitarios. Esta experiencia consolidó un perfil profesional más completo, que integra la capacidad técnica con una visión participativa y responsable del ejercicio de la biología marina aplicada.

A partir de los resultados alcanzados, se considera fundamental dar continuidad al fortalecimiento de los sistemas de monitoreo biológico-pesquero en el país, de modo que se amplíen las bases de datos disponibles y se incremente la representatividad temporal y espacial de los indicadores. Es necesario consolidar el modelo tipo semáforo como una herramienta oficial de diagnóstico y gestión dentro de los programas de evaluación pesquera institucionales, adaptándolo a las particularidades de otras especies y zonas de pesca. Del mismo modo, resulta prioritario mantener y ampliar los procesos de capacitación comunitaria orientados a la toma de datos, asegurando registros con validez científica y pertinencia local.

Estas acciones permitirían mejorar la calidad de la información y fortalecer la apropiación social de los resultados, garantizando la sostenibilidad del modelo a largo plazo.

Se recomienda promover la institucionalización del modelo tipo semáforo como una herramienta oficial de evaluación y seguimiento pesquero dentro del marco operativo de Inopesca y en coordinación con el SINAC y otras entidades del sector. La adopción formal de este modelo permitiría estandarizar los criterios de diagnóstico del estado de las pesquerías, facilitar la toma de decisiones basada en evidencia científica y fortalecer la transparencia en los procesos de ordenamiento. Además, su incorporación en los lineamientos técnicos institucionales contribuiría a la creación de una plataforma nacional de monitoreo pesquero, donde los indicadores biológicos, sociales y económicos puedan actualizarse periódicamente, asegurando la continuidad del proceso más allá de los proyectos o pasantías individuales. Esta institucionalización representa un paso clave hacia la consolidación de un sistema de gestión pesquera adaptativo, participativo y sostenible, en coherencia con los compromisos nacionales e internacionales de conservación de los recursos marinos.

## Referencias

Bertolotti, M. (2016). *Pesquerías artesanales latinoamericanas: Diagnóstico, gestión y desafíos*. Universidad Nacional de Mar del Plata.

Caddy, J. F., & Mahon, R. (1996). *Reference points for fisheries management* (FAO Fisheries Technical Paper No. 347). Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Campos, E., & Morales, M. (2010). Estructura de las comunidades pesqueras artesanales del Pacífico costarricense. *Revista de Ciencias del Mar*, 28(2), 71–86.

Campos, J. A. (1992). Estimates of length at first sexual maturity in *Cynoscion* spp. (Pisces: Sciaenidae) from the Gulf of Nicoya, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 40(2), 239–241.

Chacón-Chaverri, D., Martínez-Cascante, D. A., Rojas, D., & Fonseca, L. G. (2015). Captura por unidad de esfuerzo y estructura poblacional de la tortuga verde de Pacífico (*Chelonia mydas*) en el Golfo Dulce, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 63, 363-373.

Costa Rica. (1987). Ley N.º 7064: Ley de creación del Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura (Incopesca). *La Gaceta*, N.º 283.

Costa Rica. (1994). Ley N.º 7384: Ley General de Pesca y Acuicultura. *La Gaceta*, N.º 126.

Costa Rica. (2005). Ley N.º 8436: Ley de Conservación y Aprovechamiento Sostenible de la Diversidad Biológica. *La Gaceta*, N.º 213.

Duarte, L. O., Cuello, F., & Villegas, C. (2005). Evaluación de indicadores biológico-pesqueros para la sostenibilidad de las pesquerías tropicales. *Revista Colombiana de Ciencias del Mar*, 40(1), 45–60.

Estrada, N. L., & Ruiz, L. E. S. (2024). *Reconstrucción histórica de las capturas (1970–2021) y análisis poblacional de la cabrilla sardinera del norte y centro del Golfo de California usando el método CMSY* [Tesis de licenciatura, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE)]. Repositorio Institucional CICESE. <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/4138>

FAO. (2015). *Directrices para el manejo pesquero responsable*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

FAO. (2023). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022: Hacia la transformación azul*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Guerrero, L. (2021). *Gestión comunitaria y co-manejo pesquero en Costa Rica: Avances y desafíos*. Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura.

Gonzales, J. A. C., García, D. E. G., & Duque, G. (2023). Variación de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de la pesca artesanal y su sustentabilidad en relación con las variables ambientales en el pacífico colombiano. *RIAA*, 14(2), 10.

Guzmán-Mora, A., & Molina-Ureña, H. (2007). *Pesquerías artesanales en Costa Rica: Diagnóstico y perspectivas*. Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura; Universidad de Costa Rica.

Guzmán-Sánchez, L. (2019). *Aplicación de indicadores ecológicos y pesqueros en el manejo sostenible de recursos marinos* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Costa Rica].

Incopesca. (s. f.). *Informe técnico sobre el monitoreo de pesquerías artesanales*. Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura.

Incopesca. (2018). *AJDIP-026-18. Establece las tallas legales de primera captura (TLPC) respondiendo a las tallas de primera madurez sexual (TPMS) y la zonificación pesquera del Golfo de Nicoya*. Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura

INE. (2001). *Informe sobre la situación ambiental y de los recursos naturales en Centroamérica*. Instituto Nacional de Ecología.

Jacob-Cervantes, M. L., & Aguirre-Villaseñor, H. (2014). Inferencia multimodelo y selección de modelos aplicados a la determinación de L50 para la sardina crinuda *Opisthonema libertate* del sur del Golfo de California. *Ciencia Pesquera*, 22(1), 61-68.

Mendoza, P., Hernández, J., & Vega, D. (2021). Análisis de sostenibilidad de pesquerías artesanales mediante indicadores biológicos y socioeconómicos. *Revista Ciencias del Mar y Acuicultura*, 59(2), 101–118.

Miranda, L., Ramos, C., & Fernández, R. (2013). Evaluación de indicadores biológicos en pesquerías tropicales. *Boletín Científico de la Universidad de Panamá*, 17(1), 55–72.

OCDE. (2023). *Revisión de políticas pesqueras en América Latina*. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos.

Pérez, J. A. (2015). *Evaluación de parámetros biológicos en pesquerías artesanales del Pacífico mexicano* [Tesis de maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada]. Repositorio Institucional CICESE. <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/4138>

Polanía, J. (2010). *Lineamientos de gobernanza para el manejo pesquero participativo*. Universidad del Magdalena.

Salas, S., Chuenpagdee, R., & Charles, A. (2007). *Pesquerías artesanales en América Latina: Contexto, desafíos y oportunidades* (FAO Documento Técnico de Pesca No. 511). FAO.

SINAC. 2013. *Evaluación de las pesquerías en la parte interna del Golfo de Nicoya. Proyecto Consolidación de las Áreas Marinas Protegidas de Costa Rica*. SINAC-PNUD-GEF.

Soto Rojas, R. L., Mejía-Arana, F., Palacios, J. A., & Hiramatsu, K. (2009). Reproducción y crecimiento del pargo mancha *Lutjanus guttatus* (Pisces: Lutjanidae) en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 57(1-2), 125-131.

Sparre, P., & Venema, S. C. (1998). *Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales* (FAO Documento Técnico de Pesca N.º 306/1, Rev. 2). FAO.

Tapia, M., Vargas, L., & Pizarro, D. (2014). Participación comunitaria en el monitoreo de pesquerías artesanales: un enfoque de co-manejo. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 9(1), 33–47.

Valencia, C. (2025). *Facultad de ecología marina doctorado en ciencias en recursos naturales y ecología* [Tesis Doctoral, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste].

Villalobos-Rojas, C., Chacón, C., & Alfaro, R. (2014). *Evaluación del esfuerzo y rendimiento en pesquerías del Golfo de Nicoya* (Informe técnico). Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura.

Yagual, M. (2023). *Aplicación de modelos semafóricos para la evaluación rápida de pesquerías* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Manabí].

## **Anexos**

Los anexos complementan el cuerpo principal del trabajo mediante la incorporación de instrumentos técnicos, formatos operativos y materiales utilizados durante la pasantía. Estos documentos permiten evidenciar la estructura metodológica aplicada y facilitan la reproducibilidad del protocolo propuesto en contextos similares de monitoreo biológico-pesquero.

**Anexo 1.** Protocolo estandarizado para la evaluación del estado de las pesquerías artesanales en Costa Rica (Formato de Manual de Campo).

### **Propósito del manual**

El presente manual tiene como finalidad orientar de manera práctica y estandarizada la aplicación del protocolo de evaluación biológico-pesquera en pesquerías artesanales. Está diseñado para ser utilizado por personal técnico, estudiantes y pescadores capacitados, con el objetivo de garantizar consistencia metodológica, comparabilidad de datos y calidad en los registros obtenidos.

## **Preparación previa al muestreo**

Antes de iniciar el proceso de recolección de datos, se debe:

Coordinar con la comunidad pesquera participante, explicando objetivos y alcances del monitoreo.

Designar responsables de la toma de datos.

Revisar y preparar los siguientes materiales:

Formularios impresos o dispositivos electrónicos para registro.

Báscula digital portátil (rango aproximado 0,01–50 kg).

Ictiómetro o cinta métrica rígida (cm).

Recipientes plásticos para separación de especies.

Bolsas o etiquetas para muestras biológicas (cuando aplique).

Dispositivo GPS para registro de áreas de pesca.

Cámara fotográfica (opcional) para validación taxonómica.

## **Procedimiento de campo**

### **Identificación y registro de captura**

Separar las capturas por especie.

Identificar cada especie utilizando claves o guías locales.

Registrar peso total (kg) y número de individuos por especie.

Para especies objetivo, seleccionar una muestra representativa (idealmente  $\geq 30$  individuos cuando la captura lo permita).

### **Datos biológicos**

Para cada individuo muestreado:

Medir longitud total (cm).

Registrar peso individual (g o kg).

Determinar sexo y estado de madurez gonadal cuando sea factible (escala macroscópica).

Clasificar como juvenil o adulto según talla de primera madurez ( $L_{50}$ ) reportada.

### **Datos pesqueros**

Número de viajes o lances.

Duración de la faena (horas).

Tipo de arte de pesca empleado.

Área aproximada de captura (coordenadas o nombre local).

### **Organización y procesamiento de la información**

Consolidar registros diarios en una base de datos estandarizada (Excel o software estadístico).

Calcular CPUE (se recomienda kg/viaje o en su defecto se puede utilizar kg/hora, no obstante, se debe estandarizar, utilizar solo una forma de cálculo).

Agrupar longitudes en clases (ej. intervalos de 2 cm).

Calcular proporción de juveniles (%).

Determinar composición específica (% biomasa relativa).

Estimar indicadores poblacionales adicionales cuando la información lo permita (E, F/M, etc.).

## Aplicación del modelo tipo semáforo

La clasificación diagnóstica debe realizarse comparando los indicadores obtenidos con los rangos definidos en el protocolo general del estudio.

Indicador	Verde (estable)	Amarillo (advertencia)	Rojo (riesgo)	Orientación general
CPUE	Variación $\leq \pm 20$ % respecto al promedio histórico	Disminución $> 20$ %	Disminución sostenida marcada	Revisar esfuerzo y monitorear tendencia
Proporción $\geq L_{50}$	$> 70$ %	40–70 %	$< 40$ %	Ajustar selectividad y control de tallas
Juveniles	$< 20$ %	20–40 %	$> 40$ %	Evaluar protección de reclutas
Tasa de explotación (E) $\leq 0,5$		0,5–0,7	$> 0,7$	Revisar intensidad extractiva

Nota: Los umbrales pueden ajustarse según especie y contexto ecológico, siempre que exista sustento técnico documentado.

## Comunicación de resultados

Presentar los diagnósticos mediante representación visual tipo semáforo.

Socializar resultados en reuniones participativas con las comunidades pesqueras.

Remitir informes técnicos a las instancias correspondientes.

## **Consideraciones éticas**

Reconocer la colaboración de los pescadores en la generación de datos.

Devolver la información a la comunidad en formatos comprensibles.

Respetar tiempos y dinámicas locales.

### **Anexo 1.** Evidencia fotográfica de actividades de campo y capacitación.

El presente anexo reúne el registro fotográfico de las actividades desarrolladas en el marco del fortalecimiento de capacidades técnicas y la transferencia metodológica vinculadas al protocolo de indicadores biológico-pesqueros. Las imágenes documentan sesiones de capacitación dirigidas a pescadores artesanales y personal técnico, así como espacios de socialización de resultados obtenidos durante la aplicación del modelo en el Golfo de Nicoya.

Las actividades fueron realizadas entre enero y junio de 2025 en comunidades pesqueras de las zonas 201 y 202, como parte del proyecto institucional en ejecución. El material visual constituye evidencia complementaria del proceso participativo descrito en el capítulo de resultados, reflejando la interacción entre el componente técnico del estudio y los actores locales involucrados en la generación y análisis de la información. Las fotografías fueron tomadas con autorización de los participantes y se incluyen exclusivamente con fines académicos y de respaldo documental.

