



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

ILUMINACIÓN DE TRASMALLOS CON LUCES LED COMO ALTERNATIVA PARA  
REDUCIR LA CAPTURA INCIDENTAL DE TORTUGAS MARINAS EN UNA  
PESQUERÍA DE PEQUEÑA ESCALA DE COSTA RICA, OCEÁNO PACÍFICO  
ORIENTAL TROPICAL.

ILLUMINATING GILLNETS WITH LED LIGHTS AS AN ALTERNATIVE TO  
REDUCE SEA TURTLE BYCATCH IN A COSTA RICAN SMALL-SCALE FISHERY  
IN THE EASTERN TROPICAL PACIFIC.

Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa de Posgrado en Gestión  
Integrada de Áreas Costeras Tropicales para optar al grado y título de Maestría Académica  
en Gestión Integrada de Áreas Costeras Tropicales

JEFFRY MADRIGAL MESÉN

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2025



## **DEDICATORIA**

A todas las personas que han sido parte de este proceso.

## **AGRADECIMIENTOS**

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a quienes hicieron posible la realización de esta investigación.

A los pescadores de las comunidades de Bejuco y Coyote, por su valioso tiempo y por compartir sus conocimientos.

Al Centro Rescate de Especies Marinas Amenazadas (CREMA), por proveer los fondos y recursos que permitieron el desarrollo de este trabajo.

A Juan José Alvarado Barrientos, por creer y apoyar mi trabajo desde el inicio. A Agustín Gómez Meléndez, por su guía e impulso constante para culminar esta maestría.

Finalmente, un agradecimiento especial a Jesús Rojas, "Gucho", pescador de la comunidad de Bejuco. Su colaboración en la colocación de las luces en el trasmallo fue determinante para este proyecto. Sin él, este trabajo no hubiese sido posible.

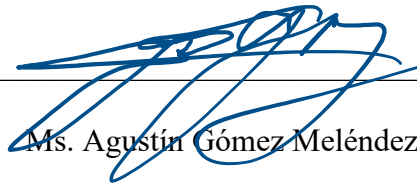
## HOJA DE APROBACIÓN

Esta tesis fue aceptada por la Comisión del Programa de Posgrado en Gestión Integrada de Áreas Costeras Tropicales de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Académica en Gestión Integrada de Áreas Costeras Tropicales.



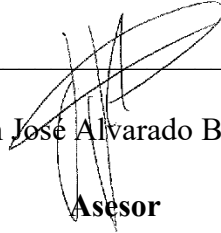
Dr. Alvaro Morales Ramírez

### Representante de la Decanatura Sistema de Estudios de Posgrado



Ms. Agustín Gómez Meléndez

### Director(a) de Tesis



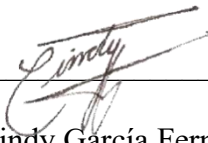
Dr. Juan José Alvarado Barrientos

### Asesor

Andrés B.J.

Ms. Andrés Beita Jiménez

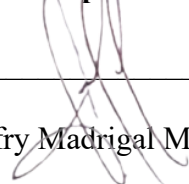
### Asesor



Dra. Cindy García Fernández

### Representante del Programa de Posgrado en Gestión Integrada de Áreas Costeras

### Tropicales



Jeffry Madrigal Mesén

### Candidato

## TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
HOJA DE APROBACIÓN.....	IV
TABLA DE CONTENIDO .....	V
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT .....	IX
LISTA DE TABLAS .....	X
LISTA DE FIGURAS .....	XI
LISTA DE ABREVIACIONES .....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	1
INTRODUCTION .....	3

CAPÍTULO 1: LUCES LED EN REDES DE TRASMALLO: EVALUACIÓN DE SU EFECTO EN LA CAPTURA INCIDENTAL DE TORTUGAS MARINAS Y SU RELEVANCIA SOCIOECONÓMICA EN UNA PESQUERÍA DE COSTA RICA .....	5
---	---

1. Introducción .....	6
2. Materiales y métodos .....	8
2.1 Área de estudio .....	8
2.2 Recolección de Datos .....	10
2.3 Preparación y Gestión de Datos.....	10
2.4 Análisis Estadístico .....	11
2.5 Análisis Descriptivo .....	11
2.6 Análisis de Tortugas Marinas.....	11
2.7 Análisis de Selectividad Multi-especies.....	12
2.8 Análisis de CPUE.....	12
2.9 Análisis de Mortalidad .....	12
2.10 Análisis de Valor Comercial.....	13
2.11 Análisis de Poder Estadístico .....	13
3. Resultados .....	13

3.1	Análisis Estadístico de la Captura de Tortugas Marinas .....	14
3.2	Análisis de Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE).....	18
3.3	Análisis de Selectividad y Mortalidad Multi-Especies.....	20
3.4	Caracterización de la Captura y su Valor Económico .....	20
3.5	Análisis de Poder .....	22
4.	Discusión.....	23
4.1	Efectividad de las Luces LED para la Mitigación de la Captura Incidental.....	23
4.2	Factores que Influyen en el Efecto de la Iluminación .....	24
4.3	Impacto de la Baja Selectividad y el Valor Económico .....	25
4.4	Implicaciones para la Conservación y la Sostenibilidad .....	27
5.	Conclusiones .....	28
6.	Referencias .....	28

**CAPÍTULO 2: PERCEPCIONES Y ADOPCIÓN DE INNOVACIONES SOCIALES Y TECNOLÓGICAS PARA LA CONSERVACIÓN DE TORTUGAS MARINAS EN UNA PESQUERÍA ARTESANAL EN NANDAYURE, GUANACASTE..... 35**

1.	Introducción .....	36
2.	Metodología .....	39
2.1	Área de Estudio .....	40
2.2	Población y Muestra .....	40
2.3	Instrumento de Recolección de Datos .....	41
2.4	Procedimiento de Recolección de Datos .....	42
2.5	Procesamiento y Análisis de Datos .....	42
2.6	Análisis Cuantitativo .....	42
2.7	Análisis cualitativo y de contenido temático.....	43
2.8	Análisis Mixto por Segmentación de Cohorte.....	43
3.	Resultados .....	44
3.1	Análisis cuantitativo .....	46
3.2	Variables numéricas (Prueba de Wilcoxon).....	46
3.3	Variables categóricas (Prueba Exacta de Fisher) .....	46
3.4	Percepción del problema de captura incidental .....	47
3.5	Análisis comparativo por comunidad.....	47

3.6	Opinión sobre las luces LED (Impresión acerca de esta tecnología) .....	48
3.7	Ventajas percibidas.....	48
3.8	Análisis comparativo por comunidad.....	48
3.9	Desventajas percibidas .....	48
3.10	Disposición al uso de las luces LED .....	49
3.11	Necesidad de apoyo o incentivo .....	49
3.12	Preferencias de obtención de información.....	50
3.13	Opinión sobre medidas de conservación actuales .....	50
3.14	Co-ocurrencia de Palabras (Bigramas y Trigramas).....	50
4.	Discusión.....	52
5.	Conclusiones .....	58
6.	Referencias .....	59
	CONCLUSIONES.....	62
	CONCLUSIONS .....	65

## RESUMEN

**Capítulo 1: Luces LED en Redes de Trasmallo: Evaluación de su Efecto en la Captura Incidental de Tortugas Marinas y su Relevancia Socioeconómica en una Pesquería de Costa Rica.** La captura incidental de tortugas marinas en pesquerías artesanales representa una amenaza global. Este estudio evaluó la eficacia de la iluminación con luces LED en trasmallos para reducir la captura incidental en una pesquería artesanal desarrollada cerca de un área de anidación crítica en el Pacífico de Costa Rica. Se llevaron a cabo 66 lances, registrando un total de 3,521 individuos de 79 especies. Aunque se documentaron 15 tortugas marinas, el análisis no reveló una diferencia estadísticamente significativa en la captura incidental entre los paños con luces LED y los paños control ( $p$ -valor = 0.099, Test de Permutación). Aunque este resultado contrasta con la literatura global, la falta de un efecto significativo se atribuye a una combinación de factores locales, incluyendo una baja superposición entre los hábitats de forrajeo de las tortugas y las zonas de pesca, y una alta turbidez del agua en esa época del año. Sin embargo, la mortalidad fue alta en ambos tratamientos, alcanzando un promedio del 85.7% para los organismos capturados. Los resultados confirman que el trasmallo es un arte de pesca poco selectivo, que captura una alta diversidad de especies. En el aspecto socioeconómico, el análisis de la Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) reveló que las luces LED no afectaron la captura de las especies objetivo, y mostraron una tendencia a una mayor productividad total ( $p < 0.001$ ). La contribución de esta investigación radica en ser un trabajo pionero en el país que proporciona datos cruciales, destacando la necesidad de adaptar las estrategias de mitigación a contextos ecológicos y socioeconómicos específicos.

**Capítulo 2: Percepciones y adopción de innovaciones sociales y tecnológicas para la conservación de tortugas marinas en una pesquería artesanal en Nandayure, Guanacaste.** La pesca artesanal, vital para las comunidades costeras, se enfrenta al desafío de la captura incidental de tortugas marinas, lo que motiva la exploración de soluciones como las luces LED en trasmallos. Este estudio, realizado mediante entrevistas estructuradas ( $N = 14$ ) a pescadores en las comunidades pesqueras de Bejuco y Coyote en Nandayure, Guanacaste, examinó el conocimiento, las interacciones y la disposición a adoptar innovaciones tecnológicas. Los resultados indican que 12 de los 14 pescadores no percibe la captura incidental como un problema significativo en sus faenas de trasmallo, justificándolo por la baja frecuencia de encuentros y la liberación inmediata. Sin embargo, existe una alta disposición (12 de los 14 entrevistados) a utilizar las luces LED, con ventajas percibidas centradas tanto en la conservación (reducción de captura incidental) como en la viabilidad económica (atracción de carnada). Las barreras principales para la adopción no son la voluntad, sino los desafíos logísticos y de costos, específicamente los problemas operativos (enmallamiento de tortugas marinas y aumento de tiempo) y la necesidad crítica de financiamiento y capacitación. Aunque se identificó una diferencia significativa en el conocimiento reportado sobre las especies de tortugas entre las comunidades, la conclusión principal es que el éxito de la difusión de esta tecnología depende de una estrategia de implementación que aborde directamente las barreras económicas y operativas percibidas por los pescadores, asegurando la integración de la conservación y la sostenibilidad pesquera.

## ABSTRACT

**Chapter 1: LED Lights on Gillnets: Evaluating their Effect on Sea Turtle Bycatch and Socioeconomic Relevance in a Costa Rican Fishery.** Sea turtle bycatch in artisanal fisheries represents a global threat. This study evaluated the effectiveness of LED lighting on gillnets in reducing bycatch in an artisanal fishery located near a critical nesting area in the Pacific coast of Costa Rica. Sixty-six sets were made, recording a total of 3,521 individuals of 79 species. Although 15 sea turtles were documented, the analysis revealed no statistically significant difference in bycatch between the LED-lit nets and the control nets (p-value = 0.099, Permutation Test). Although this result contrasts with the global literature, the lack of a significant effect is attributed to a combination of local factors, including low overlap between turtle foraging habitats and fishing grounds, and high-water turbidity season. However, mortality was high in both treatments, reaching an average of 85.7% for captured organisms. The results confirm that the gillnet is a non-selective fishing technique, capturing a high diversity of species. From a socioeconomic perspective, the analysis of Catch per Unit of Effort (CPUE) revealed that LED lights did not affect the capture of target species and showed a trend toward higher total productivity ( $p < 0.001$ ). The contribution of this research lies in its pioneering work in the country, providing crucial data, highlighting the need to adapt mitigation strategies to specific ecological and socioeconomic contexts.

**Chapter 2: Perceptions and adoption of social and technological innovations for sea turtle conservation in an artisanal fishery in Nandayure, Guanacaste.** Artisanal fishing, vital for coastal communities, faces the challenge of sea turtle bycatch, which motivates the exploration of solutions such as LED lights on gillnets. This study, conducted through structured interviews ( $N = 14$ ) with fishers in the fishing communities of Bejuco and Coyote in Nandayure, Guanacaste, examined their knowledge, interactions, and willingness to adopt technological innovations. The results indicate that 12 out of 14 fishers do not perceive bycatch as a significant problem in their gillnet operations, justifying it by the low frequency of encounters and immediate release. However, there is a high willingness (12 out of 14 interviewees) to use LED lights, with perceived advantages centered on both conservation (reduction of bycatch) and economic viability (bait attraction). The main barriers to adoption are not willingness, but logistical and cost challenges, specifically operational problems (sea turtle entanglement and increased time) and the critical need for funding and training. Although a significant difference was identified in the reported knowledge about turtle species between the communities, the main conclusion is that the success of the diffusion of this technology depends on an implementation strategy that directly addresses the economic and operational barriers perceived by the fishers, ensuring the integration of conservation and fishing sustainability.

## LISTA DE TABLAS

### CAPÍTULO 1

- Cuadro 1.** Protocolo de registro de datos durante las operaciones de pesca.....15
- Cuadro 2.** Resume la contingencia mostrando el número de paños con y sin captura de tortugas marinas por tratamiento (con y sin luces LED). La tabla se utiliza como base para la Prueba Exacta de Fisher.....19
- Cuadro 3.** Resumen de los resultados de las pruebas estadísticas realizadas para evaluar el efecto de las luces LED en la tasa de captura de tortugas marinas ( $p > 0.05$ ).....21
- Cuadro 4.** Resumen de la captura por categoría de destino, donde muestra el total de individuos, su porcentaje respecto al total de la captura y el número de especies únicas asociadas a cada categoría de destino.....26

### CAPÍTULO 2

- Cuadro 1.** Componentes temáticos y variables incluidas en la entrevista estructurada realizada a pescadores artesanales en Nandayure, Guanacaste (N=14).....41
- Cuadro 2.** Perfil comparativo de las características sociodemográficas y de la práctica pesquera entre las comunidades de Coyote (n=7) y Bejuco (n=7), Nandayure, Guanacaste..45
- Cuadro 3.** Análisis de Co-ocurrencia de palabras (N-gramas) en las respuestas de los pescadores entrevistados y su relación con los atributos de la Difusión de Innovaciones de Rogers.....51

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

- Figura. 1.** Ubicación de las comunidades de Bejuco, Nandayure, Guanacaste.....14
- Fig. 2.** Conteo total de tortugas marinas capturadas por especie. El gráfico de barras muestra la predominancia de la tortuga lora (*Lepidochelys olivacea*) sobre la tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*) en la captura incidental.....19
- Figura. 3.** Número total de tortugas marinas capturadas por tratamiento (Con Luces vs. Sin Luces). La barra azul representa las capturas en los paños con luces (n=11) y la barra gris en los paños sin luces (n=4). El resultado de la prueba de Fisher ( $p = 0.1$ ) indica que la diferencia observada no fue estadísticamente significativa.....20
- Figura. 4.** Distribuciones de probabilidad posterior para la tasa de encuentro de tortugas marinas por paño, obtenidas mediante un análisis bayesiano. Las líneas verticales punteadas indican las medias posteriores de cada distribución. Aunque existe un solapamiento considerable, la distribución del tratamiento con luces LED está desplazada hacia una mayor probabilidad de captura.....21
- Figura. 5.** Boxplot de la Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) general por tipo de paño. La CPUE promedio fue mayor en los paños con luces (56.4) que en los paños sin luces (47.0), pero la diferencia no fue estadísticamente significativa (prueba U de Mann-Whitney,  $p=0.657$ ).....22
- Figura. 6.** Distribución de la Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) por tipo de paño para las principales categorías de captura. Los boxplots muestran la mediana, los cuartiles y el rango de los datos de CPUE. **A.** Tortugas marinas, **B.** Elasmobranquios, **C.** Peces óseos y **D.** Especie comercial (*Lutjanus guttatus*). La prueba estadística no encontró diferencias significativas entre los paños con y sin luces (Prueba U de Mann-Whitney,  $p>0.05$  para todos los casos).....23
- Figura. 7.** Tasa de mortalidad de los principales grupos taxonómicos capturados. La tasa se calculó como la proporción de individuos muertos del total de individuos vivos y muertos

cuyo estado pudo ser verificado. El color de cada barra corresponde al grupo taxonómico indicado en la leyenda.....24

**Figura. 8.** Composición proporcional de la captura total por tratamiento (con y sin luces LED). La composición de la captura difiere significativamente entre ambos tratamientos ( $p < 0.05$ ), lo que indica un efecto de selectividad de las luces LED.....25

**Figura. 9.** Conteo total de individuos capturados por categoría de destino (Comercial y No Comercial) en redes de trasmallo con y sin luces. Las etiquetas dentro de las barras indican el número exacto de individuos para cada categoría. La prueba Exacta de Fisher ( $p = 0.118$ ) no mostró una asociación significativa entre el uso de luces y la composición de la captura..27

**Figura. 10.** Las 10 especies comerciales más capturadas. El gráfico de barras muestra el número de individuos de cada especie, así como el porcentaje que cada una representa en la captura total. La selección se realizó a partir de las categorías de destino "Venta" y "Chatarra", y las etiquetas de las barras indican el número total de individuos y su porcentaje correspondiente.....28

## **CAPÍTULO 2**

**Figura. 1.** Ubicación de las comunidades pesqueras de Bejuco y San Francisco de Coyote, Nandayure, Guanacaste.....40

## LISTA DE ABREVIACIONES

ACC: Ancho Curvo del Caparazón

BRDs: Tecnologías de Reducción de Captura Incidental (Por sus siglas en inglés: *Bycatch Reduction Devices*)

CET: Conocimiento Ecológico Tradicional

CPUE: Captura por Unidad de Esfuerzo

DET: Dispositivo Exclutor de Tortugas

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (Por sus siglas en inglés: *Food and Agriculture Organisation*)

GLM: Modelo Lineal Generalizado

IC: Intervalo de Confianza

Incopesca: Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura

IQR: Rango Intercuartílico

IUCN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (Por sus siglas en inglés: *International Union for Conservation of Nature*)

LCC: Largo Curvo del Caparazón

LED: Diodo Emisor de Luz (Por sus siglas en inglés: *Light Emitting Diode*)

LH: Longitud de Horquilla

LT: Longitud Total

OR: Odds Ratio

PLN: Procesamiento de Lenguaje Natural

RR: Razón de Tasas (*Rate Ratio*)

RUC: Recursos de Uso Común

SD: Desviación Estándar

## TOE: Tecnología-Organización-Entorno

## INTRODUCCIÓN

La captura incidental de especies amenazadas, como las tortugas marinas, es uno de los retos más críticos para la sostenibilidad de las pesquerías a nivel global. En Costa Rica, esta problemática es particularmente relevante en la pesca artesanal de trasmallo, que opera en zonas de alta superposición con hábitats críticos para la megafauna. Esta amenaza es urgente, ya que, como se documenta en este estudio, la tasa de mortalidad de las tortugas marinas capturadas en esta pesquería puede alcanzar el 57.1%.

Como respuesta, han surgido innovaciones tecnológicas como la iluminación de redes con luces LED, una herramienta que ha demostrado ser eficaz para reducir la captura incidental en diversas pesquerías del mundo. Sin embargo, el éxito de una innovación no depende únicamente de su viabilidad técnica, sino también de su aceptación y adopción por parte de los pescadores. La viabilidad de una solución de conservación está intrínsecamente ligada a su compatibilidad con las prácticas existentes, su costo y, fundamentalmente, la percepción que los usuarios tienen sobre el problema que se busca resolver.

Esta tesis aborda esta dualidad (la eficacia biofísica y la viabilidad social) en la pesquería artesanal de Nandayure, Guanacaste, y revela una paradoja central. Los resultados del componente experimental demuestran que, en las condiciones específicas de este estudio (alta turbidez del agua), las luces LED no funcionaron como un disuasivo estadísticamente eficaz (Prueba de Fisher,  $p = 0.1$ ). De hecho, se registró una captura mayor en las redes iluminadas que en las redes control, aunque tampoco generaron un impacto negativo en la productividad de las especies comerciales ( $p > 0.05$ ).

Paralelamente, los hallazgos del componente social muestran que la adopción de esta tecnología no está frenada por la resistencia al cambio, sino por una desconexión en la definición del problema. Se encontró una alta disposición (13 de 14 pescadores) a utilizar las luces LED, pero esta voluntad coexiste con la percepción mayoritaria (12 de 14) de que la captura incidental de tortugas en trasmallos *no* es un problema significativo. La motivación para la adopción, por tanto, no se ancla en la conservación de tortugas, sino en la percepción de un potencial beneficio económico (ej. atracción de carnada) y está condicionada a la superación de barreras estructurales claras: la necesidad de financiamiento y capacitación.

Por lo tanto, el objetivo general de esta tesis es evaluar la eficacia de las luces LED en redes de trasmallo como herramienta de mitigación y analizar la viabilidad de su adopción por parte de los pescadores artesanales en Nandayure, Guanacaste.

Para ello, el estudio se estructura en dos capítulos principales. El Capítulo I evalúa el efecto biofísico de las luces LED en la tasa de captura incidental de tortugas marinas y su relevancia socioeconómica (CPUE) mediante un experimento de campo. Por su parte, el Capítulo II analiza, desde la teoría de la Difusión de Innovaciones, las percepciones, el conocimiento local y las barreras para la adopción de esta tecnología por parte de la comunidad pesquera.

Esta investigación concluye que la implementación de soluciones de conservación en la pesca artesanal es un desafío socio-ecológico complejo, donde la viabilidad operativa y económica percibida por el pescador puede ser un motor de adopción más potente que la propia eficacia de mitigación biológica.

## INTRODUCTION

The bycatch of threatened species, such as sea turtles, is one of the most critical challenges for the sustainability of global fisheries. In Costa Rica, this issue is particularly relevant in the artisanal gillnet fishery, which operates in areas with high overlap with critical habitats for megafauna. This threat is urgent, as documented in this study, the mortality rate of sea turtles captured in this fishery can reach 57.1%.

In response, technological innovations such as net illumination with LED lights have emerged, a tool that has proven effective in reducing bycatch in various fisheries worldwide. However, the success of an innovation does not solely depend on its technical viability, but also on its acceptance and adoption by fishers. The viability of a conservation solution is intrinsically linked to its compatibility with existing practices, its cost, and, fundamentally, the users' perception of the problem it seeks to solve.

This thesis addresses this duality (biophysical efficacy and social viability) in the artisanal fishery of Nandayure, Guanacaste, and reveals a central paradox. The results from the experimental component demonstrate that, under the specific conditions of this study (high water turbidity), LED lights did not function as a statistically effective deterrent (Fisher's Exact Test,  $p = 0.1$ ). In fact, a higher catch was recorded in the illuminated nets than in the control nets, although they also did not generate a negative impact on the productivity of commercial species ( $p > 0.05$ ).

In parallel, the findings from the social component show that the adoption of this technology is not held back by resistance to change, but by a disconnect in the problem's definition. A high willingness (13 out of 14 fishers) to use LED lights was found, but this willingness coexists with the majority perception (12 out of 14) that turtle bycatch in gillnets is not a significant problem. The motivation for adoption, therefore, is not anchored in turtle conservation, but in the perception of a potential economic benefit (e.g., bait attraction) and is conditional upon overcoming clear structural barriers: the need for funding and training.

Therefore, the general objective of this thesis is to evaluate the efficacy of LED lights on gillnets as a mitigation tool and to analyze the viability of their adoption by artisanal fishers in Nandayure, Guanacaste.

To this end, the study is structured into two main chapters. Chapter I evaluates the biophysical effect of LED lights on the sea turtle bycatch rate and its socioeconomic relevance (CPUE) through a field experiment. Chapter II, in turn, analyzes—from the perspective of the Diffusion of Innovations theory—the perceptions, local knowledge, and barriers to the adoption of this technology by the fishing community.

This research concludes that implementing conservation solutions in artisanal fisheries is a complex socio-ecological challenge, where the fisher's perceived operational and economic viability can be a more powerful adoption driver than the biological mitigation efficacy itself.

## CAPÍTULO 1

### LUCES LED EN REDES DE TRASMALLO: EVALUACIÓN DE SU EFECTO EN LA CAPTURA INCIDENTAL DE TORTUGAS MARINAS Y SU RELEVANCIA SOCIOECONÓMICA EN UNA PESQUERÍA DE COSTA RICA

Jeffry Madrigal-Mesén<sup>1,2</sup> <https://orcid.org/0000-0002-2377-1946>

Randall Arauz<sup>3</sup> <https://orcid.org/0000-0003-4907-0424>

Andrés Beita-Jiménez<sup>4</sup> <https://orcid.org/0000-0002-0104-8183>

Juan José Alvarado<sup>5,6,7</sup> <https://orcid.org/0000-0002-2620-9115>

Agustín Gómez<sup>8</sup> <https://orcid.org/0000-0002-7383-3754>

1. Centro Rescate de Especies Marinas Amenazadas, San José, Costa Rica.
2. Asociación Mantas Costa Rica, Alajuela, Costa Rica.
3. Marine Watch International, California, Estados Unidos.
4. Memorial University of Newfoundland Fisheries and Marine Institute: Saint John's, NL, CA.
5. Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica, 11501-2060 San José, Costa Rica.
6. Centro de Investigación de Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), Universidad de Costa Rica, San Pedro, 11501-2060 San José, Costa Rica
7. Museo de Zoología, Universidad de Costa Rica
8. Centro de Investigación Observatorio del Desarrollo, Universidad de Costa Rica, San José.

## 1. Introducción

La creciente demanda de recursos pesqueros provoca un reto mundial para mantener la biodiversidad marina (Allman et al., 2021). La captura no intencionada de peces y otras especies marinas (especies no deseadas, sin valor económico y/o protegidas) o pesca incidental no solo eleva las tasas de explotación pesquera de una gran cantidad de recursos marinos, también puede tener un impacto ecológico devastador sobre los ecosistemas marinos (Azofeifa-Solano et al., 2021; Baum et al., 2003; Dulvy et al., 2014; Lewison et al., 2004; Roberson et al., 2020; Roberson, 2021; Roberson & Wilcox 2022). Por ejemplo, entre 1961 y el 2017, el consumo de recursos marinos a nivel mundial incrementó de 9 kg/persona a 20,5 kg/persona, y de estos, un 40% provienen de la pesca incidental (Davies et al., 2009; FAO, 2018). Mejorar las técnicas pesqueras para reducir la captura incidental requiere de estrategias que no afecten la actividad humana y reduzca la captura de especies sin valor comercial (Allman et al., 2021). Las pesquerías artesanales están formadas por las embarcaciones más pequeñas, con capacidad de carga limitada y con motores fuera de borda de poca potencia (Chuenpagdee et al., 2006; Jacquet & Pauly, 2008). El uso del trasmallo es uno de los artes de pesca artesanal con mayor incidencia de tortugas marinas, atunes y elasmobranchios (Arina et al., 2022; Casale, 2010; Chan et al., 1988; Duffy et al., 2019; Frazier y Brito 1990). Por ejemplo, se estima que el 70% de las tortugas marinas son capturadas globalmente en pesquerías artesanales (Kakai, 2019). Las cuatro especies de tortugas marinas que habitan en el Pacífico de Costa Rica se encuentran dentro de la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2022): *tortuga verde* (*Chelonia mydas*) (Blanco et al., 2012) como “En Peligro”, *tortuga lora* (*Lepidochelys olivacea*) (Valverde et al., 2012) como “Vulnerable”, la *tortuga baula* (*Dermochelys coriacea*) (Reina et al., 2002) como “vulnerable” y la *tortuga de carey* (*Eretmochelys imbricata*) (Gaos et al., 2010; Heidemeyer et al., 2014) como “Peligro Crítico de Extinción”.

En pesquerías de pequeña escala o artesanales, también se han reportado altas tasas de captura incidental y mortalidad de megafauna marina (Moore et al., 2010; Soykan et al., 2008). Sin embargo, en muchas pesquerías artesanales se desconoce las tasas de captura incidental y, por lo tanto, el impacto que estas tienen sobre una gran cantidad de especies.

Las zonas costeras son sitios de anidación, nacimiento y alimentación de una gran variedad de especies, algunas de las cuales se encuentran amenazadas, principalmente debido a la sobreexplotación (Allman et al., 2021; Carrión-Cortez, 2013; Lewison et al., 2004). Los datos sobre captura incidental en las zonas costeras son cruciales para la planificación a futuro de pesquerías sostenibles, debido a que la sobreexplotación por parte de los pescadores artesanales puede provocar una disminución de las capturas en aguas profundas y una reducción en la biodiversidad (Selgrath et al., 2018). En la actualidad, una de las estrategias de mitigación es la reducción temporal y espacial de las pesquerías (Duffy et al., 2019; Lewison et al., 2004), ya que ocurre un traslape de las actividades humanas con la distribución de las tortugas marinas principalmente en zonas tropicales y subtropicales (Gilman et al., 2010).

Desde los años noventa se ha intentado reducir la pesca incidental mediante diferentes alternativas tecnológicas como el Dispositivo Excluyente de Tortugas (DET) en pesca de arrastre (Crowder et al., 1994; Jenkins, 2012) y anzuelos circulares en pesca de palangre (Serafy et al., 2012; Watson et al., 2005). En las pesquerías con trasmallo se ha colocado diodos emisores de luz (Light emitting diode LED, por sus siglas en inglés)(Allman et al., 2021; Bielli et al., 2020; Darquea et al., 2020; Kakai, 2019; Mangel et al., 2018; Ortiz et al., 2016; Prasetyo et al., 2017; Senko et al., 2022; Virgili et al., 2018, Wang et al., 2010, Wang et al., 2013). Estudios fisiológicos y de comportamiento alimenticio han demostrado que la capacidad de forrajeo está asociado a sus habilidades visuales. Experimentos de laboratorio recientes indican que las barras de luz químicas utilizadas en los palangres pelágicos, influyen en la orientación y el comportamiento de natación de la tortuga cabezona (*Caretta caretta*). Se sabe que al modificar la iluminación de las barras de luz químicas puede conducir a reducciones en las tasas de captura de tortugas (Constantino & Salmon 2003; Lohmann & Wang 2007; Moein-Bartol et al. 2002; Wang et al. 2007; Wang et al. 2010; Wang et al., 2013). En el Oeste de África, el uso de luces LED logró reducir la captura de tortugas baula, verde y lora en un 81% (Allman et al., 2021). En el caso de Perú, se utilizaron las luces y lograron reducir la captura de cetáceos y tortugas marinas en un 70% en trasmallo superficiales y 74,4% en trasmallo de fondo (Alfaro-Shigueto et al., 2011; Bielli et al., 2020). En el caso de Ecuador, se redujo en un 62,2% la captura de tortugas marinas (Darquea et al., 2020). En Kenia, se comprobó que ocurre una reducción del 64,3% de la Captura por Unidad

de Esfuerzo (CPUE) de tortugas marinas y la colocación de las luces no afecta la captura de la especie objetivo (Kakai, 2019). Las medidas de mitigación de la captura incidental en uno de los artes de pesca más utilizados como lo es el trasmallo han sido relativamente lentas (Gilman et al., 2006). En Costa Rica, operan 1312 embarcaciones con licencia vigente para utilizar trasmallos. Los escasos datos sobre el aprovechamiento y uso de los recursos marino-costeros confirman que se hace de forma insostenible (Incopesca, 2025). Según el Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura, en el periodo entre 2016 y 2019 los desembarcos de especies pelágicas aumentaron un 454%; el mayor incremento se dio en los tiburones (Programa Estado de la Nación, 2021).

En este estudio, evaluamos si el uso de luces LED en trasmallos puede reducir la captura incidental de tortugas marinas en una pesquería artesanal de Costa Rica. Se busca determinar el efecto de las luces en la captura de tortugas y en la de especies con valor comercial.

## **2. Materiales y métodos**

### **2.1 Área de estudio**

Este estudio comprende la comunidad pesquera de Pueblo Nuevo de Bejuco (9°49'21.4"N & 85°19'52.3"W), ubicada en el sur de la Península de Nicoya, en el área marina comprendida entre los Refugios Nacionales de Vida Silvestre Camaronal y Caletas-Arío (Fig. 1). El cantón de Nandayure experimenta poca lluvia y calor intenso entre noviembre a abril y una estación lluviosa de mayo a noviembre; su clima cálido y seco provoca que los bosques secos tropicales sean la vegetación predominante del cantón, la precipitación anual promedio es de 2,559.5 mm. (Coopecerroazul 2000). La zona donde se desarrollan la actividad pesquera no cuenta con ninguna categoría de manejo donde podemos encontrar estuarios y ríos, que aumentan la productividad costera en la época lluviosa como respuesta de los nutrientes provenientes de los ríos (Cortés & Wehrtmann, 2009). La zona cuenta con diversidad de ecosistemas marinos donde destacan los fondos lodosos, arenosos y arrecifes rocosos (Cortés & Wehrtmann, 2009).



**Figura 1.** Ubicación de las comunidades de Bejuco, Nandayure, Guanacaste.

Para evaluar la efectividad del uso de luces LED como una alternativa para reducir la captura incidental de tortugas marinas se utilizó trasmallos de fondo. Cada trasmallo con una longitud aproximada de 400 m, dividido en paños o secciones de 100 m cada uno, y una luz de malla de 4.5 pulgadas (11.43 cm). En los paños del trasmallo que se encuentren en la posición 1 (pañó inicial) y 4 (pañó final) se colocó luces LED (Fish Luring Light, modelo: DYP-200 (Hechas de policarbonato; peso: 130 g), tamaño: 1120 x 43 mm, 2 luces LED color verde (3V (LR06 (AA size) x 2 - Alkaline) para determinar si el uso de luces reducía la captura de tortugas marinas. Las luces se colocaron a una distancia de 10 m una de la otra para un total de 9 luces por paño (Ortiz et al. 2016; Wang et al., 2010). Las luces permanecieron encendidas por periodos de 24 horas. Una vez colocado el trasmallo se revisó una vez al día, entre las 5:30 y las 7:30 de la mañana. El trasmallo se colocó de forma aleatoria por lo que las zonas de pesca presentan características batimétricas distintas.

Para cuantificar la diversidad y organismos capturados a lo largo del estudio, se colocaron trasmallos mensualmente entre octubre del 2021 y octubre de 2022. En cada faena de pesca (evento en el que se colocan los trasmallos), se tomaron las coordenadas (latitud-longitud), hora, fecha, profundidad y temperatura superficial del momento en que es colocado el trasmallo en el agua (calado) y del momento en que se levantó (virado). En el virado, se contabilizó cada individuo capturado por paño y se registró la especie, longitud total (LT; se

mide de la boca hasta el extremo más distal de la cola), longitud de horquilla (LH; se mide desde la boca hasta la zona donde se bifurca la cola), ancho de disco y largo de disco para rayas y sexo (elasmobranquios) (Fischer et al., 1995; Mejías-Mercado, 2006). Para las tortugas capturadas, se registró la especie, largo curvo del caparazón (LCC; se mide desde el punto más proximal a la nuca hasta la mitad de la muesca posterior entre los escudos supracaudales), ancho curvo del caparazón (ACC; se mide el punto más ancho de las placas periféricas del caparazón) (Bolten, 1999), sexo y estado (viva o muerta) (Arias et al., 2015; Reina et al., 2002; Zarate et al., 2013). Además, para todos los individuos capturados se registró la calidad o evaluación sensorial del producto obtenido (valor de 1 a 4) y destino (carnada, venta, liberado y consumo).

## 2.2 Recolección de Datos

El muestreo se realizó entre el 25 de octubre de 2021 y 19 de octubre de 2022, comprendiendo un total de 66 lances experimentales. Se trabajó con dos embarcaciones de pesca artesanal operadas por pescadores locales con amplia experiencia en la zona (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Protocolo de registro de datos durante las operaciones de pesca.

<b>Punto</b>	<b>Descripción</b>
<b>Calado y virado de trasmallo</b>	Se registró la fecha, la hora y las coordenadas geográficas de inicio y finalización del calado y el virado mediante GPS.
<b>Tiempo de inmersión</b>	El tiempo de inmersión se calculó como la diferencia entre la hora de inicio del calado y la hora de inicio del virado.
<b>Registro de capturas</b>	Cada paño fue virado de forma independiente. Para cada organismo capturado, se registraron: la especie, el número de individuos, su estado (vivo o muerto), y el destino (consumo, venta, carnada, liberado o chatarra).

## 2.3 Preparación y Gestión de Datos

Los datos fueron digitados en hojas de cálculo de Microsoft Excel y sometidos a un riguroso proceso de limpieza y verificación. Los organismos capturados fueron clasificados en cuatro grupos taxonómicos para su análisis: Tortugas marinas (*Lepidochelys olivacea*, *Eretmochelys imbricata*, *Chelonia mydas*), Elasmobranquios, Pargo manchado (*Lutjanus guttatus*) y Peces Óseos.

Los datos se agregaron a nivel de paño-lance para evitar falsas replicaciones y asegurar la independencia de las unidades de muestreo.

## 2.4 Análisis Estadístico

Todos los análisis estadísticos fueron realizados en R versión 4.5.1 (R Core Team, 2024) utilizando RStudio como entorno de desarrollo integrado. El nivel de significancia estadística se estableció en  $\alpha=0.05$  para todas las pruebas.

## 2.5 Análisis Descriptivo

Se calcularon estadísticas descriptivas para caracterizar la composición de las capturas, incluyendo la frecuencia por grupo taxonómico, las tasas de encuentro y las tasas de captura promedio por paño.

## 2.6 Análisis de Tortugas Marinas

Dado el número moderado de capturas de tortugas marinas ( $n = 15$  individuos en 14 lances), se empleó un enfoque multi-método para triangular la evidencia desde diferentes perspectivas estadísticas.

- Test Exacto de Fisher: Se utilizó como análisis primario para evaluar la asociación entre el tratamiento y la presencia/ausencia de capturas de tortugas. Se construyó una tabla de contingencia  $2 \times 2$ , y se calculó el Odds Ratio (OR) con su intervalo de confianza del 95% como medida del tamaño del efecto.
- Modelo Lineal Generalizado Binomial Negativo: Para evaluar el efecto del tratamiento controlando por el esfuerzo de pesca, se ajustó un GLM con distribución binomial negativa:

$$\log(\mu_i) = \beta_0 + \beta_1 \text{Luces}_i + \log(\text{Esfuerzo}_i)$$

La distribución binomial negativa fue seleccionada sobre la de Poisson por su capacidad de manejar la sobredispersión. La razón de tasas (Rate Ratio, RR) se calculó como  $e^{\beta_1}$  con

su intervalo de confianza del 95%, representando el cambio proporcional en la tasa de captura.

- Test de Permutación: Como método de validación no paramétrico, se implementó una prueba de permutación con 10,000 réplicas aleatorias para estimar el p-valor.
- Análisis Bayesiano: Se realizó un análisis bayesiano complementario para cuantificar la incertidumbre y calcular probabilidades directas de hipótesis. Para cada tratamiento  $j$ , se modeló el número de paños con capturas ( $y_j$ ) como una distribución Binomial con un prior Beta(1,1), lo que resultó en una distribución posterior:

$$\theta_j|y_j \sim \text{Beta}(1 + y_j, 1 + n_j - y_j)$$

La medida clave fue la probabilidad posterior  $P(\theta_{\text{ConLuces}} < \theta_{\text{SinLuces}}|\text{datos})$ , que cuantifica la probabilidad de que las luces reduzcan la captura.

## 2.7 Análisis de Selectividad Multi-especies

Para evaluar si el efecto de las luces LED varía entre grupos taxonómicos, se ajustó un GLM con distribución de Poisson:

$$\log(\mu_{ijk}) = \beta_0 + \beta_1 \text{Luces}_i + \beta_2 \text{Grupo}_j + \beta_3 (\text{Luces}_i \times \text{Grupo}_j)$$

La significancia del término de interacción ( $\beta_3$ ) se evaluó mediante una prueba de razón de verosimilitudes.

## 2.8 Análisis de CPUE

El impacto de las luces LED en la eficiencia de la pesca se evaluó mediante el análisis de la Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE). La CPUE se calculó a nivel de paño-lance utilizando la siguiente fórmula:

$$CPUE = \frac{\text{N}^\circ \text{ Individuos}}{\left(\frac{\text{Longitud de Paño}(m)}{1000}\right) \times \left(\frac{\text{Tiempo de Remojo}(h)}{24}\right)}$$

La CPUE general y por grupo taxonómico se comparó entre los paños con y sin luces utilizando la prueba U de Mann-Whitney (Wilcoxon), una prueba no paramétrica adecuada para comparar las medianas de dos grupos cuando los datos no siguen una distribución normal.

## 2.9 Análisis de Mortalidad

Se analizó la tasa de mortalidad (proporción de individuos muertos al momento de la captura) mediante estadística descriptiva y una prueba de Fisher o Chi-cuadrado para comparar tasas entre tratamientos.

### **2.10 Análisis de Valor Comercial**

Para evaluar la importancia económica de la captura, los individuos fueron clasificados en dos categorías: Comercial (destino de venta y chatarra) y No Comercial (destino de consumo, liberado y carnada). Se utilizó una prueba Exacta de Fisher para determinar si existía una diferencia significativa en la proporción de captura comercial y no comercial entre los paños con y sin luces LED.

### **2.11 Análisis de Poder Estadístico**

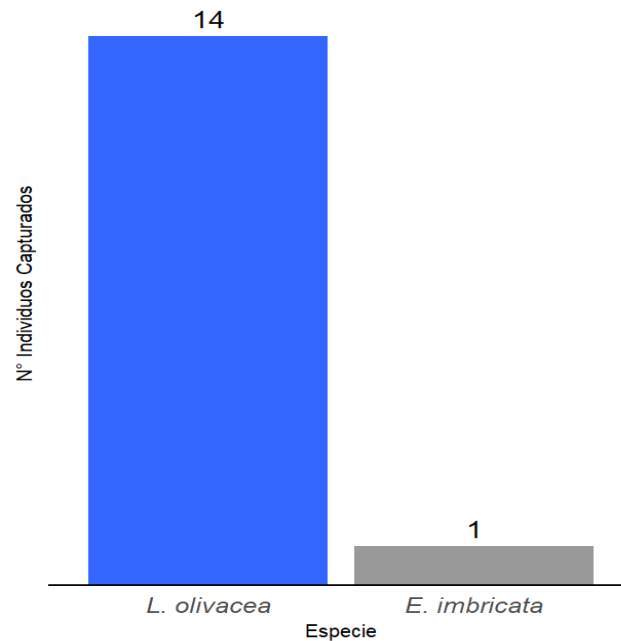
Se realizó un análisis de poder a posteriori para cuantificar el tamaño del efecto observado, utilizando el estadístico  $h$  de Cohen:

$$h = 2(\arcsin(\sqrt{p_1}) - \arcsin(\sqrt{p_2}))$$

Este análisis calculó el tamaño de muestra necesario para detectar efectos de diferentes magnitudes.

## **3. Resultados**

Entre octubre de 2021 y octubre de 2022, se capturó un total de 15 tortugas marinas en 66 lances de pesca. La especie más capturada fue la tortuga lora (*Lepidochelys olivacea*), con 14 individuos, seguida por la tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*), con un individuo capturado (Fig. 2).



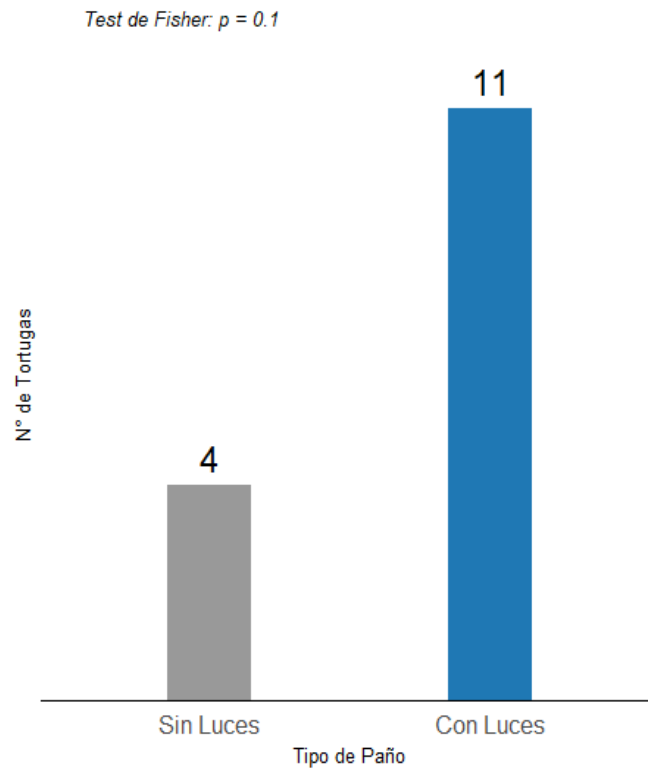
**Figura 2.** Conteo total de tortugas marinas capturadas por especie. El gráfico de barras muestra la predominancia de la tortuga lora (*Lepidochelys olivacea*) sobre la tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*) en la captura incidental.

### 3.1 Análisis Estadístico de la Captura de Tortugas Marinas

La captura de tortugas marinas se evaluó mediante múltiples pruebas estadísticas para determinar el efecto de las luces LED. Un análisis de contingencia, basado en 245 paños monitoreados, reveló que los trasmallos con luces capturaron 11 tortugas marinas, mientras que trasmallos sin luces capturaron 4 (Fig. 3). Sin embargo, la prueba Exacta de Fisher ( $p = 1$ ) no mostró una diferencia significativa en la captura de tortugas entre ambos tipos de trasmallo. (Cuadro 2).

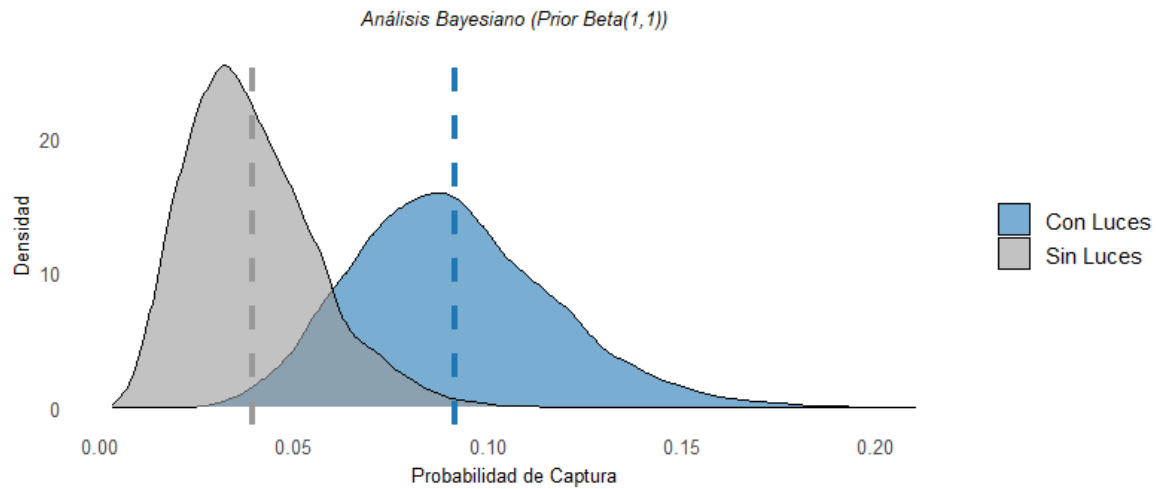
Cuadro 2. Resume la contingencia mostrando el número de paños con y sin captura de tortugas marinas por tratamiento (con y sin luces LED). La tabla se utiliza como base para la Prueba Exacta de Fisher.

	No	Sí
Sin Luces	122	4
Con Luces	109	11



**Figura 3.** Número total de tortugas marinas capturadas por tratamiento (Con Luces vs. Sin Luces). La barra azul representa las capturas en los paños con luces ( $n=11$ ) y la barra gris en los paños sin luces ( $n=4$ ). El resultado de la prueba de Fisher ( $p = 0.1$ ) indica que la diferencia observada no fue estadísticamente significativa.

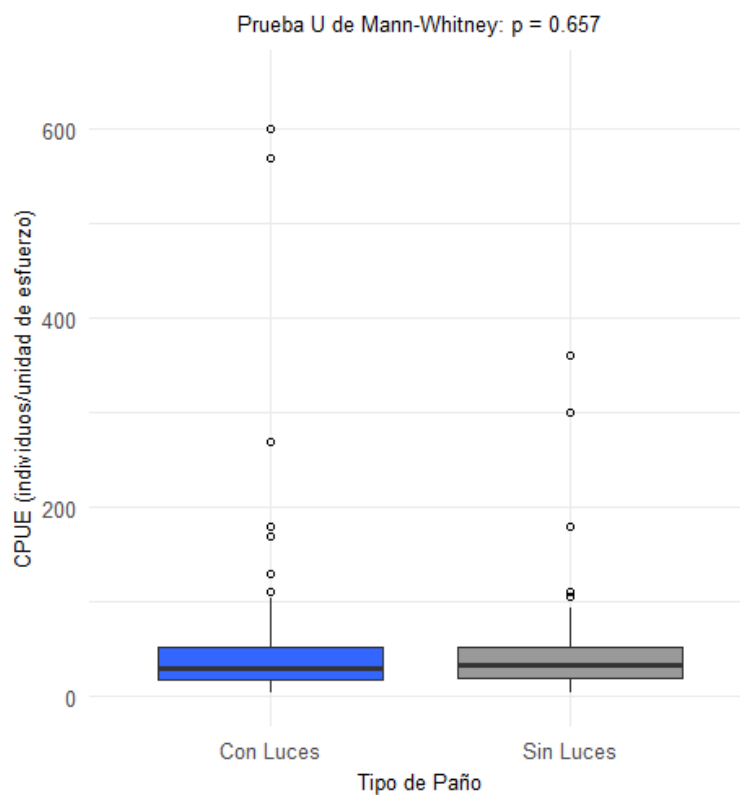
Adicionalmente, otros análisis tampoco encontraron un efecto significativo de las luces. El Modelo Binomial Negativo ( $p = 0.107$ ) y la Prueba de Permutación ( $p = 0.099$ ) corroboraron la falta de una diferencia estadísticamente concluyente. Aunque el Odds Ratio (OR) y el Rate Ratio (RR) sugieren un incremento en la captura con luces, la amplia incertidumbre en los intervalos de confianza (95%) indica que este efecto no es estadísticamente concluyente (Cuadro 3). Un análisis bayesiano complementario estimó que la probabilidad de que las luces reduzcan la captura de tortugas es del 4.68% (Fig. 4).



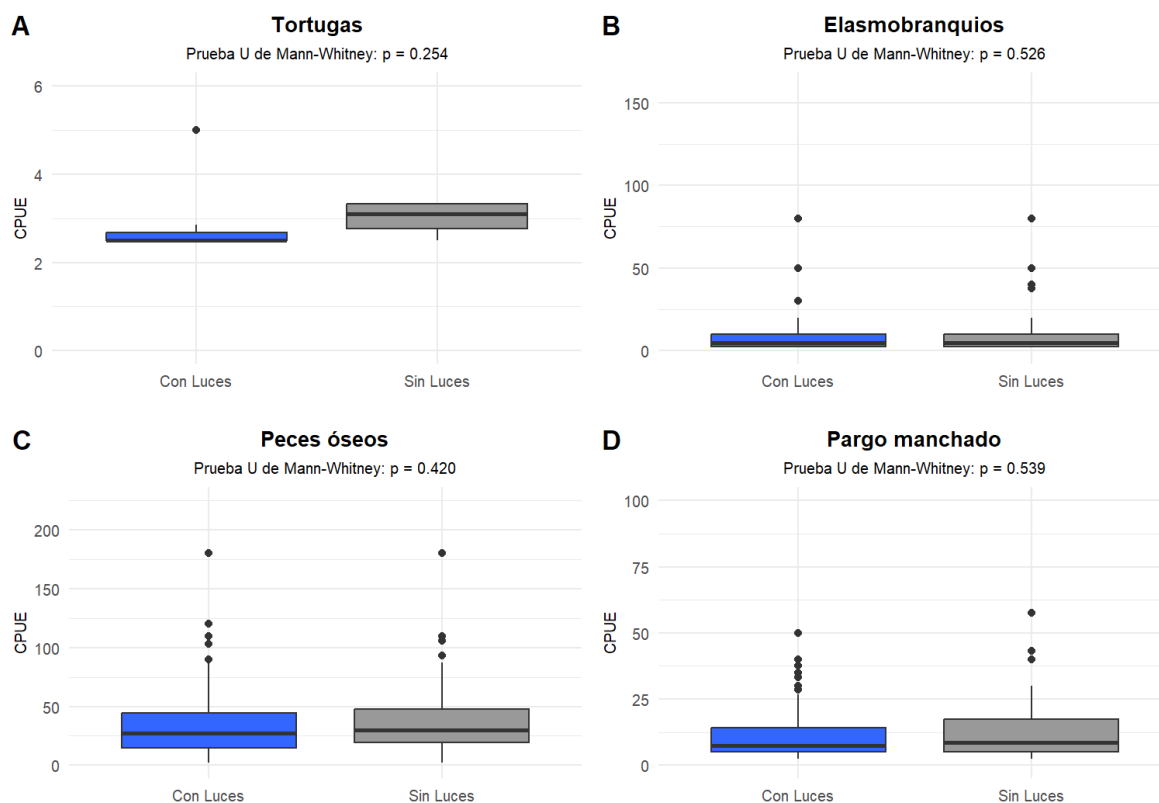
**Figura 4.** Distribuciones de probabilidad posterior para la tasa de encuentro de tortugas marinas por paño, obtenidas mediante un análisis bayesiano. Las líneas verticales punteadas indican las medias posteriores de cada distribución. Aunque existe un solapamiento considerable, la distribución del tratamiento con luces LED está desplazada hacia una mayor probabilidad de captura.

Cuadro 3. Resumen de los resultados de las pruebas estadísticas realizadas para evaluar el efecto de las luces LED en la tasa de captura de tortugas marinas ( $p > 0.05$ ).

Prueba	p_valor	Tamaño del efecto	IC 95%
Fisher's Exact Test	0.1	No Aplica	No aplica
GLM Binomial Negativo	0.107	RR = 2.757	[0.809, 11.145]
Test de Permutación	0.099	No Aplica	No Aplica



**Figura 5.** Boxplot de la Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) general por tipo de paño. La CPUE promedio fue mayor en los paños con luces (56.4) que en los paños sin luces (47.0), pero la diferencia no fue estadísticamente significativa (prueba U de Mann-Whitney,  $p=0.657$ ).

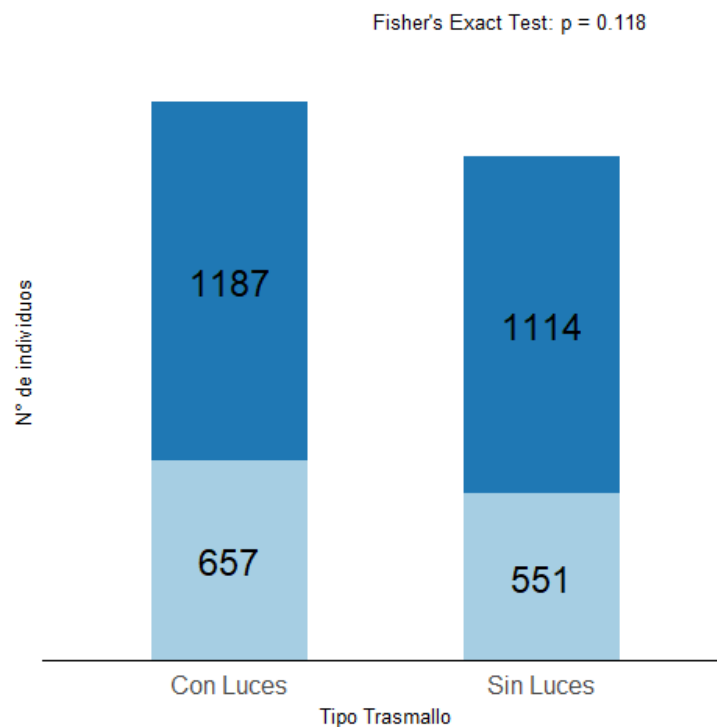


**Figura 6.** Distribución de la Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) por tipo de paño para las principales categorías de captura. Los boxplots muestran la mediana, los cuartiles y el rango de los datos de CPUE. **A.** Tortugas marinas, **B.** Elasmobranquios, **C.** Peces óseos y **D.** Especie comercial (*Lutjanus guttatus*). La prueba estadística no encontró diferencias significativas entre los paños con y sin luces (Prueba U de Mann-Whitney,  $p > 0.05$  para todos los casos).

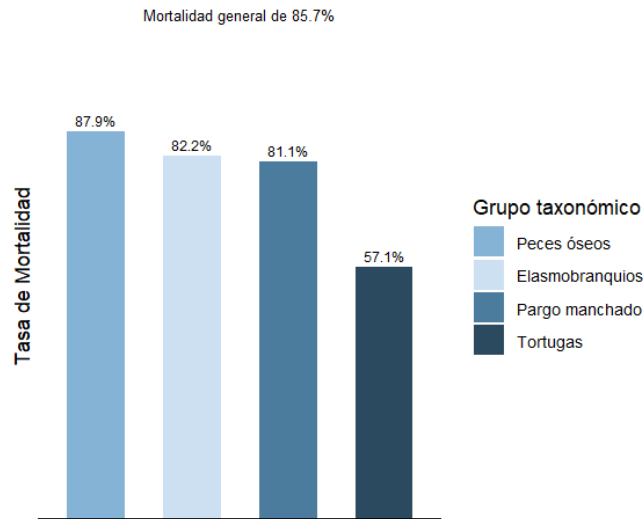
### 3.2 Análisis de Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE)

El análisis de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) se realizó para determinar el impacto de las luces LED en la eficiencia de la pesca. La duración promedio del calado de los trasmallos fue de 11.64 horas. A pesar de las diferencias en las tasas de captura, las pruebas estadísticas no mostraron un efecto significativo del uso de luces LED en la CPUE de ninguna de las categorías analizadas. El análisis de la CPUE general, que incluyó a todos los individuos capturados, mostró una CPUE promedio de 56.4 individuos por unidad de esfuerzo para los paños "Con Luces", y de 47.0 individuos por unidad de esfuerzo para los paños "Sin Luces". Sin embargo, la prueba U de Mann-Whitney no encontró una diferencia estadísticamente significativa entre los dos grupos ( $p = 0.657$ ) (Fig. 5). La CPUE de las especies objetivo, como el pargo manchado (*Lutjanus guttatus*), no varió significativamente

entre los paños con luces (13.2 individuos por unidad de esfuerzo) y sin luces (13.8 individuos por unidad de esfuerzo) ( $p=0.539$ ). De manera similar, no se encontraron diferencias significativas en la CPUE para los elasmobranquios ( $p=0.526$ ) ni para los peces óseos en general ( $p = 0.490$ ). Sin embargo, se observó una CPUE de tortugas marinas más baja en los paños con luces (2.91 individuos por unidad de esfuerzo) en comparación con los paños sin luces (3.01 individuos por unidad de esfuerzo), aunque esta diferencia no fue estadísticamente significativa en el análisis de CPUE ( $p = 0.254$ ) (Fig. 6)



**Figura 7.** Tasa de mortalidad de los principales grupos taxonómicos capturados. La tasa se calculó como la proporción de individuos muertos del total de individuos vivos y muertos cuyo estado pudo ser verificado. El color de cada barra corresponde al grupo taxonómico indicado en la leyenda.



**Figura 8.** Composición proporcional de la captura total por tratamiento (con y sin luces LED). La composición de la captura difiere significativamente entre ambos tratamientos ( $p < 0.05$ ), lo que indica un efecto de selectividad de las luces LED.

### 3.3 Análisis de Selectividad y Mortalidad Multi-Especies

El análisis de selectividad mostró que el efecto de las luces LED no fue uniforme en todas las especies. Se observó una interacción estadísticamente significativa entre el uso de luces y la clasificación “Peces Óseos” ( $p < 0.05$ ), lo que indica que el efecto de las luces en la composición de la captura varió entre los paños con y sin luces. Adicionalmente, las tasas de mortalidad fueron altas en toda la captura, con un promedio general del 85.7%. Las tasas de mortalidad por grupo taxonómico fueron del 87.9% para "Peces óseos", 82.2% para los elasmobranquios, 81.1% para el pargo manchado y 57.1% para las tortugas marinas. Las pruebas estadísticas realizadas no encontraron un efecto significativo de las luces LED en la tasa de mortalidad para ninguno de los grupos analizados ( $p > 0.05$ ) (Fig. 7 y 8).

### 3.4 Caracterización de la Captura y su Valor Económico

El análisis de la composición de la captura total, que incluyó 3,521 individuos, reveló que la mayor parte tuvo un destino comercial. La suma de las categorías Venta y Chatarra constituyó el 65.46% de las capturas. Por otro lado, las categorías no comerciales de Liberado, Consumo y Carnada representaron el 34.54% restante. La diversidad de especies capturadas fue notable, con 40 especies únicas en la categoría de Chatarra y Liberado, y 25

especies en la de Consumo. En contraste, la categoría de Venta, a pesar de tener el mayor número de individuos, fue la menos diversa con solo 14 especies únicas (Cuadro 4).

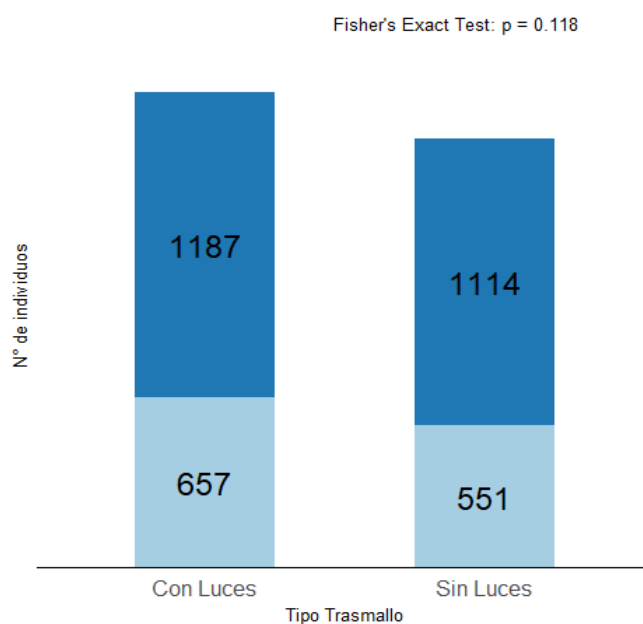
Cuadro 4. Resumen de la captura por categoría de destino, donde muestra el total de individuos, su porcentaje respecto al total de la captura y el número de especies únicas asociadas a cada categoría de destino.

Categoría	Individuos Totales	Porcentaje del Total	Número de especies
Venta	1,264	35.90	14
Chatarra	1,038	29.48	40
Liberado	878	24.94	40
Consumo	181	5.14	25
Carnada	160	4.54	7
Total	3,521	100.00	79*

\*Nota: el valor que corresponde al total de especies no corresponde a la sumatoria de las halladas por categoría.

Se evaluó el efecto de las luces LED en la proporción de especies de destino comercial y no comercial. Aunque las redes con luces capturaron 1,187 individuos comerciales y 657 no comerciales, mientras que las redes sin luces capturaron 1,114 comerciales y 551 no comerciales, la prueba Exacta de Fisher ( $p = 0.118$ ) no mostró una asociación significativa entre el uso de luces y la proporción de individuos de destino comercial y no comercial en la captura (Fig. 9).

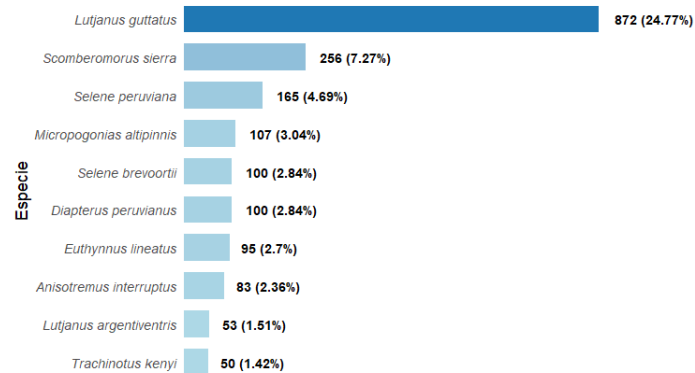
El análisis de la composición de la captura total reveló una alta diversidad de especies, con un total de 79 identificadas. Sin embargo, las 10 especies comerciales más capturadas representan el 65.48% del total de individuos. Aunque la especie objetivo es el pargo manchado (*Lutjanus guttatus*), la captura incidental es altamente representativa, con la palometa jorobada (*Selene brevoortii*) y la macarela (*Scomberomorus sierra*) entre las más abundantes.



**Figura 9.** Conteo total de individuos capturados por categoría de destino (Comercial y No Comercial) en redes de trasmallo con y sin luces. Las etiquetas dentro de las barras indican el número exacto de individuos para cada categoría. La prueba Exacta de Fisher ( $p=0.118$ ) no mostró una asociación significativa entre el uso de luces y la composición de la captura.

### 3.5 Análisis de Poder

Se realizó un análisis de poder para evaluar la capacidad del estudio de detectar un efecto real de las luces LED. El tamaño del efecto observado (h de Cohen) fue de 0.23, lo que se considera un efecto mediano. Para detectar un efecto de esta magnitud con un poder estadístico del 80% y un nivel de significancia de  $\alpha=0.05$ , se necesitaría un tamaño de muestra de aproximadamente 25 paños por grupo.



**Figura 10.** Las 10 especies comerciales más capturadas. El gráfico de barras muestra el número de individuos de cada especie, así como el porcentaje que cada una representa en la captura total. La selección se realizó a partir de las categorías de destino "Venta" y "Chatarra", y las etiquetas de las barras indican el número total de individuos y su porcentaje correspondiente.

#### 4. Discusión

##### 4.1 Efectividad de las Luces LED para la Mitigación de la Captura Incidental

La captura incidental de megafauna marina en las pesquerías de trasmallos es un problema de conservación global. Las estrategias de mitigación se han centrado en la modificación de artes de pesca, los cierres espaciales y el desarrollo de disuasivos que alteran el comportamiento animal (Gilman et al., 2010). La iluminación de los trasmallos con luces LED se enmarca en esta última categoría, representando una innovación tecnológica que busca explotar las capacidades sensoriales de las tortugas para reducir su interacción con el arte de pesca. En este estudio, evaluamos la efectividad de esta medida en el contexto de una pesquería artesanal con trasmallo del Pacífico de Costa Rica.

Contrario a la creciente evidencia de la literatura global que sugiere que la iluminación de trasmallos es una medida de mitigación efectiva (Allman et al., 2020; 2020;

Bielli et al., 2020; Darquea et al., 2020; Ortiz et al., 2016; Senko et al., 2022), los resultados no demostraron un efecto estadísticamente significativo de las luces LED en la reducción de la captura incidental de tortugas marinas. El análisis GLM, a pesar de observar una menor captura en los paños sin luces (4 tortugas) en comparación con los paños iluminados (11 tortugas), no encontró evidencia suficiente para afirmar que esta diferencia sea estadísticamente concluyente ( $p = 0.107$ ). No obstante, otros estudios también han reportado una falta de significancia estadística (Post et al., 2024; Prasetyo et al., 2017), lo que sugiere que factores locales como la turbidez del agua, la ecología de forrajeo o el comportamiento de las poblaciones de tortugas pueden influir en la efectividad de la medida (Alfaro, 2002). La discrepancia entre nuestros resultados y los de la literatura, por lo tanto, podría deberse a una combinación de estas variables, que no permitieron a las luces LED funcionar como un disuasivo eficaz en las condiciones específicas de nuestro estudio.

#### **4.2 Factores que Influyen en el Efecto de la Iluminación**

La interpretación de nuestros resultados debe considerar la ecología de forrajeo de las especies capturadas y las dinámicas operativas de la pesquería. El hecho de que la tortuga lora (*Lepidochelys olivacea*), la especie predominante en nuestro estudio, forrajea activamente en aguas costeras (Singh et al., 2022) y que las tortugas carey juveniles (*Eretmochelys imbricata*) y verdes (*Chelonia mydas*) también utilizan estos hábitats rocosos costeros, explica su vulnerabilidad (Carrión-Cortez et al., 2013; Heidemeyer et al., 2014). Sin embargo, la logística de esta pesquería artesanal evita deliberadamente los fondos rocosos para prevenir daños en los trasmallos, creando un desajuste espacial que podría explicar la baja tasa de captura y la falta de un efecto significativo.

Además, la falta de un efecto significativo de las luces LED podría estar relacionada con una combinación de factores conductuales y ambientales (Alfaro, 2002). Durante el periodo de estudio, que se superpuso con la época lluviosa, una mayor turbidez del agua podría haber limitado la efectividad de las luces LED como disuasivo visual, un hallazgo que coincide con otros estudios (Post et al., 2024). Por esta razón, los pescadores artesanales aprovechan estas condiciones para utilizar sus trasmallos, ya que la visibilidad reducida dificulta que los peces objetivo eviten el trasmallo, lo que aumenta la productividad de la pesca (Zhang et al., 2024). Este factor ambiental, que beneficia la captura de especies

comerciales, también pudo haber limitado la efectividad de las luces LED. La visibilidad reducida por la turbidez podría haber impedido que las tortugas detectaran los dispositivos a una distancia suficiente para evitarlo, lo que se alinea con hallazgos de otros estudios que señalan que la efectividad de los disuasores visuales depende de las condiciones del agua (Post et al., 2024). Por otro lado, la fisiología de la visión de las tortugas sugiere que las luces podrían haber sido un disuasivo eficaz, pero es posible que su respuesta a la iluminación varíe entre especies, tamaños y poblaciones (Wang et al., 2010; Wang et al., 2013).

### 4.3 Impacto de la Baja Selectividad y el Valor Económico

La viabilidad de cualquier tecnología de mitigación en la pesca artesanal no solo debe ser medida por su eficacia para la conservación, sino también por su impacto en la productividad de la pesquería. El análisis de la Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) de las especies con valor comercial confirmó esta predicción. Los resultados indican que el uso de luces LED no tuvo un impacto estadísticamente significativo en la CPUE de las especies objetivo o de las otras categorías. Específicamente, la CPUE para el pargo manchado (*Lutjanus guttatus*) no varió significativamente ( $p = 0.539$ ), lo mismo ocurrió con los elasmobranquios y el conjunto de peces óseos. No obstante, es notable la marcada diferencia en la CPUE total: los paños iluminados mostraron una productividad 1.2 veces mayor (CPUE = 56.4) que los paños no iluminados (CPUE = 47.0). La viabilidad económica es un factor determinante para la adopción de cualquier tecnología de mitigación en pesquerías artesanales. Nuestro hallazgo de que el uso de luces LED no afectó negativamente la CPUE de las especies objetivo se alinea con numerosos estudios globales que documentan la viabilidad de esta tecnología (Senko et al., 2022; Ortiz et al., 2016; Bielli et al., 2020). La falta de una pérdida en las capturas, combinada con la posibilidad de que las luces verdes actúen como atrayentes para los peces comerciales, genera un escenario de beneficio mutuo (Wang et al., 2009). Este equilibrio entre la conservación y el sustento económico es lo que ha impulsado la aceptación de las luces LED en otras pesquerías de pequeña escala a nivel mundial.

El análisis sobre la captura incidental debe interpretarse en el contexto de la dinámica poblacional local de la tortuga lora (*Lepidochelys olivacea*). A pesar de la reciente documentación de una playa de anidación en la zona, la captura incidental fue de solo 15

individuos (Rojas-Carrizales, 2022). Este bajo número, en un área de alta densidad poblacional, sugiere que la superposición de hábitats entre las tortugas marinas y la pesca con trasmallo podría ser menor de lo esperado, un fenómeno reforzado por el tamaño de malla utilizado y un esfuerzo de pesca de dos embarcaciones con licencia vigente (Arkronrat et al. 2025; Incopesca, 2025). Como señala el estudio de Risien y Tilt (2008), la viabilidad a largo plazo de cualquier medida de conservación depende de la aceptación y la participación de la comunidad pesquera, un factor que ha sido identificado como determinante para el éxito de la tecnología a nivel global (Bielli et al., 2020; Darquea et al., 2020; Mangel et al., 2018; Kakai, 2019; Senko et al., 2022).

A pesar de que la tasa de captura de tortugas fue baja, su alta tasa de mortalidad (57.1%) resalta el riesgo que representa para sus poblaciones amenazadas (IUCN, 2022). El estudio de Durham et al. (2024) proporciona un marco para evaluar este riesgo a nivel poblacional, subrayando que incluso una mortalidad aparentemente baja puede tener un impacto significativo si afecta a individuos reproductores o poblaciones vulnerables. De igual forma, las dinámicas de captura dependen de factores como el tiempo de remojo prolongado, que puede saturar los trasmallos y reducir su efectividad (Prchalova, 2010), y la actividad de los peces, que influye en su probabilidad de enmallarse (Prchalova et al., 2010). El trabajo de Svalheim et al. (2025) apoya esta noción, al demostrar que un tiempo de remojo prolongado aumenta significativamente la mortalidad de los individuos capturados debido al estrés fisiológico. Por lo tanto, aunque la tasa de captura de tortugas fue baja, su alta tasa de mortalidad puede estar asociada a los tiempos prolongados de remojo a los que se sometieron los trasmallos (11.64 horas promedio) siendo un hallazgo crítico que debe ser considerado en futuras estrategias de manejo y conservación (Alfaro-Shigueto et al., 2011).

El efecto de la iluminación en los trasmallos se extiende más allá de la captura incidental de tortugas, influenciando la selectividad y el valor general de la pesca. Nuestro análisis mostró una interacción estadísticamente significativa entre el uso de luces LED y los “peces óseos”, alineándose con la literatura que demuestra que la selectividad del trasmallo está limitada a su diseño, provocando una elevada captura de organismos con tamaños, formas y rasgos biológico y fisiológicos que provocan que se enmallen no sólo por las agallas (mecanismo de pesca principal), sino también por otras partes del cuerpo (Arkronrat et al. 2025; De Souza & Fernandes, 2024; Wang et al., 2009; Wang et al., 2013). A pesar de que

el 65.46% de la captura tiene un valor comercial bajo, el análisis de la composición de la captura total registró que es una pesquería poco selectiva, con 79 especies de las cuales sólo una tiene un alto valor comercial. Estos resultados refuerzan la noción, respaldada por estudios como los de Senko et al. (2022) y Ortiz et al. (2016), de que las medidas de conservación deben ser económicamente viables para los pescadores artesanales, siendo de vital importancia mejorar la pesquería en su selectividad.

#### **4.4 Implicaciones para la Conservación y la Sostenibilidad**

Si bien nuestros resultados no demostraron un efecto estadísticamente significativo de las luces LED en la reducción de la captura incidental, la evaluación de estas tecnologías es más urgente que nunca en el contexto del cambio climático. El estudio de Duquesne y Fournier (2025) sugiere que el aumento de la temperatura oceánica está redefiniendo los hábitats clave de las tortugas marinas, desplazando sus zonas de forrajeo y migración. Este desplazamiento podría generar nuevos puntos de conflicto con la pesca artesanal en el Pacífico de Costa Rica, incrementando el riesgo de captura incidental en zonas que históricamente no han sido problemáticas. La necesidad de contar con soluciones viables y accesibles, como las luces LED, será crucial para abordar los nuevos desafíos de conservación que se esperan con el avance del cambio climático (Senko et al., 2022; Ortiz et al., 2016). Por lo tanto, aunque nuestro estudio se vio limitado por una baja tasa de captura, su principal contribución radica en ser un trabajo pionero que sienta las bases para futuros esfuerzos de mitigación en el país. Como se destaca en el estudio de Brownell et al. (2019), la captura incidental en pesquerías de trasmallo representa una amenaza global para una gran variedad de especies, por lo que la búsqueda de soluciones efectivas para múltiples especies, como las luces LED, es un objetivo prioritario.

La principal limitación de este estudio no fue la falta de potencia estadística, sino la ausencia de un efecto suficientemente fuerte de las luces LED. A pesar de haber analizado un total de 245 paños de trasmallo, el análisis de poder demostró que el efecto observado fue demasiado débil para ser considerado estadísticamente significativo. Este hallazgo, corroborado por los resultados no significativos del GLM, indica que, en las condiciones de este estudio, las luces LED no funcionaron como un disuasivo eficaz. Esto nos obliga a considerar factores que pudieron haber influido en este resultado. La escasa interacción de las tortugas con los trasmallos pudo deberse a la baja visibilidad de los dispositivos o a que

las tortugas simplemente no fueron disuadidas por las luces (Wang et al., 2009; Wang et al., 2013). Futuras investigaciones podrían enfocarse en factores que puedan aumentar la visibilidad y el impacto de los dispositivos, como variaciones en la intensidad de la luz, el color o la frecuencia.

## 5. Conclusiones

Este estudio pionero en Costa Rica evaluó las luces LED como mitigación de captura incidental, encontrando que, aunque no fueron un disuasivo estadísticamente eficaz para las tortugas marinas en las condiciones locales específicas, tampoco impactaron negativamente la productividad de la pesquería (CPUE). Este hallazgo subraya la importancia de adaptar las soluciones de mitigación a cada contexto ecológico, a la vez que confirma que el trasmallo es un arte de pesca poco selectivo y con altas tasas de mortalidad que requiere atención urgente. A pesar de los resultados, esta investigación sirve como una base fundamental para futuros esfuerzos de conservación y monitoreo en el país.

## 6. Referencias

- Alfaro, E. J. (2002). Some characteristics of the annual precipitation cycle in Central America and their relationships with its surrounding tropical oceans. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 9(2), 88-103.
- Alfaro-Shigueto, J., Mangel, J. C., Bernedo, F., Dutton, P. H., Seminoff, J. A., & Godley, B. J. (2011). Small-scale fisheries of Peru: A major sink for marine turtles in the Pacific. *Journal of Applied Ecology*, 48(6), 1432–1440. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.02040.x>
- Allman, P., Agyekumhene, A., & Stemle, L. (2020). Gillnet illumination as an effective measure to reduce sea turtle bycatch. *Conservation Biology*, 35(3), 967-975. <https://doi.org/10.1111/cobi.13647>
- Arias, O.B., Bonilla, L.B., Salazar, A.B. & Delgado, A.V. (2015). Características de la anidación de *Lepidochelys olivacea* (Testudinata: Cheloniidae) entre el 2010 y 2012 en Playa Tortuga Ojochal de Osa, Puntarenas, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 63(1): 339- 349. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v63i1.23113>
- Arina, N. U. R., Mohidin, H., Hajisamae, S., Abdullah, M. M., Hashim, M., Ishak, S. D., & Fazrul, H. (2022). Assessing impact of stingray gill net fishery to bycatch population around Bidong Island, Malaysia. *Journal of Sustainability Science and Management*, 17(5), 23–36. <http://doi.org/10.46754/jssm.2022.05.003>

- Arkronrat, W., Somsiri, C., & Chantawanich, A. (2025). Catch composition, size and CPUE of spiny lobsters in bottom gillnet fishing. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 105(2), 223-231.
- Azofeifa-Solano, J. C., Clarke, T. M., Espinoza, M., & Wehrtmann, I. S. (2021). Reproductive cycles of the southern banded guitarfish *Zapteryx xyster* and the Velez Ray *Raja velezi* caught as bycatch in a bottom-trawl fishery. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 49(1), 48–59. <https://doi.org/10.3856/vol49-issue1-fulltext-2558>
- Bartol, S. M., Musick, J. A., & Ochs, A. L. (2002). Visual acuity thresholds of juvenile loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*): an electrophysiological approach. *Journal of comparative physiology. A, Neuroethology, sensory, neural, and behavioral physiology*, 187(12), 953–960. <https://doi.org/10.1007/s00359-001-0262-x>
- Baum, J. K., Myers, R. A., Kehler, D. G., Worm, B., Harley, S. J., & Doherty, P. A. (2003). Collapse and conservation of shark populations in the Northwest Atlantic. *Science*, 299(5605), 389–392. <https://doi.org/10.1126/science.1079777>
- Bielli, A., Alfaro-Shigueto, J., Doherty, P. D., Godley, B. J., Ortiz, C., Pasara, A., ... Mangel, J. C. (2020). An illuminating idea to reduce bycatch in the Peruvian small-scale gillnet fishery. *Biological Conservation*, 241, 108277. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108277>
- Blanco, G. S., Morreale, S. J., Vélez, E., Piedra, R., Montes, W. M., Paladino, F. V., & Spotila, J. R. (2012). Reproductive output and ultrasonography of an endangered population of East Pacific green turtles. *Journal of Wildlife Management*, 76(4), 841–846. <https://doi.org/10.1002/jwmg.304>
- Bolten, A. B. (1999). Techniques for Measuring Sea Turtles. *K.L. Eckert, K.A. Bjorndal, F.A. Abreu-Grobois, M. Donnelly (Editors). Research and Management Techniques for the Conservation of Sea Turtles. IUCN/SSC Marine Turtle Specialist Group Publication No. 4., 4, 1–5.*
- Brownell, R. L., Jr., Reeves, R. R., Read, A. J., & Van Waerebeek, K. (2019). Bycatch in gillnet fisheries threatens critically endangered small cetaceans. *Endangered Species Research*, 39, 1-10.
- Carrión-Cortez, J., Canales-Cerro, C., Arauz, R., & Riosmena-Rodríguez, R. (2013). Habitat use and diet of juvenile eastern pacific hawksbill turtles (*Eretmochelys imbricata*) in the north Pacific coast of Costa Rica. *Chelonian Conservation and Biology*, 12(2), 235–245. <https://doi.org/10.2744/CCB-1024.1>
- Casale, P. (2011). Sea turtle by-catch in the Mediterranean. *Fish and Fisheries*, 12(3), 299–316. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2010.00394.x>

- Chan, E. H., Liew, H. C., & Mazlan, A. G. (1988). The incidental capture of sea turtles in fishing gear in Terengganu, Malaysia. *Biological Conservation*, 43(1), 1–7. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(88\)90074-2](https://doi.org/10.1016/0006-3207(88)90074-2)
- Chuenpagdee, R., Liguori, L., Palomares, M. L. D., & Pauly, D. (2006). Bottom-up, global estimates of small-scale marine fisheries catches. *Fisheries Centre Research Reports*, 14(8), 105.
- Constantino, M. A., & Salmon, M. (2003). Role of chemical and visual cues in food recognition by leatherback posthatchlings (*Dermochelys coriacea* L). *Zoology*, 106(3), 173–181. <https://doi.org/10.1078/0944-2006-00114>
- Coopecerroazul. 2000. Oferta de Prestación de Servicios a PRODAPEN. Transferencia tecnológica para el mejoramiento de la producción y productividad de las plantaciones de café, de los pequeños productores asociados a Coopecerroazul R.L. en el cantón de Nandayure.
- Cortés, J., & Wehrtmann, I. S. (2009). Diversity of Marine Habitats of the Caribbean and Pacific of Costa Rica. In *Marine Biodiversity of Costa Rica, Central America*, 1–45. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8278-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8278-8_1)
- Crowder, L. B., Crouse, D. T., Heppell, S. S., & Martin, T. H. (1994). Predicting the impact of turtle excluder devices on loggerhead sea turtle populations. *Ecological Applications*, 4(3), 437–445. <https://doi.org/10.2307/1941948>
- Darquea, J. J., Ortiz-Alvarez, C., Córdova-Zavaleta, F., Medina, R., Bielli, A., Alfaro-Shigueto, J., & Mangel, J. C. (2020). Trialining net illumination as a bycatch mitigation measure for sea turtles in a small-scale gillnet fishery in Ecuador. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 48(3), 446–455. <https://doi.org/10.3856/vol48-issue3-fulltext-2428>
- Davies, R. W. D., Cripps, S. J., Nickson, A., & Porter, G. (2009). Defining and estimating global marine fisheries bycatch. *Marine Policy*, 33(4), 661–672. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2009.01.003>
- De Souza, C. R., & Fernandes, J. M. (2024). Life history traits, capture dynamics, and conservation status of key species landed by the artisanal gillnet. *Fisheries Research*, 273, 107086.
- Duffy, L. M., Lennert-Cody, C. E., Olson, R. J., Minte-Vera, C. V., & Griffiths, S. P. (2019). Assessing vulnerability of bycatch species in the tuna purse-seine fisheries of the eastern Pacific Ocean. *Fisheries Research*, 219(31), 105316. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2019.105316>
- Dulvy, N. K., Fowler, S. L., Musick, J. A., Cavanagh, R. D., Kyne, P. M., Harrison, L. R., Carlson, J. K., Davidson, L. N., Fordham, S. V., Francis, M. P., Pollock, C. M., Simpfendorfer, C. A., Burgess, G. H., Carpenter, K. E., Compagno, L. J., Ebert, D. A.,

- Gibson, C., Heupel, M. R., Livingstone, S. R., ... & White, W. T. (2014). Extinction risk and conservation of the world's sharks and rays. *ELife*, 3, 1–34. <https://doi.org/10.7554/elife.00590>
- Durham, B. D., Langeland, M. J., & Ryman, M. J. (2024). Population level impact of gillnet entanglement mortality. *Fisheries Research*, 273, 107086.
- FAO (Food and Agriculture Organisation). (2018). The state of world fisheries and aquaculture 2018: meeting the sustainable development goals. FAO, Rome. <https://www.fao.org/3/i9540en/i9540en.pdf>
- Fischer, W., Krupp, F., Schneider, W., Sommer, C., Carpenter, K. E., & Niem, V. H. (1995). Guía FAO para la Identificación de Especies para los Fines de la Pesca, Pacífico centro-oriental, Plantas e Invertebrados (Vol. I). *Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)*.
- Frazier, J.G. & Brito, J. L. (1990). Incidental capture of marine turtles by the swordfish fishery at San Antonio, Chile. *Marine Turtle Newsletter*, (49), 8–13.
- Gaos, A. R., Abreu-Grobois, F. A., Alfaro-Shigueto, J., Amorocho, D., Arauz, R., Baquero, A., ... Zárata, P. (2010). Signs of hope in the eastern Pacific: International collaboration reveals encouraging status for a severely depleted population of hawksbill turtles *Eretmochelys imbricata*. *Oryx*, 44(4), 595–601. <https://doi.org/10.1017/S0030605310000773>
- Gilman, E., Beverly, S., Nakamo, H., Davis, K., Shiode, D., Dalzell, M., & Kinan, I. (2006). Reducing sea turtle by-catch in pelagic longline fisheries. *Fish and Fisheries*, 7(1), 2–23. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-2979.2006.00196.x>
- Gilman, E., Gearhart, J., Price, B., Eckert, S., Milliken, H., Wang, J., ... & Ishizaki, A. (2010). Mitigating sea turtle by-catch in coastal passive net fisheries. *Fish and Fisheries*, 11(1), 57–88. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2009.00342.x>
- Heidemeyer, M., Arauz-Vargas, R., & López-Agüero, E. (2014). New foraging grounds for hawksbill (*Eretmochelys imbricata*) and green turtles (*Chelonia mydas*) along the northern Pacific coast of Costa Rica, Central America. *Revista de Biología Tropical*, 62, 109–118. <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i4.20037>
- Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura (Incopesca) (11 de octubre de 2025). Transparencia Institucional, Datos Abiertos, Licencias de Pesca Nacionales Vigentes. [https://www.incopesca.go.cr/acerca\\_incopesca/transparencia\\_institucional/datos\\_abiertos.aspx](https://www.incopesca.go.cr/acerca_incopesca/transparencia_institucional/datos_abiertos.aspx)
- IUCN (1 de julio de 2022). Lista Roja de Especies. <https://www.iucnredlist.org/>
- Jacquet, J., & Pauly, D. (2008). Funding priorities: Big barriers to small-scale fisheries. *Conservation Biology*, 22(4), 832–835. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.00978.x>

- Jenkins, L. D. (2012). Reducing sea turtle bycatch in trawl nets: A history of NMFS turtle excluder device (TED) research. *Marine Fisheries Review*, 74(2), 26–44. <http://hdl.handle.net/1834/30405>
- Kakai, T. M. (2019). Assessing the effectiveness of LED lights for the reduction of sea turtle bycatch in an artisanal gillnet fishery - a case study from the north coast of Kenya. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science*, 18(2), 37–44. <https://doi.org/10.4314/wiojms.v18i2.4>
- Lewis-Beck, M.S., Bryman, A., Futing Liao, T. (2004). *The SAGE Encyclopedia of Social Science Research Methods*, (1<sup>a</sup> ed., Vol. 1). Sage publications, Thousand Oaks, CA. <https://doi.org/10.4135/9781412950589>
- Lewison, R. L., Crowder, L. B., Read, A. J., & Freeman, S. A. (2004). Understanding impacts of fisheries bycatch on marine megafauna. *Trends in Ecology and Evolution*, 19(11), 598–604. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2004.09.004>
- Lohmann KJ, Wang JH (2007) Behavioral responses of sea turtles to prototype experimental lightsticks. In: Swimmer Y, Wang JH (eds) 2006 Sea Turtle and Pelagic Fish Sensory Workshop, Sept 12–13, 2006. NOAA Tech Memo NMFS-PIFSC-12, p 15–17
- Mangel, J. C., Wang, J., Alfaro-Shigueto, J., Pingo, S., Jimenez, A., Carvalho, F., ... & Godley, B. J. (2018). Illuminating gillnets to save seabirds and the potential for multi-taxa bycatch mitigation. *Royal Society Open Science*, 5(7), 4–7. <https://doi.org/10.1098/rsos.180254>
- Mejía-Mercado, B. (2006). Aspectos taxonómicos y biológicos de las rayas espinosas del género *Urotrygon* en el Pacífico Vallecaucano, Colombia. (Tesis de bachillerato). Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Colombia.
- Moore, J. E., Cox, T. M., Lewison, R. L., Read, A. J., Bjorkland, R., McDonald, S. L., ... & Kiszka, J. (2010). An interview-based approach to assess marine mammal and sea turtle captures in artisanal fisheries. *Biological Conservation*, 143(3), 795–805. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.12.023>
- Newing, H. (2010). *Conducting Research in Conservation: Social Science Methods and Practice*. (1<sup>a</sup> ed., Vol 1), Routledge, Oxfordshire, UK. 400 pp. <https://doi.org/10.4324/9780203846452>
- Ortiz, N., Mangel, J. C., Wang, J., Alfaro-Shigueto, J., Pingo, S., Jimenez, A., ... & Godley, B. J. (2016). Reducing green turtle bycatch in small-scale fisheries using illuminated gillnets: The cost of saving a sea turtle. *Marine Ecology Progress Series*, 545, 251–259. <https://doi.org/10.3354/meps11610>

- Prasetyo, G. D., Wahju, R. I., Yusfiandayani, R., & Riyanto, M. (2017). Green Light Emitting Diode (LED) and its Effect on Sea Turtle Bycatch Reduction of Gillnet Fisheries in Paloh Waters. *Journal of Marine Fisheries Technology and Management*, 8(1), 87–99.
- Post, S., Merkel, F., Olesen, M., Nørgaard, N., & Hedeholm, R. (2024). Test of light emitting diodes (LED) as a possible bycatch mitigation measure in a gillnet fishery. *Global Ecology and Conservation*, 52, e02976. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2024.e02976>
- Prchalova, M. (2010). A model of gillnet catch in relation to the catchable biomass, saturation, soak. *Fisheries Management and Ecology*, 17(5), 415-422.
- Prchalova, M., Kubecka, J., & Mrkvicka, T. (2010). Fish activity as determined by gillnet catch: A comparison of two reservoirs of. *Fisheries Management and Ecology*, 17(5), 415-422.
- Programa Estado de la Nación (2021). Versión Completa Programa Estado de la Nación, Consejo Nacional de Rectores, Datos electrónicos (1 archivo: 2.400 kb). San José, C.R.: CONARE. ISBN 978-9930-607-55-8
- R Core Team. 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. [<http://www.R-project.org>]. Reviewed: September 25, 2022.
- Reina, R. D., Mayor, P. A., Spotila, J. R., Piedra, R., & Frank, V. (2002). Nesting ecology of the Leatherback Turtle, *Dermochelys coriacea*, at Parque Nacional Marino Las Baulas, Costa Rica: 1988-1989 to 1999-2000. *American Society of Ichthyologist and Herpetologists*, 2002(3), 653–664. [https://doi.org/10.1643/0045-8511\(2002\)002\[0653:NEOTLT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1643/0045-8511(2002)002[0653:NEOTLT]2.0.CO;2)
- Roberson, L. A. (2021). *Reducing fishing impacts on species of conservation concern at multiple scales, 0-2*. (Tesis de doctora). The University of Queensland, Australia.
- Roberson, L. y Wilcox, C. (2022). Bycatch rates in fisheries largely driven by variation in individual vessels behavior. *Nature Sustainability*. <http://dx.doi.org/10.1038/s41893-022-00865-0>
- Roberson, L. A., Watson, R. A., & Klein, C. J. (2020). Over 90 endangered fish and invertebrates are caught in industrial fisheries. *Nature Communications*, 11(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18505-6>
- Rogers, E. M. (1983). *Diffusion of Innovations*. 3<sup>a</sup> ed. The Free Press.
- Selgrath, J. C., Gergel, S. E., & Vincent, A. C. J. (2018). Shifting gears: Diversification, intensification, and effort increases in small-scale fisheries (1950-2010). *PLoS ONE*, 13(3), e0190232. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190232>

- Senko, J. F., Peckham, S. H., Aguilar-Ramirez, D., & Wang, J. H. (2022). Net illumination reduces fisheries bycatch, maintains catch value, and increases operational efficiency. *Current Biology*, 32(4), 911-918.e2. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.12.050>
- Serafy, J. E., Cooke, S. J., Diaz, G. A., Graves, J. E., Hall, M., Shivji, M., & Swimmer, Y. (2012). Circle hooks in commercial, recreational, and artisanal fisheries: Research status and needs for improved conservation and management. *Bulletin of Marine Science*, 88(3), 371–391. <https://doi.org/10.5343/bms.2012.1038>
- Singh, D., Singh, K., & Roy, S. (2022). Olive Ridley Sea Turtles (*Lepidochelys olivacea*) and their conservation in India. *Indian Journal of Geo Marine Sciences*, 51(4), 516-522.
- Soykan, C. U., Moore, J. E., Ždelis, R., Crowder, L. B., Safina, C., & Lewison, R. L. (2008). Why study bycatch? An introduction to the Theme Section on fisheries bycatch. *Endangered Species Research*, 5(2–3), 91–102. <https://doi.org/10.3354/esr00175>
- Svalheim, B. F., Karlsen, M. A., & Rønning, H. L. (2025). Impact of gillnet soaking time on survival stress physiology and muscle quality in atlantic cod. *Fisheries Research*, 273, 107086.
- Valente, T. W. (1996). Social network thresholds in the diffusion of innovations. *Social Networks*, 18(1), 69–89. [https://doi.org/10.1016/0378-8733\(95\)00256-1](https://doi.org/10.1016/0378-8733(95)00256-1)
- Valverde, R. A., Orrego, C. M., Tordoir, M. T., Gómez, F. M., Solís, D. S., Hernández, R. A., ... & Spotila, J. R. (2012). Olive ridley mass nesting ecology and egg harvest at Ostional beach, Costa Rica. *Chelonian Conservation and Biology*, 11(1), 1–11. <https://doi.org/10.2744/CCB-0959.1>
- Virgili, M., Vasapollo, C., & Lucchetti, A. (2018). Can ultraviolet illumination reduce sea turtle bycatch in Mediterranean set net fisheries? *Fisheries Research*, 199, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2017.11.012>
- Wang, J. H., Fisler, S., & Swimmer, Y. (2010). Developing visual deterrents to reduce sea turtle bycatch in gill net fisheries. *Marine Ecology Progress Series*, 408, 241–250. <https://doi.org/10.3354/meps08577>
- Wang, J., Barkan, J., Fisler, S., Godínez-Reyes, C., & Swimmer, Y. (2013). Developing ultraviolet illumination of gillnets as a method to reduce sea turtle bycatch. *Biology Letters*, 9(5), 2013–2016. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2013.0383>
- Watson, J. W., Epperly, S. P., Shah, A. K., & Foster, D. G. (2005). Fishing methods to reduce sea turtle mortality associated with pelagic longlines. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 62(5), 965–981. <https://doi.org/10.1139/f05-004>
- Zarate, P., Bjørndal, K.A., Parra, M., Dutton, P.H., Seminoff, J.A. & Bolten, A.B. 2013. Hatching and emergence success in green turtle *Chelonia mydas* nests in the Galápagos Islands. *Aquatic Biology*, 19(3): 217-229. [DOI:10.3354/ab00534](https://doi.org/10.3354/ab00534)

## CAPÍTULO 2

### PERCEPCIONES Y ADOPCIÓN DE INNOVACIONES SOCIALES Y TECNOLÓGICAS PARA LA CONSERVACIÓN DE TORTUGAS MARINAS EN UNA PESQUERÍA ARTESANAL EN NANDAYURE, GUANACASTE.

Jeffry Madrigal-Mesén<sup>1,2</sup> <https://orcid.org/0000-0002-2377-1946>

Randall Arauz<sup>3</sup> <https://orcid.org/0000-0003-4907-0424>

Andrés Beita-Jiménez<sup>4</sup> <https://orcid.org/0000-0002-0104-8183>

Juan José Alvarado<sup>5,6,7</sup> <https://orcid.org/0000-0002-2620-9115>

Agustín Gómez<sup>8</sup> <https://orcid.org/0000-0002-7383-3754>

1. Centro Rescate de Especies Marinas Amenazadas, San José, Costa Rica.
2. Asociación Mantas Costa Rica, Alajuela, Costa Rica.
3. Marine Watch International, California, Estados Unidos.
4. Memorial University of Newfoundland Fisheries and Marine Institute: Saint John's, NL, CA.
5. Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica, 11501-2060 San José, Costa Rica.
6. Centro de Investigación de Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), Universidad de Costa Rica, San Pedro, 11501-2060 San José, Costa Rica
7. Museo de Zoología, Universidad de Costa Rica.
8. Centro de Investigación Observatorio del Desarrollo, Universidad de Costa Rica, San José.

## 1. Introducción

La pesca artesanal es una actividad socioeconómicamente vital en muchas comunidades costeras, pero a menudo enfrenta el desafío de la captura incidental de especies no objetivo, como las tortugas marinas (Senko et al., 2022). Estas especies, muchas de ellas en peligro de extinción, son vulnerables a ser atrapadas en artes de pesca pasivas, como los trasmallos, lo que representa una amenaza significativa para sus poblaciones (Allman et al., 2020). Se estima que la pesca artesanal o de pequeña escala representa más del 85% de la actividad pesquera global, proporcionando sustento directo e indirecto a al menos 200 millones de personas a nivel mundial (FAO, 2010; FAO, 2016). En el contexto nacional, la pesca artesanal es un pilar fundamental para la seguridad alimentaria y el desarrollo socioeconómico de las comunidades costeras, si bien enfrenta la creciente presión de la sobreexplotación de sus recursos y los impactos del cambio climático que amenazan la sostenibilidad de la actividad (Informe Estado de la Nación, 2024). Además de la captura incidental, las pesquerías a nivel global se enfrentan a desafíos crecientes debido a la sobreexplotación pesquera y los impactos del cambio climático, que afectan la disponibilidad de los recursos marinos y la estabilidad de los ecosistemas costeros (FAO, 2024). La exploración de soluciones novedosas que posibiliten la coexistencia entre la actividad pesquera y la conservación marina es crucial (Bielli et al., 2020). La implementación de tecnologías novedosas, como las luces LED en los trasmallos, ha demostrado ser una estrategia prometedora para reducir la captura incidental de tortugas marinas (Senko et al., 2022; Allman et al., 2020; Bielli et al., 2020). A diferencia de otros sectores, en la pesca, el objetivo principal de la innovación no es solo incrementar la producción, sino asegurar la sostenibilidad a mediano y largo plazo, lo que es inseparable de la protección del medio marino y la búsqueda de modelos de gestión pesquera responsable (Delgado-Ramírez y Soto-Aguirre, 2018). Este enfoque se alinea con la necesidad de una "innovación sostenible" que integre tecnologías y promueva el triple impacto (económico, social y ambiental) en la actividad pesquera (Zanfrillo et al., 2022).

Sin embargo, la efectividad de estas innovaciones no solo depende de su viabilidad técnica, sino también de su aceptación y adopción por parte de los pescadores (Rogers, 2003; Acikgoz et al., 2023; Eke & Bufumoh, 2024). La teoría de la *Difusión de Innovaciones* postula que la manera en que una nueva idea o tecnología es comunicada y percibida dentro

de un sistema social influye directamente en su tasa de adopción (Rogers, 2003). La difusión es el proceso por el cual una innovación es comunicada a través de ciertos canales a lo largo del tiempo entre los miembros de un sistema social, e implica cuatro elementos clave: la innovación, los canales de comunicación, el tiempo de difusión y el sistema social (Cuevas-Reyes et al., 2014; Rogers, 2003). Este proceso es gradual, y puede prolongarse durante décadas (Sinde-Cantorna et al., 2006). La adopción generalizada de una innovación depende de factores como sus ventajas relativas, su compatibilidad con las prácticas actuales, la complejidad percibida, la facilidad de prueba y la visibilidad de sus resultados. Cuanto más evidentes sean estas características, mayor será la tasa de adopción (Cuevas-Reyes et al., 2014; Sinde-Cantorna et al., 2006; Rogers, 2003). La elección de adoptar una tecnología no solo se basa en su conocimiento, sino también en factores como el costo, su complementariedad con el equipo actual y la disponibilidad de personal cualificado para su uso y conservación (Sinde-Cantorna et al., 2006). Adicionalmente, los procesos de adopción se ven afectados por factores económicos, sociales, institucionales, ambientales, geográficos, políticos, legales y culturales (Zanfrillo et al., 2022; MacKeracher et al., 2019). En este contexto, el marco conceptual Tecnología-Organización-Entorno (TOE) se presenta como relevante, al considerar el entorno como un elemento determinante en el ritmo de difusión y en la incorporación de innovaciones, además de las tecnologías disponibles y las características organizacionales (Zanfrillo et al., 2022). La innovación social se define como un proceso que se desarrolla para solucionar un problema específico o es una forma distinta y novedosa de solucionarlo (Delgado-Ramírez y Soto-Aguirre, 2018). Puede gestarse en cualquier nivel e incluye la interacción mediada por el aprendizaje social entre comunidades de igual o distinto orden, tales como la academia, autoridades gubernamentales y los posibles eslabones de la cadena productiva (Delgado-Ramírez y Soto-Aguirre, 2018). Las innovaciones en el campo social a menudo surgen en condiciones adversas, en entornos en los que el mercado no ha ofrecido alternativas, ni el sector público ha respondido a las necesidades y reclamos de la población (Delgado-Ramírez y Soto-Aguirre, 2018).

Más allá de la viabilidad técnica, la adopción de innovaciones en pesquerías artesanales es un proceso complejo influenciado por la comunicación, el conocimiento local y las barreras socioeconómicas (Leeuwis & Aarts, 2011; MacKeracher et al., 2019). El proceso de comunicación de la innovación trasciende la mera transmisión, abarcando la

transformación y negociación de significados entre los pescadores y los promotores de la tecnología (Leeuwis & Aarts, 2011). En este sentido, la existencia de diversas categorías de adoptantes (innovadores, primeros adoptantes, mayoría temprana, mayoría tardía y rezagados) demuestra que la velocidad y el alcance de la difusión no son uniformes y pueden verse obstaculizados por factores específicos del contexto pesquero, incluyendo la percepción de la complejidad, la compatibilidad con las prácticas existentes y el costo de la tecnología (Dearing & Cox, 2018; Pannell et al., 2006). La adopción de estas innovaciones por parte de pescadores de pequeña escala es un proceso influenciado por factores económicos, sociales, institucionales y ambientales, y el desarrollo de habilidades y conocimientos es crucial para su implementación efectiva (MacKeracher et al., 2019). El éxito en la difusión y adopción se ve favorecido cuando los pescadores participan activamente en el diseño y la adaptación de las soluciones a sus contextos locales y necesidades específicas, a través de la co-creación (MacKeracher et al., 2019).

En el ámbito de la pesca artesanal, la participación activa de la comunidad desde la identificación del problema y la búsqueda de soluciones es un factor clave para el surgimiento de innovaciones sociales (Delgado-Ramírez y Soto-Aguirre, 2018). El Conocimiento Ecológico Tradicional (CET) de los pescadores se erige como un pilar fundamental en la gestación y fortalecimiento de estas innovaciones "desde abajo" (bottom-up), dado que este saber empírico impulsa procesos de adaptación y optimización en la gestión de las pesquerías (Delgado-Ramírez y Soto-Aguirre, 2018). La integración de este conocimiento local con el conocimiento científico es esencial para el éxito y la escalabilidad de estas soluciones (Delgado-Ramírez y Soto-Aguirre, 2018; Berkes, 2007; Ostrom, 2009). Además, la difusión de innovaciones ocurre con mayor facilidad cuando los individuos son "homófilos", es decir, que son similares en ciertos atributos como educación, creencias, estado socioeconómico, lenguaje o códigos culturales, facilitando la comunicación y el efecto de las nuevas ideas (Cuevas-Reyes et al., 2014). Las innovaciones sociales deben ser escalables, sostenibles y posibles de ser convertidas en programas y políticas públicas que puedan afectar a grupos amplios de la población (Delgado-Ramírez y Soto-Aguirre, 2018). La incertidumbre acerca de la disponibilidad de recursos pesqueros, generada por la sobreexplotación y la subsiguiente disminución de rendimientos, estimula la búsqueda de innovaciones técnicas que aumenten la eficiencia extractiva o faciliten el acceso a nuevos recursos (Sinde-Cantorna

et al., 2006). A pesar del potencial de la innovación, estudios recientes en la industria pesquera han identificado una lenta penetración de ciertas tecnologías, influenciada por factores como la percepción o el desconocimiento de sus beneficios y su potencial de transformación (Zanfrillo et al., 2022). La introducción de tecnologías de reducción de captura incidental (BRDs), como las luces LED, se inscribe en un esfuerzo global por mitigar el impacto de las pesquerías en la megafauna marina, reconociendo que su éxito depende no solo de su eficacia biológica, sino también de la voluntad y capacidad de los pescadores para incorporarlas en sus operaciones diarias (Gilman et al., 2016; Lewison et al., 2004).

En Costa Rica, la relevancia de la pesca con trasmallo es considerable, con un total de 1367 licencias de pesca vigentes, de las cuales 129 corresponden a la modalidad con una luz de malla mínima de 11.43 cm (4.5 pulgadas). Todas estas embarcaciones se caracterizan por ser menores de 12 metros de eslora, lo que subraya su naturaleza artesanal (Incopesca, 2024). Este segmento de la flota artesanal representa un actor clave en la dinámica pesquera nacional y es fundamental considerarlo en cualquier iniciativa de conservación.

Este estudio se enfoca en los resultados obtenidos de entrevistas realizadas a pescadores de dos comunidades costeras de Nandayure, Guanacaste: Bejuco y San Francisco de Coyote, para determinar su conocimiento, interacciones y disposición hacia la adopción de tecnologías para reducir la captura incidental de tortugas marinas, así como su impresión sobre el uso de luces LED en trasmallos y su conocimiento sobre las distintas especies de tortugas marinas en la zona. Se considera que la particularidad de la comunidad de Bejuco, involucrada activamente en el proyecto de las luces, y la no relación previa de Coyote con esta tecnología, permitirán analizar cómo el involucramiento y la familiaridad influyen en la percepción y el interés en la adopción, aportando una perspectiva valiosa sobre los factores sociales y culturales que median la implementación de soluciones de conservación marina en contextos pesqueros.

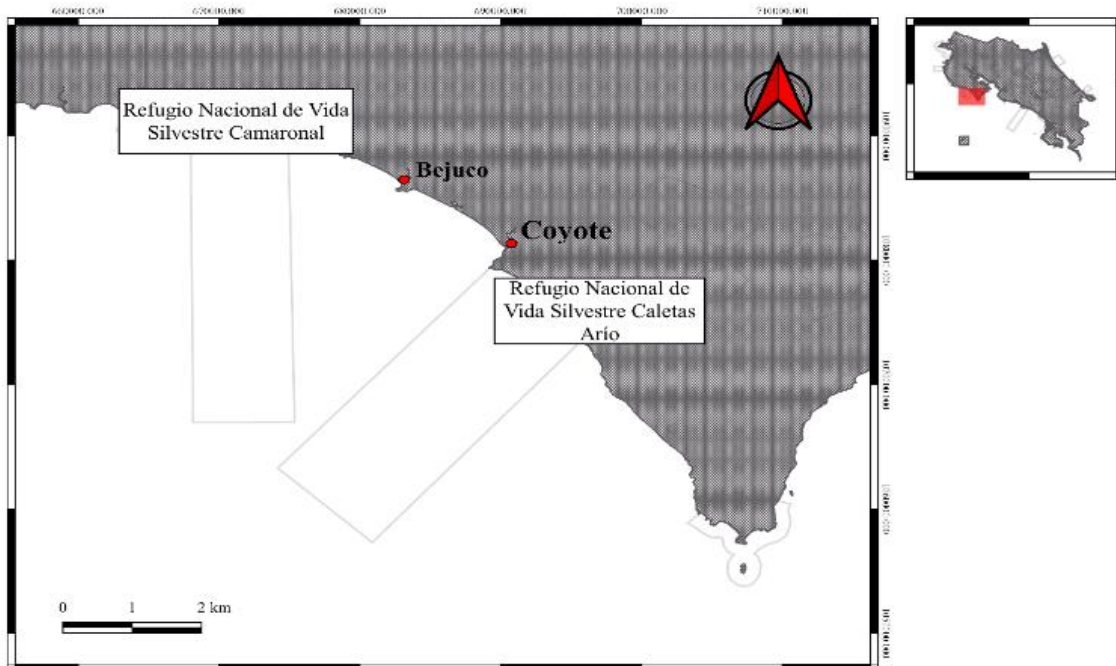
## **2. Metodología**

La presente investigación adoptó un enfoque mixto, combinando elementos cuantitativos y cualitativos para explorar las percepciones y la disposición de pescadores artesanales frente a innovaciones tecnológicas destinadas a la conservación marina (Creswell & Creswell, 2018). Se realizó un estudio descriptivo-comparativo, con el objetivo de

caracterizar la muestra y establecer paralelismos y divergencias entre las comunidades participantes.

## 2.1 Área de Estudio

El estudio se llevó a cabo en la costa del Pacífico de Costa Rica, específicamente en las comunidades pesqueras artesanales de Bejuco y San Francisco de Coyote, ubicadas en el cantón de Nandayure, provincia de Guanacaste (Figura 1). Estas comunidades fueron seleccionadas por su dependencia de la pesca artesanal y por su distinta relación con el proyecto de implementación de luces LED en trasmallos. La comunidad de Bejuco tuvo una participación activa y conocimiento previo del proyecto de luces LED en trasmallos, mientras que la comunidad de Coyote no había tenido relación directa con dicha iniciativa.



**Figura 1.** Localización geográfica de las comunidades de estudio, San Francisco de Coyote y Bejuco, en el cantón de Nandayure, Guanacaste, Costa Rica.

## 2.2 Población y Muestra

La población de interés la constituyeron los pescadores artesanales activos de las comunidades de Bejuco y San Francisco de Coyote que utilizan trasmallos. Se estima que la población total es de aproximadamente 50 pescadores en ambas comunidades. La muestra

fue de carácter no probabilístico, utilizando un muestreo por bola de nieve (Patton, 2002). Se entrevistó a un total de 14 pescadores, siete de cada comunidad (n=7 para Bejuco, n=7 para Coyote), lo que corresponde a un 28% de la población pesquera total estimada. Este método permitió identificar a participantes adicionales a través de las recomendaciones de los entrevistados iniciales.

### 2.3 Instrumento de Recolección de Datos

La información se recolectó mediante la aplicación de una entrevista estructurada, diseñada para capturar datos sociodemográficos, características de la práctica pesquera, y percepciones de los pescadores sobre la innovación. La temática de la entrevista y su alineación se basan en los atributos de la innovación del marco teórico de Rogers (Cuadro 1).

Cuadro 1. Componentes temáticos y variables incluidas en la entrevista estructurada realizada a pescadores artesanales en Nandayure, Guanacaste (N=14).

<b>Componente temático</b>	<b>Variables recolectadas</b>	<b>Preguntas relevantes (Modelo de Rogers)</b>
<b>Perfil socioeconómico</b>	Edad, sexo, estado civil, tiempo de residencia en la comunidad.	Caracterización del adoptante potencial (categorías de adoptantes).
<b>Práctica pesquera</b>	Años de experiencia, tipos de artes de pesca utilizados (énfasis en trasmallo), especies objetivo capturadas.	Establece la compatibilidad de la innovación con las prácticas existentes.
<b>Conocimiento ambiental</b>	Especies de tortugas observadas, frecuencia de interacción con tortugas, destino de la captura incidental.	Evalúa el conocimiento del problema y las prácticas de mitigación actuales.
<b>Percepción del problema</b>	Si la captura incidental es un problema (sí/no), justificaciones.	Mide el conocimiento del problema (primera etapa de la decisión de adopción).
<b>Innovación y adopción (luces LED)</b>	Conocimiento de la tecnología, opinión, ventajas y desventajas percibidas, disposición al uso, apoyo e incentivos requeridos.	Mide los atributos de la innovación: ventaja relativa, complejidad, compatibilidad y posibilidad de prueba ( <i>Trialability</i> ).

<b>Difusión y liderazgo</b>	Preferencias para la obtención de información (talleres, charlas, etc.), identificación de líderes comunitarios.	Define los canales de comunicación y los líderes de opinión en el sistema social.
<b>Entorno y opinión final</b>	Opinión sobre las medidas de conservación existentes, sugerencias y comentarios adicionales.	Mide la influencia del entorno (marco TOE) y la compatibilidad institucional.

## 2.4 Procedimiento de Recolección de Datos

La aplicación del instrumento se realizó mediante entrevistas directas a los pescadores en sus respectivas comunidades. El proceso de recolección de datos se llevó a cabo con el consentimiento informado de cada participante, garantizando la confidencialidad de sus respuestas.

## 2.5 Procesamiento y Análisis de Datos

El análisis de los datos adoptó un enfoque metodológico mixto, integrando análisis estadísticos inferenciales con análisis de contenido temático. El procesamiento se realizó utilizando el software libre R (versión 4.5.1, "Great Square Root," 2025-06-13) a través de RStudio (2025.05.1+513, "Mariposa Orchid"), mediante un *script* programado para este estudio. Se utilizaron paquetes de R como: readxl, dplyr, tidytext, wordcloud, RColorBrewer, sentimentr, stopwords, tm, ggplot2, rlang, stringr, summarytools, rstatix, tidyr, corrplot, psych, ggraph, igraph, descr.

## 2.6 Análisis Cuantitativo

El análisis cuantitativo se centró en la caracterización de la muestra y la comparación estadística entre las comunidades. Se calcularon estadísticas descriptivas de tendencia central y dispersión (media, desviación estándar (*SD*), mediana, mínimo, máximo y rango intercuartílico (IQR) para las variables numéricas clave (edad, años en la comunidad y años pescando). Para las variables categóricas, se obtuvieron frecuencias absolutas y porcentajes. En el análisis inferencial, se aplicó la Prueba de Wilcoxon (Mann-Whitney U) para comparar las medianas de las variables numéricas entre las comunidades (Siegel & Castellán, 1988). Esta prueba no paramétrica se basa en el estadístico U (o W), donde:

$$U = n_1 * n_2 + \frac{n_1 * (n_1 + 1)}{2} - R_1$$

Donde  $n_1$  y  $n_2$  son los tamaños de las muestras y  $R_1$  es la suma de los rangos del grupo 1. Para las variables categóricas, se utilizó la Prueba Exacta de Fisher, considerada robusta para tablas de contingencia con frecuencias esperadas bajas.

Adicionalmente, se calculó el coeficiente de correlación de Spearman ( $\rho$ ) entre las variables numéricas para medir la fuerza y dirección de las relaciones monotónicas, utilizando la fórmula:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

Donde  $d_i$  es la diferencia entre los rangos de las observaciones pareadas y  $n$  es el número total de observaciones.

## 2.7 Análisis cualitativo y de contenido temático

Las respuestas abiertas de las entrevistas fueron analizadas mediante técnicas de Análisis de Contenido Temático (Grbich, 2013) y Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN).

El texto fue preprocesado y tokenizado (dividido en unidades léxicas), eliminando luego las *stopwords* (palabras comunes en español). Se calcularon las frecuencias de palabras clave y se generaron Nubes de Palabras para la visualización temática. Para explorar las asociaciones conceptuales más allá de palabras individuales, se calcularon los Bigramas (pares de palabras) y Trigramas (tríos de palabras) más frecuentes (Jurafsky & Martin, 2009). Finalmente, se aplicó un análisis de sentimiento basado en léxicos para evaluar el tono afectivo general de las respuestas (Hutto & Gilbert, 2014), cuyo resultado se expresa como la media de las puntuaciones de sentimiento de las oraciones.

## 2.8 Análisis Mixto por Segmentación de Cohorte

Se integraron los enfoques cualitativo y cuantitativo mediante la creación de la variable categórica Grupo de Edad (Jóvenes/Mediana edad  $\leq 45$  años y Adultos/Mayores  $> 45$  años). El objetivo de esta segmentación fue contrastar las percepciones en función de la experiencia generacional (Creswell & Creswell, 2018). Dentro de cada grupo, se aplicaron

los análisis de frecuencia de palabras y el análisis de sentimiento a las justificaciones cualitativas clave, buscando identificar patrones discursivos específicos entre cohortes.

### 3. Resultados

El estudio incluyó un total de 14 pescadores artesanales distribuidos equitativamente entre las comunidades de Coyote ( $n=7$ ) y Bejuco ( $n=7$ ). Los resultados cuantitativos permiten establecer un perfil demográfico y de experiencia en la actividad pesquera para la muestra general y por comunidad.

La fuerza laboral entrevistada en las pesquerías artesanales de la zona se caracteriza por ser una población madura y con una vasta experiencia en la actividad. La edad promedio de los pescadores es de 46 años ( $SD = 12$ ), con un rango que va desde los 21 hasta los 62 años. Poseen, en promedio, 29 años de experiencia en la pesca ( $SD = 15$ ), variando de 4 a 50 años, lo que demuestra un profundo conocimiento acumulado de las prácticas y el medio que los rodea. El arraigo en sus comunidades es significativo, con un promedio de 38 años de residencia ( $SD = 15$ ), oscilando entre 10 y 62 años.

En cuanto a las características de género y estado civil, la pesquería está acaparada por el género masculino, con 13 hombres (92.9%) y solo una mujer (7.1%) en la muestra. Respecto al estado civil, las categorías de "Casado", "Soltero" y "Unión Libre" presentan proporciones similares con 4 entrevistados cada una, mientras que 2 entrevistados se encuentran en la categoría "Divorciados".

La práctica pesquera en la muestra se distingue por el uso combinado de artes. La modalidad más frecuente (12 entrevistados; 85.7%) es la combinación de "Cuerda de mano, Línea de fondo, Trasmallo". Sólo un pescador utiliza "Cuerda de mano, trasmallo", mientras que otro se dedica exclusivamente al "Trasmallo" (7.14% respectivamente).

El nivel de conocimiento sobre las especies de tortugas marinas es alto, donde 13 de los 14 entrevistados afirmando poseer este conocimiento. Las especies más frecuentemente reportadas como vistas en la zona incluyen "Lora, Baula, Verde y Carey". Un hallazgo notable, y de gran importancia para la conservación, es que los 14 pescadores afirmaron que "Las liberan" cuando incidentalmente capturan tortugas. La frecuencia de interacción con tortugas es percibida de manera muy heterogénea y cualitativa por los pescadores, con

respuestas variadas que van desde "1 cada 100 lances", "No se pegan mucho", "Una que otra por año", reflejando una subjetividad en la cuantificación de la captura incidental.

Al desagregar el perfil de los pescadores artesanales por comunidad, se observan matices demográficos y operativos que son relevantes para el análisis de la adopción de innovaciones. Si bien el Análisis Cuantitativo Inferencial (presentado posteriormente) indica que no existen diferencias estadísticamente significativas en la mayoría de las características sociodemográficas y de experiencia entre Coyote (n=7) y Bejuco (n=7), la siguiente tabla descriptiva permite visualizar tendencias clave, como la diferencia en la edad promedio y la heterogeneidad de género en las muestras de cada comunidad (Cuadro 2).

Cuadro 2. Perfil comparativo de las características sociodemográficas y de la práctica pesquera entre las comunidades de Coyote (n=7) y Bejuco (n=7), Nandayure, Guanacaste.

<b>Característica</b>	<b>Coyote (n = 7)</b>	<b>Bejuco (n = 7)</b>	<b>Tendencia y observaciones clave</b>
<b>Edad promedio</b>	50 años (Rango: 39-62)	41 años (Rango: 21-59)	Los pescadores de Coyote son notablemente mayores en promedio.
<b>Experiencia pesquera</b>	32 años	27 años	Ambas comunidades poseen vasta experiencia, sin diferencias estadísticamente significativas.
<b>Composición por sexo</b>	14 masculino	13 masculino; 1 femenino	Bejuco fue la única comunidad en la que se identificó participación femenina en la muestra.
<b>Artes de pesca</b>	Combinación de artes; 10 pescadores utilizan la modalidad más frecuente	100% de homogeneidad en el uso de la modalidad más frecuente	Bejuco muestra un uso más homogéneo de las artes de pesca.
<b>Conocimiento de tortugas</b>	12 afirmaron poseerlo	14 afirmaron poseerlo	Bejuco reporta un conocimiento completo en la muestra.

Las comparaciones entre comunidades para las variables numéricas (Edad, Experiencia) se realizaron mediante la Prueba de Wilcoxon ( $\rho > 0.05$  para todas, indicando falta de diferencia significativa). Las comparaciones de proporciones (Sexo, Artes, Conocimiento) se realizaron mediante la Prueba Exacta de Fisher ( $\rho > 0.05$  para todas, excepto para las "especies de tortugas marinas avistadas en la zona" donde se encontró una diferencia significativa,  $\rho = 0.029$ ).

### **3.1 Análisis cuantitativo**

Las pruebas de hipótesis se realizaron para determinar si las diferencias observadas en las estadísticas descriptivas entre las comunidades de Coyote y Bejuco son estadísticamente significativas ( $\rho < 0.05$ ).

### **3.2 Variables numéricas (Prueba de Wilcoxon)**

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $\rho > 0.05$ ) entre las comunidades de Coyote y Bejuco para la edad ( $\rho = 0.259$ ), los años de formar parte de su comunidad ( $\rho = 0.949$ ), ni los años pescando ( $\rho = 0.608$ ). Esto indica que, aunque se observaron tendencias en los descriptivos (ej., Coyote con pescadores ligeramente mayores), estas diferencias no son lo suficientemente robustas para ser consideradas significativas en esta muestra.

### **3.3 Variables categóricas (Prueba Exacta de Fisher)**

La mayoría de las variables categóricas no mostraron una asociación estadísticamente significativa con la comunidad ( $\rho > 0.05$ ): sexo ( $\rho = 1$ ), estado civil ( $\rho = 0.5385$ ), artes utilizados ( $\rho = 0.4615$ ), conocimiento de las especies de tortugas marinas ( $\rho = 1$ ), destino de las tortugas marinas después de capturarlas ( $\rho = 1$ ), la percepción de si existe un problema ( $\rho = 1$ ) y la disposición a usar las luces LED ( $\rho = 1$ ). Esto sugiere que las comunidades son estadísticamente similares en estas características.

Un hallazgo importante es la asociación estadísticamente significativa entre las especies de tortugas marinas avistadas en la zona y la comunidad ( $\rho = 0.02914$ ). Este resultado es particularmente notable considerando que los sitios de pesca están geográficamente cercanos (separados por 10 a 15 kilómetros) o se traslapan en algunos casos. El hallazgo indica que los patrones de conocimiento reportado sobre la diversidad de especies

de tortugas marinas difieren de manera no aleatoria entre Coyote y Bejuco, sugiriendo una diferencia en la construcción del CET sobre la megafauna que se podría capturar en las zonas de pesca.

### **3.4 Percepción del problema de captura incidental**

El análisis cuantitativo inicial revela que 12 de los 14 pescadores entrevistados no consideran la captura incidental de tortugas marinas un problema significativo al utilizar el trasmallo. Solo 2 entrevistados sí lo percibe así.

Las justificaciones de los 12 entrevistados que manifestaron “NO” considerar la captura incidental un problema significativo se centran en dos argumentos: la baja frecuencia de interacción ("no se dan mucho", "no se enredan mucho", "ocasional", "casi no") y la práctica de liberación inmediata ("se liberan", "se sueltan"). Algunos pescadores redirigen la preocupación de la captura incidental hacia otros artes de pesca como la "línea doradera" (palangre artesanal para capturar dorado *Coryphaena hippurus*), indicando que, si bien el trasmallo no es problemático para las tortugas según su experiencia, estas líneas superficiales sí representan una mayor preocupación. Este grupo también demuestra conocimiento ecológico local sobre los ciclos de las tortugas ("abundancia", "anidación", "anualmente", "arribada"), lo que les permite contextualizar la interacción sin considerarla un problema significativo con el trasmallo.

Por el contrario, sólo 2 pescadores manifestaron que “SÍ” consideran la captura incidental como un problema. Su justificaciones se enfocan en los impactos directos y negativos: el daño a la red ("se ahorcan", "dañan la red", "cortan la red"), la mortalidad de las tortugas ("se mueren"), y la interrupción de la faena.

### **3.5 Análisis comparativo por comunidad**

El análisis comparativo revela matices en el discurso entre comunidades. Mientras que, en Coyote, 6 de los 7 entrevistados dicen "No" a menudo lo justifican por la baja frecuencia y uno de los entrevistados redirecciona el problema a la “línea doradera”, en Bejuco, 6 de los 7 pescadores también dicen "No", enfatizando igualmente la baja frecuencia y el conocimiento de los ciclos de tortugas marinas. Para los 2 entrevistados (uno en cada comunidad) quienes “SÍ” ven un problema, las justificaciones en Bejuco son muy prácticas,

y relacionadas con el daño al trasmallo. El sentimiento general en ambas justificaciones es neutro.

### **3.6 Opinión sobre las luces LED (Impresión acerca de esta tecnología)**

La opinión general de los 14 pescadores entrevistados sobre las luces LED se centra en su funcionalidad y viabilidad. Palabras como "funciona", "idea", "puede ser" son recurrentes, denotando una actitud de expectativa y condicionalidad. El sentimiento general es neutro o ligeramente negativo.

En Coyote ( $n = 7$ ), la opinión se enfoca en el "cómo funciona" y el "qué es", mostrando una necesidad de información y demostración de efectividad. Palabras como "ahuyente" reflejan su percepción del objetivo principal. Por su parte, en Bejuco ( $n = 7$ ), la opinión se orienta más a las implicaciones prácticas y los resultados observados, con términos como "utilizarlas" y "acomodarlas", reflejando su experiencia directa con la tecnología.

### **3.7 Ventajas percibidas**

Las ventajas generales, identificadas a partir de las respuestas de los 14 pescadores entrevistados, se articulan en torno a la eficacia en la captura de especies objetivo ("atrae carnada", "captura más") y la reducción de la captura incidental de tortugas ("menos tortugas", "puede evitar"). La mención de "términos económicos" también indica un beneficio financiero percibido. El sentimiento general es neutro.

### **3.8 Análisis comparativo por comunidad**

En el análisis comparativo por comunidad, los pescadores de Coyote ( $n = 7$ ), abordan las ventajas desde una perspectiva más hipotética, con palabras como "creo", "idea" e "intenta", enfocándose en la mitigación del problema. En contraste, en Bejuco ( $n = 7$ ), las ventajas se expresan de manera más práctica y afirmativa, con términos como "beneficioso", "atrae" y "ayudaría", reflejando una apreciación directa de los efectos de las luces. Ambas comunidades valoran el potencial de las luces en la atracción de carnada.

### **3.9 Desventajas percibidas**

Las desventajas identificadas por los 14 entrevistados son principalmente de índole operativa y se centran en problemas prácticos asociados directamente con el trasmallo. Términos como "generar enredos" y "sacar tiempo" son prominentes, indicando que las luces

podrían complicar el manejo de la red y aumentar el tiempo de operación. El sentimiento general es neutro.

En el análisis comparativo por comunidad, los pescadores de Coyote ( $n=7$ ), al no tener experiencia directa, expresan incertidumbre sobre las desventajas ("no sé", "alguna"), lo que refleja una falta de conocimiento concreto de los problemas operativos. En cambio, en Bejuco ( $n=7$ ), las desventajas son más específicas y basadas en la experiencia, como "afecta" la actividad, "arreglar" y "atrása", lo que apunta a desafíos directos de implementación y mantenimiento.

### **3.10 Disposición al uso de las luces LED**

Se observó que 13 pescadores afirmaron estar dispuestos a probar o utilizar las luces LED. Las justificaciones se centran en la conservación de tortugas marinas y cómo la tecnología ayuda a la pesca y reduce la captura incidental. El sentimiento general es neutro o ligeramente negativo, sugiriendo pragmatismo.

Al realizar el análisis comparativo por comunidad, entre los pescadores de Coyote ( $n=7$ ), hay alta disposición, pero está más orientada a la expectativa de ver resultados tangibles y cómo la luz ayuda a reducir la captura. Tan sólo 1 de 7 pescadores entrevistados expresó no estar dispuesto a utilizarlas debido a su preocupación de que las luces también ahuyentarían a las especies objetivo. En Bejuco ( $n=7$ ), la disposición parece más ligada a un compromiso con la conservación y la protección de la vida marina, donde 4 de los 7 pescadores entrevistados hacen menciones personales de ayudar y proteger.

### **3.11 Necesidad de apoyo o incentivo**

El análisis cualitativo de los 14 pescadores entrevistados revela que financiamiento y capacitación son los dos elementos más críticos y universalmente necesarios para la adopción de las luces LED. Ambos términos son percibidos como un paquete de apoyo integral.

En ambas comunidades 6 de los 7 entrevistados, expresaron que la capacitación y financiamiento son esenciales. Sin embargo, en Bejuco, para 2 de los 7 entrevistados el financiamiento es primordial. El sentimiento es neutro en ambos.

Identificación de pescadores dispuestos a probar las luces LED

A partir de los 14 entrevistados, la identificación de individuos específicos (Gustavo, Amado, Juanci, Junior) es un hallazgo clave, validando la existencia de líderes de opinión locales. La percepción de 8 de los 14 entrevistados es que es "difícil" identificar a muchos adoptadores de la tecnología.

Al comparar las comunidades, en Coyote sólo 3 de los entrevistados hacen referencia a aquellos pescadores que son vistos como los que se atreven a probar y pueden comunicar sobre el costo y funcionamiento. En Bejuco, tres entrevistados hacen referencia a aquellos con un interés genuino en la conservación o que ya están involucrados en iniciativas relacionadas como el trabajo voluntario en Playa Bejuco que es un sitio de anidación de tortugas marinas.

### **3.12 Preferencias de obtención de información**

Los métodos de divulgación preferidos, según los 14 entrevistados, son las sesiones interactivas y prácticas: talleres, charlas y demostraciones. El trigramas "talleres, charlas, demostraciones" es la combinación más clara, indicando la necesidad de ver y hacer.

Ambas comunidades muestran preferencias similares por estos métodos activos. En Coyote, 4 de 7 entrevistados se inclina más por las charlas y talleres para la introducción, mientras que en Bejuco cinco entrevistados valora los talleres para el aprendizaje continuo, dada su experiencia.

### **3.13 Opinión sobre medidas de conservación actuales**

La percepción general de 11 de los 14 pescadores entrevistados es que consideran que las medidas de conservación están "bien" o son "importantes", pero existe una brecha de conocimiento ("desconozco") por parte de los otros 3 pescadores abordados. El sentimiento general es neutro a ligeramente negativo.

En Coyote, 4 de los 7 pescadores tiene una opinión más distante y con mayor "desconocimiento", basándose en lo que "parece bien". En Bejuco, la percepciones de los 7 entrevistados son más específicas y vinculadas a la experiencia local y las complejidades de la pesca, con preocupaciones sobre la interacción de las medidas con su actividad y otras artes.

### **3.14 Co-ocurrencia de Palabras (Bigramas y Trigramas)**

Para complementar el análisis de frecuencia de palabras, se exploraron las asociaciones conceptuales más fuertes en el discurso de los pescadores mediante el análisis de co-ocurrencia (N-gramas). Este método, basado en la identificación de bigramas (pares) y trigramas (tríos) frecuentes, reveló patrones de lenguaje y vinculación de temáticas clave que se alinean directamente con los atributos de la Difusión de Innovaciones de Rogers (Cuadro 3).

Cuadro 3. Análisis de Co-ocurrencia de palabras (N-gramas) en las respuestas de los pescadores entrevistados y su relación con los atributos de la Difusión de Innovaciones de Rogers.

<b>Tema central</b>	<b>N-grama clave (ejemplos)</b>	<b>Atributo de Rogers relacionado</b>	<b>Interpretación y hallazgo</b>
<b>Operación y costos</b>	"Generar enredos", "Sacar tiempo", "Capacitación", "Financiamiento"	complejidad / compatibilidad / ventaja relativa	La implementación de la tecnología se asocia directamente con desafíos operativos y la necesidad de inversión (costos). La complejidad percibida es una barrera directa a la adopción.
<b>Motivación para la adopción</b>	"Conservación marina", "Tortugas marinas", "Ayuda pesca"	Ventaja relativa	Reitera la motivación dual de la adopción: protección ambiental (conservación) y beneficio económico/operativo (ayuda a la pesca). El éxito depende de satisfacer ambos.
<b>Condicionabilidad</b>	"Puede funcionar", "Ver si", "Gustaría probarlas"	Posibilidad de Prueba ( <i>Trialability</i> ) / Observabilidad	Refleja la condicionalidad de la adopción. Los pescadores requieren evidencia empírica visible y la oportunidad de ensayar la tecnología antes de comprometerse.
<b>Canales de difusión</b>	"Talleres, charlas, demostraciones" (Trigrama)	Canales de comunicación	Resalta el método de divulgación ideal para la innovación: el aprendizaje interactivo y visual es fundamental para reducir la incertidumbre.

<b>Redes de influencia</b>	"Amado Quirós", "Juanci López", "Gustavo Salazar"	Sistema social / Liderazgo de opinión	Valida la existencia de líderes de opinión locales. El éxito de la difusión depende de la comunicación interpersonal a través de estos referentes (Homofilia).
<b>Contexto del problema</b>	"Línea doradera sí", "Doradera sí captura"	Compatibilidad / Percepción del problema	Hallazgo crítico: el problema de la captura incidental es reconocido, pero asociado prioritariamente con otros artes de pesca (línea doradera) y no con el trasmallo, lo que impacta la ventaja relativa percibida de las luces en este último.

La co-ocurrencia de términos evidencia la condicionalidad de la adopción (necesidad de ver si funciona), vinculada a la Posibilidad de Prueba (*Trialability*) y la observabilidad. Asimismo, los N-gramas reflejan las barreras clave a la Compatibilidad y Complejidad (temas operativos y de costo) y la dependencia de los líderes de opinión para la aceptación de la tecnología.

#### 4. Discusión

La presente investigación tuvo como propósito explorar las percepciones y la disposición de pescadores artesanales de las comunidades de Bejuco y San Francisco de Coyote en Nandayure, Guanacaste, en relación con la implementación de luces LED en trasmallos para la reducción de la captura incidental de tortugas marinas. Los resultados revelan una compleja interacción entre las prácticas pesqueras, el conocimiento ecológico local, la percepción de la problemática ambiental y los factores socioeconómicos que modulan la aceptación y potencial adopción de innovaciones tecnológicas.

Un hallazgo central y contraintuitivo de este estudio es que 12 de los 14 pescadores entrevistados (85.7%) no consideran la captura incidental de tortugas marinas como un problema significativo al utilizar el trasmallo en su zona de pesca. Esta percepción difiere de la narrativa global y de conservación que suele enfatizar la captura incidental como una amenaza generalizada (Allman et al., 2020; Bielli et al., 2020; Senko et al., 2022). La justificación principal para esta postura se basa en la baja frecuencia percibida de interacción ("no se dan mucho", "casi no") y en la práctica extendida y universal de liberación inmediata de las tortugas (100% de los pescadores reportaron liberar las tortugas capturadas). Esto sugiere que, para los pescadores, la acción de liberar mitiga el impacto percibido y reduce la gravedad del "problema" en su operación diaria (González-Flores & Guzmán-Ramírez, 2025).

El análisis de las justificaciones revela que la percepción de "no problema" con el trasmallo a menudo está acompañada por una redirección de la preocupación hacia otros artes de pesca, específicamente la "línea doradera" (palangre artesanal). Los pescadores expresan que, si bien el trasmallo no es problemático para las tortugas según su experiencia, las líneas superficiales para la captura de dorado (*Coryphaena hippurus*) sí representan una preocupación mayor o tienen una mayor probabilidad de interacción. Este hallazgo es fundamental, ya que indica que el problema de la captura incidental es reconocido, pero localizado por los pescadores en artes de pesca específicas diferentes al trasmallo, lo que resalta la importancia de comprender las percepciones detalladas del riesgo en función de las prácticas pesqueras locales. Esta perspectiva se alinea con la gestión de los recursos de uso común (RUC), que requiere entender los factores específicos del propio sistema de pesca para luego insertar ese conocimiento de control en el reglamento interno, conservando así el

núcleo de viabilidad biológica y socio-económica del sistema pesquero (Parra-Montoya, 2025).

Esta perspectiva de los pescadores se apoya en un CET profundo de las tortugas marinas y sus ciclos de vida. Las justificaciones de "no problema" se contextualizan con menciones a la abundancia, anidación, y arribadas de tortugas, lo que indica que los pescadores están familiarizados con la presencia de estas especies, pero su experiencia directa no necesariamente los lleva a considerarlo un problema grave para el trasmallo. Esta integración del CET en la justificación de sus prácticas es consistente con la literatura que destaca el papel del conocimiento local en la gestión adaptativa de los recursos naturales (Berkes, 2007; Ostrom, 2009, Parra-Montoya, 2025). Además, el conocimiento ecológico se vincula directamente con el nivel de dependencia de los recursos y la frecuencia de interacción con el ambiente, lo que refuerza la validez del conocimiento empírico de la muestra (González-Flores & Guzmán-Ramírez, 2025; Loto & Ferrero, 2025).

La marcada diferencia entre la percepción de los pescadores y la preocupación generalizada de la comunidad científica y conservacionista sobre la captura incidental (FAO, 2024; Lewison et al., 2004) subraya un desafío significativo para las iniciativas de conservación. No se puede asumir un reconocimiento universal de la gravedad del problema en el contexto del trasmallo. Futuras estrategias de sensibilización y divulgación deberían enfocarse no solo en la existencia de la problemática, sino en el impacto acumulado de interacciones aparentemente "esporádicas" y en cómo la mitigación beneficia no solo a las tortugas, sino también al propio pescador (ej., reducción de tiempo perdido en liberaciones, daños a redes, o incluso la mejora de la captura objetivo si las luces influyen en el comportamiento de los peces). La experiencia previa de los pescadores en la zona con el uso

de artes como la "línea doradera" también debe ser considerada para diseñar soluciones integrales y relevantes a sus prioridades pesqueras (Vecchio et al. 2024).

La alta disposición de los pescadores a probar o utilizar las luces LED (92.9% de la muestra) representa un punto de partida muy favorable para la difusión de esta innovación. Esta disposición es consistente con la teoría de Rogers (2003) que sugiere que una alta percepción de "ventaja relativa" y "posibilidad de ensayo" son cruciales para la adopción. Sin embargo, la alta disposición contrasta con un sentimiento general neutro o ligeramente negativo en la opinión general sobre las luces LED y sus ventajas/desventajas. Este pragmatismo puede explicarse por las desventajas prácticas identificadas, como la posibilidad de "generar enredos" en el trasmallo y la "pérdida de tiempo" en la operación. Estas barreras operativas y de mantenimiento son factores clásicos que frenan la difusión de innovaciones, como se ha observado en el sector pesquero (Sinde-Cantorna et al., 2006) y en otros contextos rurales (MacKeracher et al., 2019; Zanfrillo et al., 2022). La decisión de adopción no solo depende del conocimiento de la tecnología, sino de otros elementos como el costo, la complementariedad con el equipo existente y la disponibilidad de personal capacitado (Parra-Montoya, 2025; Sinde-Cantorna et al., 2006; Vecchio et al. 2024).

El análisis de la percepción de las afectaciones mostró que el único hallazgo estadísticamente significativo se presentó en la variable de las especies vistas en la zona, sugiriendo variaciones subyacentes en el CET entre las comunidades. Estas variaciones son de vital importancia, ya que, en contextos de cambio ambiental y falta de relevo generacional, la erosión de este conocimiento puede conducir a la "extinción social de especies" (González-Flores y Guzmán-Ramírez, 2025). Este fenómeno, que representa la pérdida de la memoria colectiva sobre la biodiversidad, podría explicar por qué la comunidad menos involucrada

(Coyote) reportó significativamente menos especies que la comunidad de Bejuco, reflejando una desconexión incipiente con su entorno. Por lo tanto, el proyecto de las luces LED no solo debe centrarse en la mitigación biofísica, sino también en la transferencia y validación del CET, mitigando este riesgo a través de la formación práctica y el involucramiento activo que revierta la pérdida de este conocimiento hereditario (Parra-Montoya, 2025).

El análisis de las necesidades de apoyo revela que el financiamiento y la capacitación son los dos elementos más críticos percibidos por los pescadores como necesarios para la adopción de las luces LED. La co-ocurrencia de estos términos subraya que son vistos como un paquete de apoyo integral, indispensable para superar las barreras del costo inicial y la complejidad de manejo. Esto es consistente con la literatura que indica que las empresas pequeñas tienen una mayor dificultad para acceder a recursos económicos y que el alto costo de capital es una barrera reconocida para la adopción en el sector azul o prácticas sostenibles. (Allman et al., 2020; Langford, 2025; MacKeracher et al., 2019; Senko et al., 2022; Vecchio et al. 2024). En la pesca artesanal, la vulnerabilidad sistémica del pescador individual se agrava por el intercambio desigual en la comercialización, su limitada capacidad de almacenaje (que obliga a negociar rápidamente) y la transferencia de costos de la unidad productiva (insumos) al pescador. Este contexto justifica la percepción de que la innovación no puede ser absorbida sin un apoyo financiero externo que mitigue el riesgo de inversión inicial (Loto & Ferrero, 2025).

La identificación de individuos específicos (como Gustavo, Amado, Juanci o Junior) como potenciales líderes o referentes para probar nuevas tecnologías resalta la importancia de las redes sociales en el proceso de difusión (Cuevas-Reyes et al., 2014; Rogers, 2003). Estos individuos, quienes "se atreven" a probar, pueden actuar como "adoptadores

tempranos", cuya experiencia y comunicación interpersonal (homofilia) son cruciales para influir en sus pares (Cuevas-Reyes et al., 2014; Rogers, 2003). Los pescadores muestran una clara preferencia por métodos de divulgación interactivos y prácticos. Esta preferencia por el aprendizaje experiencial y los canales interpersonales es vital para la difusión de innovaciones en contextos pesqueros, ya que el conocimiento tácito se transmite eficazmente a través de la interacción directa (Cuevas-Reyes et al., 2014). La identificación de individuos específicos (líderes) refuerza el rol de las redes sociales y el capital social como motores de la adopción, dado que la pertenencia a un grupo o la interacción social aumenta la posibilidad de adoptar innovaciones (Vecchio et al. 2024).

Las diferencias más notables se observaron en la evaluación de la innovación. Los pescadores de Coyote mostraron una opinión y ventajas más hipotéticas, orientadas a la funcionalidad con un enfoque más conservador y la búsqueda de evidencia de efectividad, donde se percibe como una herramienta de negocio. Esta falta de experiencia se tradujo en desventajas percibidas basadas en la incertidumbre. En contraste, la comunidad de Bejuco con su experiencia directa, ofrecieron una opinión práctica y afirmativa. Esta visión más amplia, que relaciona la innovación con el logro de objetivos de sostenibilidad y beneficios que van más allá de la simple unidad económica (*off-farm effectiveness*), refleja un enfoque más progresista hacia la innovación (Vecchio et al., 2024). Esto subraya cómo el involucramiento directo y la posibilidad de ensayo (*Trialability*) son los mecanismos que transforman una perspectiva utilitaria en una perspectiva sistémica y sostenible (Rogers, 2003).

Es importante reconocer las limitaciones de esta investigación. El tamaño de la muestra (N=14) es reducido, lo que limita la generalizabilidad de los hallazgos y el poder

estadístico de las pruebas inferenciales. Algunas diferencias observadas en los descriptivos no alcanzaron significancia estadística, lo que podría deberse a la muestra pequeña. La naturaleza cualitativa de gran parte de los datos, aunque rica en detalle, también implica que las interpretaciones son contextuales y no directamente extrapolables a poblaciones más amplias. En cuanto a las medidas de conservación existentes, los pescadores muestran conciencia sobre la necesidad de proteger las tortugas marinas, pero con un matiz de "desconocimiento" sobre las medidas específicas o su implementación. Esto sugiere una brecha en la comunicación o participación en el diseño e implementación de estas medidas, lo que puede limitar su efectividad.

## **5. Conclusiones**

Las conclusiones de este capítulo revelan una paradoja central: la adopción de las luces LED no está frenada por la resistencia al cambio, sino por una desconexión en la definición del problema. Se encontró una alta disposición a adoptar la tecnología (13 de 14 entrevistados), que coexiste con la percepción mayoritaria (12 de 14 entrevistados) de que la captura incidental en trasmallos no es un riesgo significativo. El Conocimiento Ecológico Tradicional (CET) de los pescadores justifica esta postura y localiza el verdadero riesgo en otros artes, como la "línea doradera" (palangre artesanal). Por lo tanto, aunque la voluntad existe, las barreras críticas son estructurales y económicas, requiriendo financiamiento y capacitación como demanda universal. El éxito de la implementación depende de una estrategia social y participativa (talleres, demostraciones) que active a los líderes de opinión locales. Finalmente, los hallazgos redirigen la investigación, sugiriendo la necesidad urgente de probar tecnologías de mitigación en el arte que los propios pescadores identifican como el de mayor riesgo.

## 6. Referencias

- Acikgoz, Y., Uslay, C., & Demir, S. (2023). Curiosity on cutting-edge technology via theory of planned behavior and diffusion of innovation theory. *Journal of Business Research*, *154*, 113334.
- Allman, R., Gilman, E. L., Allman, A., & Allman, P. (2020). Gillnet illumination as an effective measure to reduce sea turtle bycatch. *Conservation Biology*, *34*(6), 1475-1484.
- Berkes, F. (2007). Community-based conservation in a globalized world. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *104*(39), 15188-15193.
- Bielli, A., Alfaro-Shigueto, J., Doherty, P. D., Godley, B. J., Ortiz, C., Pasara, A., ... & Mangel, J. C. (2020). An illuminating idea to reduce bycatch in the Peruvian small-scale gillnet fishery. *Biological Conservation*, *241*, 108277. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108277>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). Sage Publications.
- Cuevas-Reyes, V., Espejel-García, A., Barrera-Rodríguez, A. I., & Sosa-Montes, M. (2014). Redes sociales y actores relevantes para la difusión de innovaciones y conocimiento en los territorios rurales. *Spanish Journal of Rural Development*, *V*(4), 1-14.
- Dearing, J. W., & Cox, J. G. (2018). *Diffusion of Innovations Theory, Research, and Practice* (3rd ed.). Sage Publications.
- Delgado-Ramírez, C., & Soto-Aguirre, E. (2018). Co-manejo pesquero e innovación social: el caso de la pesquería de erizo rojo (*Strongylocentrotus franciscanus*) en Baja California. *Sociedad y Ambiente*, *(16)*, 91-115.
- FAO. (2010). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2010*. Roma: FAO.
- FAO. (2016). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2016. Contributing to Food Security and Nutrition for All*. Roma: FAO.
- FAO. (2024). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2024*. Roma: FAO.
- Field, A. (2018). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics* (5th ed.). Sage publications.
- Gilman, E. L., Clarke, S., Brothers, N., Alfaro-Shigueto, J., Mandelman, J., Mangel, J., ... & Dalzell, P. (2016). Shark, turtle, and seabird bycatch in tuna fisheries: a review of mitigation measures. *Fish and Fisheries*, *17*(2), 241-271.
- González-Flores, L., & Guzmán-Ramírez, N. B. (2025). La pesca en Coatetelco, Morelos: caracterización, percepción y conocimiento de la biodiversidad. *Relaciones. Estudios de historia y sociedad*, *46*(182), 125-159.
- Grbich, C. (2013). *Qualitative data analysis: An introduction* (3rd ed.). Sage Publications.

- Hutto, C. J., & Gilbert, E. E. (2014). VADER: A parsimonious rule-based model for sentiment analysis of social media text. *Eighth International AAAI Conference on Weblogs and Social Media*.
- Incopesca. (2024). *Licencias de pesca nacionales vigentes*. [https://www.incopesca.go.cr/acerca\\_incopesca/transparencia\\_institucional/servicios\\_tramites/licencias.aspx](https://www.incopesca.go.cr/acerca_incopesca/transparencia_institucional/servicios_tramites/licencias.aspx)
- Jurafsky, D., & Martin, J. H. (2009). *Speech and language processing: An introduction to natural language processing, computational linguistics, and speech recognition* (2nd ed.). Prentice Hall.
- Langford, C. (2025). Artisanal Fishers at the Helm: Co-Designing Illuminated Nets for Sea Turtle Bycatch Mitigation in Ecuador / Pescadores Artesanales al Mando: Co-Diseñando Redes Iluminadas para la Mitigación de la Captura Incidental de Tortugas Marinas en Ecuador. *UC San Diego: Center for Marine Biodiversity and Conservation*.
- Leeuwis, C., & Aarts, N. (2011). *Rethinking Communication in Innovation Processes: About Transmitting, Transforming and Translating*. Springer.
- Lewison, R. L., Crowder, L. B., Read, A. J., & Freeman, S. A. (2004). Understanding impacts of fisheries bycatch on marine megafauna. *Trends in Ecology & Evolution*, 19(11), 598-604.
- Loto, L., & Ferrero, B. G. (2025). El manejo comunitario de los recursos en la pesca artesanal en el tramo inferior del río Paraná: Un estudio desde la teoría de los Sistemas Socio-Ecológicos. *Revista de Estudios Marítimos y Sociales* (27), 1-30. <https://id.caicyt.gov.ar/ark:/s25456237/b81veq3hr>
- MacKeracher, T., Ledua, E., & South, R. (2019). Adoption and diffusion of technical capacity-building innovations by small-scale fishers in Fiji. *Marine Policy*, 106, 103554.
- Ostrom, E. (2009). A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science*, 325(5939), 419-422.
- Pannell, D. J., Marshall, G. R., Barr, N., Curtis, A., Vanclay, F., & Wilkinson, R. (2006). Understanding and promoting environmental behavior change in rural and agricultural contexts. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 46(12), 1645-1654.
- Parra-Montoya, S. Y. (2025). La capacidad de gestión de relaciones socio-ambientales hacia la pesca sostenible [Tesis doctorado]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Patton, M. Q. (2002). *Qualitative research & evaluation methods* (3rd ed.). Sage Publications. (Capítulo sobre muestreo, especialmente el de bola de nieve).
- Programa Estado de la Nación. (2024). Informe Estado de la Nación 2024. <https://estadonacion.or.cr/?informes=informe-estado-de-la-nacion-2024>
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of Innovations* (5th ed.). The Free Press.
- Senko, J. F., Allman, R., Brijesh, B., Coeurdassier, M., Deshpande, V., Giri, C., ... & Gilman, E. L. (2022). Net illumination reduces bycatch of threatened marine megafauna in tropical artisanal gillnet fisheries. *Science Advances*, 8(1), eabl4921.

- Siegel, S., & Castellan, N. J. (1988). *Nonparametric statistics for the behavioral sciences* (2nd ed.). McGraw-Hill.
- Sinde-Cantorna, A. I., Diéguez Castrillón, I., & Gueimonde Canto, A. (2006). La difusión de nuevas tecnologías en el sector pesquero español, 1931-1971. *Historia Agraria*, (39), 313-342.
- Vecchio, Y., Masi, M., Del Giudice, T., De Rosa, M., Adinolfi, F. (2024). Technological innovation in fisheries and aquaculture: What are the “discourses” of the Italian policy network? *Marine Policy* 159 (2024) 105947. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.105947>
- Zanfrillo, A., Vallejos, G., Glas, Y., & Scollo, M. G. (2022). Difusión de innovaciones en la industria pesquera: desarrollo de nuevos modelos de gestión. *AJEA- Actas de Jornadas y Eventos Académicos de UTN*.

## CONCLUSIONES

El presente estudio evaluó el uso de luces LED como medida de mitigación de la captura incidental de tortugas marinas en la pesquería artesanal de Costa Rica. A pesar de que los modelos estadísticos no revelaron un efecto significativo de la tecnología, esta investigación proporciona una contribución valiosa y pionera al campo de la conservación marina.

Los resultados demostraron que, en las condiciones de este estudio, las luces LED no funcionaron como un disuasivo eficaz. Este hallazgo, en lugar de ser una limitación, subraya la importancia de la variabilidad local en la efectividad de las tecnologías de mitigación y refuerza la necesidad de adaptar estas soluciones a contextos ecológicos y pesqueros específicos.

Por otra parte, la investigación demostró que la implementación de luces LED no tuvo un impacto negativo en la productividad de la pesquería. De hecho, el análisis de la CPUE general sugirió una tendencia a una mayor captura en los paños iluminados, lo que podría tener implicaciones económicas positivas para los pescadores.

Además, la elevada tasa de mortalidad de tortugas y otras especies en ambos tratamientos resalta una preocupación urgente para la conservación de especies no objetivo. Nuestros resultados confirman que el trasmallo es un arte de pesca poco selectivo, capturando una gran diversidad de especies. El ingenio de los pescadores no reside en la selectividad del arte, sino en su capacidad para aprovechar económicamente la totalidad de la captura, incluyendo a las especies incidentales.

Esta investigación destaca la necesidad de continuar el monitoreo y la evaluación de tecnologías de mitigación en el país. El trabajo sirve como una base fundamental para futuros

esfuerzos de conservación, proporcionando datos clave para entender los desafíos de la captura incidental en zonas de anidación masiva y en un contexto de cambio climático.

La adopción de innovaciones para la conservación marina en estas comunidades pesqueras no está frenada por la resistencia al cambio, sino por una desconexión fundamental en la definición del problema. El hallazgo central de este estudio es que, aunque la disposición a adoptar las luces LED es casi unánime (13 de 14 entrevistados; 92.9%), esta voluntad coexiste con la percepción mayoritaria (12 de 14 entrevistados; 85.7%) de que la captura incidental en trasmallos no representa un riesgo significativo. El Conocimiento Ecológico Tradicional (CET) de los pescadores justifica esta postura en la baja frecuencia de capturas y la práctica universal de liberación inmediata. Más importante aún, el CET localiza el verdadero riesgo de captura incidental en artes alternativos, como la "línea doradera" (palangre artesanal). Esta localización del riesgo, junto a la diferencia significativa en el conocimiento de especies de tortugas entre la comunidad experimentada (Bejuco) y la no involucrada (Coyote), alerta sobre un riesgo latente de "extinción social de especies". Por tanto, los proyectos de innovación deben servir también como puentes para validar y transferir activamente este conocimiento local.

Se confirma que, si bien la voluntad de adoptar existe, las barreras críticas para la implementación son estructurales y económicas. La necesidad de financiamiento y capacitación emergió como una demanda universal, vista por los pescadores como el soporte esencial y unificado necesario para afrontar el riesgo económico de la adopción. Estos obstáculos (costo, complejidad operativa y tiempo) se magnifican en el contexto de la vulnerabilidad sistémica de la pesca artesanal. El papel de la experiencia directa, o la posibilidad de experimentación (*Trialability*), demostró ser el factor modulador clave: la

visión de Coyote (sin experiencia) fue hipotética y conservadora, mientras que la de Bejuco (involucrada) fue pragmática y progresista. Esto prueba que la adopción futura depende menos de la persuasión y más de la implementación de proyectos piloto visibles que ofrezcan resultados tangibles y demuestren la viabilidad operativa.

La estrategia de difusión de la tecnología debe ser inherentemente social y participativa, alejándose de modelos paternalistas *top-down*. Los pescadores mostraron una preferencia inequívoca por el aprendizaje práctico y experiencial, priorizando "talleres, charlas y demostraciones" sobre métodos pasivos. El éxito de la difusión dependerá de la capacidad de los implementadores para activar las redes sociales existentes. Esto implica identificar y apoyar a los líderes de opinión locales, quienes, a través de la homofilia, son los agentes más efectivos para reducir la incertidumbre y legitimar la innovación dentro del sistema social de las comunidades pesqueras.

Finalmente, los hallazgos de este trabajo no cierran la investigación, sino que la redirigen. La implicación más urgente es la necesidad de expandir el foco tecnológico más allá del trasmallo. Se recomienda priorizar la investigación sobre la efectividad de las luces LED (u otras tecnologías de mitigación) en el arte de pesca identificado por los propios pescadores como el de mayor riesgo: el palangre artesanal o "línea doradera". Asimismo, para que las tendencias aquí observadas puedan ser validadas estadísticamente y extrapoladas a nivel regional, es imperativo realizar estudios futuros con muestras poblacionales más grandes y robustas.

## CONCLUSIONS

The present study evaluated the use of LED lights as a mitigation measure for sea turtle bycatch in Costa Rica's artisanal fishery. Although statistical models did not reveal a significant effect of the technology, this research provides a valuable and pioneering contribution to the field of marine conservation.

The results demonstrated that, under the conditions of this study, LED lights did not function as an effective deterrent. This finding, rather than being a limitation, underscores the importance of local variability in the effectiveness of mitigation technologies and reinforces the need to adapt these solutions to specific ecological and fishery contexts.

Furthermore, the research showed that the implementation of LED lights did not have a negative impact on the fishery's productivity. In fact, the general CPUE analysis suggested a trend toward higher capture in the illuminated nets, which could have positive economic implications for fishers.

Additionally, the high mortality rate of turtles and other species in both treatments highlights an urgent conservation concern for non-target species. Our results confirm that the gillnet is a non-selective fishing gear, capturing a high diversity of species. The fishers' ingenuity lies not in the gear's selectivity, but in their ability to economically utilize the entire catch, including incidental species.

This research highlights the need to continue monitoring and evaluating mitigation technologies in the country. The work serves as a fundamental basis for future conservation efforts, providing key data to understand the challenges of bycatch in mass nesting areas and in the context of climate change.

The adoption of innovations for marine conservation in these fishing communities is not hindered by resistance to change, but by a fundamental disconnect in the definition of the problem. The central finding of this study is that, although the willingness to adopt LED lights is almost unanimous (13 of 14 interviewees; 92.9%), this willingness coexists with the majority perception (12 of 14 interviewees; 85.7%) that bycatch in gillnets does not represent a significant risk. Traditional Ecological Knowledge (TEK) justifies this stance based on the low frequency of captures and the universal practice of immediate release. More importantly, TEK identifies the true bycatch risk in alternative gears, such as the “línea doradera” (artisanal longline). This localization of risk, along with the significant difference in knowledge of turtle species between the experienced community (Bejuco) and the non-involved one (Coyote), warns of a latent risk of "social extinction of species." Therefore, innovation projects must also serve as bridges to actively validate and transfer this local knowledge.

It is confirmed that, while the will to adopt exists, the critical barriers to implementation are structural and economic. The need for funding and training emerged as a universal demand, seen by fishers as the essential and unified support necessary to face the economic risk of adoption. These obstacles (cost, operational complexity, and time) are magnified in the context of the systemic vulnerability of artisanal fishing. The role of direct experience, or "Triability," proved to be the key modulating factor: the vision of Coyote (without experience) was hypothetical and conservative, while that of Bejuco (involved) was pragmatic and progressive. This proves that future adoption depends less on persuasion and more on the implementation of visible pilot projects that offer tangible results and demonstrate operational viability.

The technology diffusion strategy must be inherently social and participatory, moving away from paternalistic top-down models. Fishers showed an unequivocal preference for practical and experiential learning, prioritizing "workshops, talks, and demonstrations" over passive methods. The success of diffusion will depend on the implementers' ability to activate existing social networks. This implies identifying and supporting local opinion leaders, who, through homophily, are the most effective agents for reducing uncertainty and legitimizing innovation within the social system of the fishing communities.

Finally, the findings of this work do not close the research but rather redirect it. The most urgent implication is the need to expand the technological focus beyond the gillnet. It is recommended to prioritize research on the effectiveness of LED lights (or other mitigation technologies) on the fishing gear identified by the fishers themselves as the highest risk: the artisanal longline or "línea doradera." Likewise, for the trends observed here to be statistically validated and extrapolated to a regional level, it is imperative to conduct future studies with larger and more robust population samples.