

## **Propuesta de Consultoría: Evaluación del impacto del arte de pesca de palangre y línea de mano en el hábitat y ecosistema de la pesquería de escama del Golfo de México**

### **1. Introducción**

La presente propuesta responde a la necesidad de evaluar el impacto del palangre y la línea de mano sobre el hábitat y el ecosistema de la pesquería multiespecífica de escama asociada a bagre bandera (*Bagre marinus*), pargo bíaiba (*Lutjanus synagris*) y besugo (*Rhomboplites aurorubens*) en Nuevo Campechito (Campeche) y Celestún (Yucatán), en el marco del FIP del Golfo de México. El análisis se orienta al cumplimiento del Principio 2 del estándar del Marine Stewardship Council (MSC), que exige demostrar que la pesquería mantiene la estructura, productividad, función y diversidad del ecosistema. En particular, la consultoría contribuirá a generar evidencia técnica para evaluar impactos de las artes de pesca sobre la selectividad y vulnerabilidad de especies objetivo. Adicionalmente, se enfatizará el impacto sobre especies sensibles como los elasmobranquios y hábitats vulnerables. La propuesta se sustenta en la experiencia previa del grupo de trabajo en evaluación de impactos ecosistémicos de pesquerías artesanales en México. Se proponen el uso de modelos tróficos cuantitativos (Ecopath with Ecosim) y modelos de redes tróficas cualitativos basados en conocimiento ecológico local (LEK). Este enfoque ha demostrado ser eficaz para generar evidencia cuantificable en contextos de datos limitados (Cisneros et al. 2020; Zetina-Rejón et al. 2022). La propuesta busca enfocarse en el perfil de selectividad ecológica y el riesgo asociado a cada arte de pesca, integrando metodologías complementarias.

### **2. Enfoque metodológico integrado**

El diseño metodológico combina modelación ecosistémica cuantitativa, análisis de redes tróficas y evaluación de riesgo basada en productividad-susceptibilidad.

#### **2.1 Análisis de selectividad y PSA**

El análisis de selectividad se basará en las bitácoras del FIP e incluirá la comparación de composición específica por arte y localidad, cuantificación de tasas de captura incidental por unidad de esfuerzo, estimación de índices de selectividad, identificación de especies vulnerables como elasmobranquios. Este componente permitirá determinar diferencias en focalización hacia especies objetivo y presión sobre especies secundarias (captura incidental), proporcionando evidencia directa para PI 2.1 y PI 2.2. Los resultados del análisis de selectividad se incorporarán en un análisis de productividad-susceptibilidad (PSA) siguiendo el enfoque similar de Saldaña-Ruiz et al. (2022). Este análisis se aplicará a especies objetivo, secundarias y ETP (tiburones). El PSA integra atributos de historia de vida de las especies (productividad biológica) y operativos (susceptibilidad de la especie al arte de pesca, selectividad y mortalidad entre otros). Este análisis permitirá identificar especies vulnerables y comparar el riesgo diferencial entre palangre y línea de mano.

#### **2.2 Impactos sobre el hábitat**

Considerando que palangre y línea de mano operan principalmente en la columna de agua o con contacto puntual con el fondo, se estimará la probabilidad de interacción con hábitats sensibles, más que perturbaciones físicas directas. Se analizará la operatividad de los artes, integrando monitoreo participativo y validación con pescadores para documentar prácticas reales y posible pérdida de aparejos. Con esta información se documentará el PI 2.4.

#### **2.3 Impactos sobre el ecosistema**

El análisis temporal de estos indicadores permitiría analizar cambios temporales relacionados con los efectos de la pesca y cambios ambientales. De igual manera, se pueden cuantificar indicadores a nivel de especies o grupos funcionales que revelan el rol, conectividad y posición de cada especie (e.g. nivel trófico, índices de grado e intermediación, entre otros). Los indicadores permitirán identificar cuatro tipos de impactos: (1) impactos directos sobre especies, asociados a mortalidad de especies objetivo e incidentales, con especial atención a tiburones; (2) impactos directos sobre hábitat; (3) impactos indirectos sobre especies no objetivo derivados de la extracción de biomasa y posibles cascadas ecológicas; y (4) impactos indirectos en el funcionamiento del ecosistema como consecuencia del efecto en procesos claves.

Se implementará un enfoque de modelación de redes ecológicas para evaluar la vulnerabilidad del ecosistema frente a la extracción pesquera, integrando redes tróficas cualitativas basadas en conocimiento ecológico local de pescadores (LEK) con un análisis de Productividad–Susceptibilidad (PSA). El objetivo metodológico será: (1) construir un modelo de red a partir de encuestas, (2) caracterizar la estructura de dicha red mediante indicadores topológicos y (3) identificar escenarios de pérdida de organización ecológica mediante simulaciones de ataques dirigidos y errores aleatorios, siguiendo marcos recientes desarrollados para pesquerías artesanales en contextos de información limitada. (Zetina et al., 2022)

La información de base se obtendrá mediante entrevistas estructuradas a pescadores, utilizando un formato estandarizado que incluirá datos generales del entrevistado, listado de especies que conoce y captura (comerciales

y no comerciales) y descripción de las principales relaciones depredador–presa para cada especie identificada. Cada entrevista se codificará con un identificador único y se registrarán, para cada depredador, las presas mencionadas. Posteriormente, se procederá a la estandarización taxonómica de las especies, homologando nombres comunes a nombres científicos y agrupándolas en grupos funcionales de acuerdo con similitudes en dieta, hábitat y rasgos de historia de vida. A partir de esta sistematización se construirá una matriz binaria depredador × presa, que representará la presencia/ausencia de interacciones tróficas entre grupos funcionales, la cual será revisada y, cuando sea necesario, contrastada con literatura especializada para reducir sesgos asociados a la percepción de los entrevistados.

Con la matriz depredador–presa se generará una red trófica cualitativa en la que los nodos representarán especies o grupos funcionales y los enlaces dirigidos representarán relaciones tróficas. Sobre esta red se calcularán indicadores estructurales básicos (número de nodos, número de enlaces, conectancia) y métricas de centralidad, en particular la intermediación (betweenness), con el fin de identificar grupos que actuarán como conectores clave dentro de la red trófica. Para el análisis de redes se empleará la paquetería *igraph* del software RStudio, que permitirá calcular indicadores de centralidad, distancias y propiedades de conectividad en redes complejas.

Paralelamente, se llevará a cabo un análisis PSA para cada especie o grupo funcional, integrando atributos de productividad biológica (longevidad, edad de madurez, fecundidad, tasa de crecimiento) y de susceptibilidad operacional (probabilidad de encuentro con el arte, selectividad, probabilidad de captura y mortalidad asociada), siguiendo aplicaciones recientes en pesquerías artesanales mexicanas. Los puntajes de productividad y susceptibilidad se combinarán para obtener un índice de vulnerabilidad relativo, que posteriormente se normalizará y asignará a los nodos de la red, definiendo un gradiente de riesgo que reflejará la exposición de cada componente del ecosistema a la pesca.

La robustez de la red ecológica frente a la pérdida de especies se evaluará mediante simulaciones de remoción secuencial de nodos bajo dos tipos de escenarios: ataques dirigidos y errores aleatorios. En los ataques dirigidos se utilizarán dos criterios de orden de remoción: (1) orden decreciente del índice de vulnerabilidad PSA, para simular la pérdida progresiva de los componentes más vulnerables a la pesca; y (2) orden decreciente de intermediación, para representar la eliminación de especies estructuralmente clave dentro de la red trófica. En los escenarios de errores aleatorios, los nodos se removerán en orden aleatorio, representando pérdidas no dirigidas y proporcionando una línea base frente a la cual comparar los efectos de los ataques dirigidos. Las simulaciones y el recálculo de indicadores se implementarán mediante el software RStudio, almacenando en cada paso la estructura resultante de la red y los valores de los indicadores.

En cada iteración de remoción se cuantificarán indicadores topológicos como el diámetro de la red (distancia máxima entre nodos), la pérdida relativa de conectividad, el coeficiente de agrupamiento (tendencia de los nodos a formar clústeres) y la diversidad topológica media (diversidad de enlaces por nodo), de acuerdo con la propuesta para evaluar vulnerabilidad y resiliencia de redes tróficas en pesquerías artesanales de Zetina *et al.* 2022. Las trayectorias de estos indicadores se compararán entre escenarios de ataques dirigidos (por vulnerabilidad PSA y por intermediación) y errores aleatorios, con énfasis en la rapidez y magnitud de la pérdida de conectividad, los cambios abruptos en el diámetro y el coeficiente de agrupamiento, y el punto del proceso de remoción en que se eliminarán especies objetivo o grupos funcionales sensibles. El análisis permitirá identificar configuraciones vulnerables y grupos con papel estructural crítico, interpretando los impactos no solo en términos de biomasa y niveles tróficos, sino también en términos de robustez y organización de la red ecológica.

### 3. Estrategia temporal

Metodológicamente, la consultoría se estructurará en tres fases. De acuerdo con el siguiente cronograma propuesto:

En la Fase 1 (marzo–abril 2026) se compilarán bitácoras pesqueras, datos biológicos y oceanográficos. Estos incluyen historia de vida de las especies y operatividad de la flota pesquera. Adicionalmente se realizará una revisión bibliográfica sobre los modelos tróficos para evaluar su aplicabilidad y modificaciones necesarias. Con esta base se propondrá la metodología final con los ajustes necesarios y un informe sobre la caracterización de la pesquería.

- Posible alternativa solo modelos de redes con LEK sin EwE porque estos requieren ajustes y mayor tiempo.

La Fase 2 (mayo–junio 2026) comprenderá la implementación y adaptación de los modelos cuantitativos para las zonas de estudio. En caso necesario, se realizará la construcción de una red trófica cualitativa basada en el LEK de los pescadores. Posteriormente, se simularán escenarios que representen las tendencias de la pesquería y se calcularán indicadores ecosistémicos y a nivel de especies. También se realizarán simulaciones de vulnerabilidad y se evaluará el impacto sobre hábitat y PSA sobre especies seleccionadas incluyendo tiburones. Esta fase generará el informe técnico preliminar y el reporte del modelo ecosistémico.

- PSA sobre base de literatura (a menos que ya exista un análisis de selectividad hecho).

La Fase 3 (julio–septiembre 2026) se orientará a la interpretación de resultados y en caso necesario propuestas de medidas de mitigación que incluyan ajustes tecnológicos y operativos pesqueros. Se redactará un manuscrito científico dirigido a publicarse en revista considerada en Science Citation Index y se elaborará un plan de acción ambiental y programa de monitoreo alineado al FIP. Asimismo, se entregarán bases de datos depuradas y scripts documentados, y se presentarán los resultados a cooperativas y actores involucrados.

- Manuscrito en etapa de borrador para revisión y colaboración de COBI.

### **Cronograma**

Fecha	Actividades principales	Entregables
Finales de abril 2026	Compilación de información, revisión bibliográfica, caracterización de pesquería, diseño metodológico final.	1
Finales de junio 2026	Construcción de modelo ecosistémico, análisis de selectividad y PSA, escenarios de simulación, evaluación de impactos sobre hábitat, ecosistemas y tiburones.	2 y 3 (versión preliminar)
Finales de septiembre 2026	Refinamiento de escenarios, medidas de mitigación, plan de acción, bases de datos, manuscrito científico y programación de la socialización de resultados.	3 (versión final), 4, 5 y 6

### **Equipo Consultor:**

Dr. Manuel J. Zetina Rejón (Responsable técnico), Dr. Claudia M. Fumero Andreu (Responsable Administrativo), M. en C. Paloma Juárez Camargo, M. en C. Daniela Gómez Giraldo.

Contacto: +52 612 3485060 , mjzetina@gmail.com

### **Referencias**

- Chávez E.A., Garduño M., Arreguín-Sánchez F. (1993). Trophic Dynamic Structure of Celestun lagoon, Southern Gulf of Mexico . pp 186-192. In Christensen V., Pauly D., Christensen V., Pauly D., Christensen V., Pauly D.
- Cisneros-Montemayor, A. M., Zetina-Rejón, M. J., Espinosa-Romero, M. J., Cisneros-Mata, M. A., Singh, G. G., & Melo, F. J. F.-R. (2020). Evaluating ecosystem impacts of data-limited artisanal fisheries through ecosystem modelling and traditional fisher knowledge. *Ocean & Coastal Management*, 195, 105291
- Manickchand-Heileman S., Soto L.A., Escobar E. (1998). A Preliminary Trophic Model of the Continental Shelf, South-western Gulf of Mexico Estuarine, Coastal and Shelf Science. pp 885-899
- Pérez-Jiménez, JC, Núñez, A, González-Jaramillo, M, Mendoza-Carranza, M, Acosta-Cetina, J, Flores-Guzmán, A, Rocha-Tejeda, L. 2022. Inferring ecosystem impacts of a small-scale snapper fishery through citizen science data, productivity and susceptibility analysis, and ecosystem modelling. *Fisheries Research* (250):106269.
- Saldaña-Ruiz LE, Flores-Guzmán A, Cisneros-Soberanis F, Cuevas-Gómez GA, Gastélum-Nava E, Rocha-Tejeda L, Chavez JF, Hernandez-Pimienta RE and Fernández-Rivera Melo FJ (2022) A Risk-Based Assessment to Advise the Responsible Consumption of Invertebrates, Elasmobranch, and Fishes of Commercial Interest in Mexico. *Front. Mar. Sci.* 9:866135
- Vega-Cendejas M.E., Arreguín-Sánchez F. (2001). Energy fluxes in a mangrove ecosystem from a coastal lagoon in Yucatan Peninsula, Mexico *Ecological Modelling*. pp 119-133
- Zetina-Rejón M.J., Arreguín-Sánchez F., Zetina-Rejón M.J., Arreguín-Sánchez F., Zetina-Rejón M.J., Arreguín-Sánchez F. (2003). Flujos de energía y estructura trófica de la Sonda de Campeche, Suroeste del Golfo de México *Memorias del III Foro de Camarón del Golfo de México y Mar Caribe*. pp 49-57. In Wakida Kusunoki A.T., Solana-Sansores R., Uribe-Martínez J., Wakida Kusunoki A.T., Solana-Sansores R., Uribe-Martínez J.
- Zetina-Rejón, M.J., E. Cabrera-Neri, G.A. López-Ibarra, E. Arcos-Huitrón & V. Christensen. 2015. Trophic Modeling of the Continental Shelf Ecosystem Outside of Tabasco, Mexico: A Network and Modularity Analysis. *Ecological Modelling* 313:314-324.
- Zetina-Rejón, M.J., G.A. López-Ibarra, L. Rocha-Tejeda, A. Flores-Guzmán, I. Lopez Ercilla, E. Rodríguez-Rodríguez, S.A. Sandoval-Jiménez, F. Arreguín-Sánchez, A.M. Cisneros-Montemayor. 2022. A framework for simulating ecosystem effects in data-poor small-scale fisheries using science-based and local ecological knowledge-based models. *Frontiers in Marine Science - Marine Fisheries, Aquaculture and Living Resources* 8: 799068.