



<https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop..v71i1.53174>


Flotas de pesca extranjeras en el Pacífico costarricense y su traslape con áreas protegidas oceánicas, el ordenamiento pesquero y el Domo Térmico

Priscilla Cubero-Pardo^{1*};  <https://orcid.org/0000-0003-0022-3338>

César Castro-Azofeifa^{2,4};  <https://orcid.org/0000-0003-4977-2397>

Juan B. Chavarría-Chaves³;  <https://orcid.org/0000-0002-5672-6535>

Christian Vargas-Bolaños²;  <https://orcid.org/0000-0003-0853-2047>

Francini Corrales-Garro²;  <https://orcid.org/0000-0003-3502-4128>

1. Consejo Nacional de Rectores, Pavas, San José, Costa Rica; pcubero@conare.ac.cr (*Correspondencia)
2. Laboratorio PRIAS, Centro Nacional de Alta Tecnología, Pavas, San José, Costa Rica; ccastroa1707@gmail.com, cvargas@cenat.ac.cr, francini113@gmail.com
3. Profesional Independiente, San Pedro, San José, Costa Rica; chavarrij@yahoo.com
4. Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica, San Pedro, San José, Costa Rica.

Recibido 04-I-2023. Corregido 01-IV-2023. Aceptado 13-VI-2023.

ABSTRACT

Foreign fishing fleets in the Costa Rican Pacific and their overlap with oceanic protected areas, the fishing zoning, and the Thermal Dome

Introduction: Until today, the fishing effort by foreign fleets in the Costa Rican Pacific has not been analyzed.

Objective: To determine the spatial distribution of the fishing effort of those fleets, variables that shape that distribution, and if they interact with management figures and highly fragile ecosystems.

Methods: Using fishing effort data from 2012 to 2020, obtained from Global Fishing Watch, an Index of Fishing Effort (IEP) was calculated to apply geospatial and multivariate statistics, as well as multiple regression models. A grid with 55 905 cells of 0.10 degrees was used to apply Hot Spot Analysis, and another grid with 24 176 cell-year-month analysis units of 0.25 degrees was used to apply a Linear Regression Model.

Results: The data reveals the fishing activity of international fleets associated with four types of fishing gear, and a wide coverage of a high IEP by two fleets throughout the nine years analyzed. The IEP is primarily associated with location and varies by month and year. There is also relative evidence that its influenced by the concentration of oxygen and nitrates.

Conclusions: International fleets come into direct conflict with officially defined zones for national fleets and disrespect protected oceanic areas and a declared non-fishing zone to protect marine resources in the Costa Rican Pacific. Their activities in the Dome may affect a national yellowfin tuna fishery.

Key words: trawling; purse-seine; longline; Costa Rican fisheries; fishing overlap.

RESUMEN

Introducción: Hasta hoy, no ha sido analizado el esfuerzo pesquero por parte de flotas extranjeras en el Pacífico de Costa Rica.

Objetivo: Determinar la distribución espacial del esfuerzo pesquero de esas flotas, variables que moldean esa distribución, y si las mismas interactúan con figuras de manejo y ecosistemas altamente frágiles.

Métodos: A partir de datos de esfuerzo pesquero de 2012 a 2020, obtenidos de *Global Fishing Watch*, fue calculado un Índice de Esfuerzo Pesquero (IEP) sobre el cual fue aplicada estadística geoespacial y multivariada, así



como modelos de regresión múltiple. Fue utilizada una cuadrícula con 55 905 celdas de 0.10 grados, para aplicar Análisis de Puntos Calientes, y otra cuadrícula con 24 176 unidades de análisis celdas-año-mes de 0.25 grados, para aplicar un Modelo de Regresión Lineal.

Resultados: Los datos revelan la actividad pesquera de las flotas internacionales asociadas a cuatro tipos de artes de pesca, así como una amplia cobertura de alto IEP por parte de dos flotas a lo largo de los nueve años analizados. El IEP se asocia principalmente con la ubicación y varía según el mes y el año. También hay evidencia relativa de que está influenciado por la concentración de oxígeno y nitratos.

Conclusiones: Las flotas internacionales entran en conflicto directo con zonas oficialmente delimitadas para las flotas nacionales e irrespetan las áreas oceánicas protegidas y una zona no pesquera declarada para proteger los recursos marinos en el Pacífico costarricense. Sus actividades en el Domo pueden afectar la pesquería de atún aleta amarilla.

Palabras clave: arrastre; red de cerco; palangre; pesquerías costarricenses; traslape pesquero.

INTRODUCCIÓN

El control del esfuerzo de pesca, de la mano con una buena gobernanza, es esencial para encaminar las pesquerías hacia la sostenibilidad a largo plazo, de la mano con la salud ecosistémica (Naranjo Madrigal & Salas Márquez, 2014). Por eso, cada vez es más importante el desarrollo de análisis cuantitativos del esfuerzo pesquero.

Los análisis cuantitativos que incluyen el tipo de equipo de pesca y su distribución espacial son considerados más adecuados para representar dicho esfuerzo a una escala amplia (McCluskey & Lewison, 2008). Para este efecto, el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) ha sido clave para investigar el aprovechamiento y manejo de recursos pesqueros a partir de la década de 1980 (Nishida & Itoh, 1999). Los SIG resultan claves en la actualidad para orientar la toma de decisiones por parte de los gobiernos locales, al presentar datos relevantes de forma práctica, tal como han hecho en Venezuela (Silva Aristeguieta et al., 2010).

Existe un análisis georreferenciado de capturas de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) por parte de barcos de cerco de bandera extranjera en toda la Zona Económica Exclusiva del Pacífico de Costa Rica (ZEE), del 2002 al 2011 (Cubero-Pardo et al., 2021), pero este tipo de análisis es el único conocido hasta hoy para este país. No existen estudios espaciales de flotas nacionales, o que revelen operaciones

pesqueras por otras flotas de bandera extranjera distintas a la flota de cerco.

El decreto de “Ordenamiento para el aprovechamiento de atún y especies afines en la zona económica exclusiva del Océano Pacífico costarricense” (D.E. 38681-MAG-MINAE, La Gaceta No. 213, 09 de octubre 2014), asigna la mayor parte de la ZEE a flotas nacionales y limita el acceso a una única flota de bandera extranjera (cerco) en dos zonas específicas, y bajo determinadas condiciones. Dicho ordenamiento establece claramente que las áreas protegidas quedan excluidas de dicha zonificación.

En el Pacífico costarricense, existen dos áreas marinas protegidas (AMP) oceánicas de alta importancia para la conservación de especies marinas. El Parque Nacional Marino Isla del Coco (PNMIC) es operado bajo objetivos de no extracción (Sistema Nacional de Áreas de Conservación, 2016), en tanto el Área Marina de Manejo Montes Submarinos (AMM-MS), define dos zonas de protección absoluta (montes Las Gemelas, con 2 720 km², y una zona de 724 km², al noroeste del PNMIC). El resto del área del AMM-MS (6 144 km²) está abierta a la pesca con palangre exclusivamente nacional (Sistema Nacional de Áreas de Conservación, 2013). Arias et al. (2016) revelaron la presencia de pesca ilegal dentro del Parque Nacional Isla del Coco, sin indicar la nacionalidad de las embarcaciones.

Otra zona de alto valor ecosistémico es el Domo Térmico, una zona de afloramiento altamente productiva y frágil, cambiante en

área de forma estacional, y clave para especies pelágicas de gran tamaño como delfines, tiburones y rayas, además del atún aleta amarilla, con gran importancia pesquera en Costa Rica (Cubero-Pardo et al., 2021; Fiedler, 2002; Landry et al., 2016). El domo no ha sido definido bajo ninguna categoría de protección o manejo (Ross Salazar et al., 2019).

Debido a la fuerte restricción que impone el ordenamiento pesquero costarricense a las flotas de bandera extranjera en la ZEE, y a la importancia que tienen las áreas protegidas oceánicas y el Domo Térmico para el equilibrio ecosistémico y la salud de las pesquerías, es de interés analizar si existe actividad pesquera por flotas extranjeras además de la cerquera, que es la única permitida. En caso de existir, interesa cómo se distribuyen espacial y temporalmente cada una de esas flotas durante sus faenas de pesca, analizar variables específicas que moldean esa distribución, y si dichas faenas traspasan los límites (y objetivos) de las áreas protegidas oceánicas y del Domo Térmico.

VARIABLES COMO PRODUCCIÓN PRIMARIA DE FITOPLANCTON, OXÍGENO DISUELTO Y NITRATO SON IMPORTANTES DE CONSIDERAR, YA QUE HA SIDO ENCONTRADO QUE SE CORRELACIONAN POSITIVAMENTE CON LA CAPTURA DE ESPECIES DE PECES DE VALOR PESQUERO Y CON LA EFECTIVIDAD DE ESA CAPTURA (Bigelow et al., 2002; Jufaili & Piontkovski, 2019; Piontkovski & Al-Hashmi, 2018). Un aumento en capturas puede llevar a disminuir la disponibilidad de recursos y, con eso, a aumentar el esfuerzo pesquero, para compensar, aunque el aumento en esfuerzo no siempre es garantía de aumento en capturas (Naranjo Madrigal & Salas Márquez, 2014).

A partir de bases de datos georreferenciadas de esfuerzo pesquero de GFW, de 2012 a 2020, referentes exclusivamente a flotas de bandera extranjera detectadas faenando en la ZEE, este trabajo plantea los siguientes objetivos: 1. Determinar la distribución espacial de proxis de dicho esfuerzo por parte de esas flotas, entre estaciones del año y por tipo de arte de pesca, con el fin de identificar áreas donde ese esfuerzo es mayor, 2. Analizar la relación de esa distribución con el ordenamiento

pesquero nacional, las áreas protegidas oceánicas y el domo térmico, y 3. Caracterizar la relación entre proxis de esfuerzo pesquero con variables ambientales (producción primaria de fitoplancton, oxígeno disuelto y nitrato), latitud, longitud, año y mes, para el total de faenas de pesca, con el fin de comprender la influencia de dichas variables en la distribución espacial y temporal del esfuerzo.

Son generados mapas, mediante aplicación de geoestadística, sobre índices calculados a modo de proxis del esfuerzo pesquero y de condiciones ambientales, a partir de estadística multivariada. Los resultados son analizados en relación con las figuras de ordenamiento pesquero, y de conservación y manejo de la ZEE, y se discuten en función de posibles efectos sobre la actividad por flotas pesqueras nacionales y la conservación de los recursos marinos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio: Comprende la Zona Económica Exclusiva del Pacífico de Costa Rica (ZEE) en su totalidad, exaltando zonas para manejo pesquero, el Domo Térmico y las áreas protegidas oceánicas (Fig. 1).

Bases de Datos: Este estudio combina bases de datos georreferenciadas de esfuerzo pesquero (en horas) ('mmsi-daily-csvs-10-v2-2012' a 'mmsi-daily-csvs-10-v2-2020') y tipo de arte ('fishing-vessels-v2.csv'), puestas a disposición pública por *Global Fishing Watch* (<https://globalfishingwatch.org/es/>). Los datos son basados en posiciones de ubicación geográfica registradas por el Sistema de Ubicación Automática (AIS, por sus siglas en inglés) presente en embarcaciones pesqueras, las cuales son procesadas mediante el uso de algoritmos que sistematizan la selección de los datos (<https://globalfishingwatch.org/es/>).

Dichas bases refieren específicamente a flotas de bandera extranjera, y contienen datos de embarcaciones en faena de pesca, representados mediante puntos, a una resolución espacial de 0.10 grados, del 03 de enero de 2012 hasta el 31 de diciembre de 2020, pero no

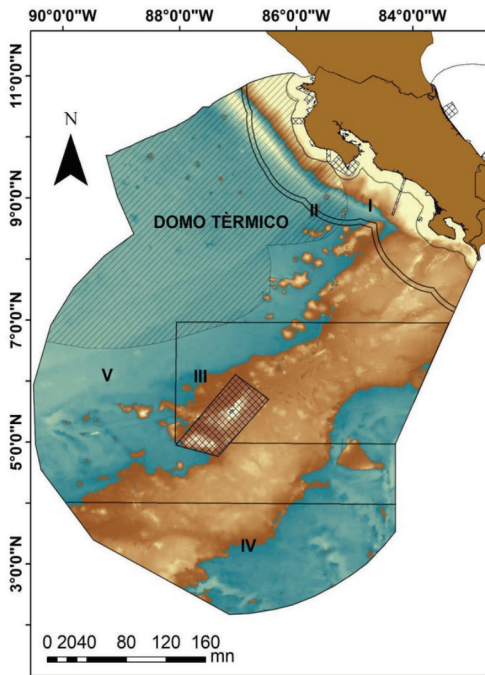


Fig. 1. Zona Económica Exclusiva del Pacífico de Costa Rica, con delimitación del Domo Térmico (Capa del Domo Térmico: Fundación MarViva. 2016. Ubicación media estimada del Domo Térmico), las áreas marinas protegidas (Sistema Nacional de Áreas de Conservación, 2013; Sistema Nacional de Áreas de Conservación, 2016) (polígono cuadrículado) y el ordenamiento pesquero (Decreto 38681 MAG-MINAE, La Gaceta No. 213, 09 de octubre 2014) (Zonas I a V). / **Fig. 1.** Exclusive Economic Zone of the Pacific of Costa Rica, with delimitation of the Thermal Dome (Thermal Dome Layer: Fundación MarViva. 2016. Estimated average location of the Thermal Dome), marine protected areas (Sistema Nacional de Áreas de Conservación, 2013; Sistema Nacional de Áreas de Conservación, 2016) (squared polygon) and the fishing zoning (Decree 38681 MAG-MINAE, La Gaceta No. 213, October 9, 2014) (Zones I to V).

incluyen datos de captura de especies. La alta cantidad de datos disponibles permite realizar cruces con bases de variables ambientales para explorar la influencia del medio en la dinámica de ese esfuerzo (Afonso-Dias et al., 2004; Cushing, 1975; Kroodsmá et al., 2018; Natale et al., 2015; Torres Palenzuela et al., 2004).

Las bases combinadas fueron cortadas dentro de la ZEE y, luego de aplicar la herramienta ‘Análisis Optimizado de Valores Extremos’ de *ArcMap* v10.8 sobre la variable esfuerzo, se obtuvo una base de datos para análisis integrada por 55 905 registros (‘original’).

Desde dicha base se construyeron 12 hojas de datos (clima-arte) referentes a tres épocas climáticas (Seca = diciembre a marzo; Transición = abril y noviembre, y Lluviosa = mayo a octubre), para cuatro tipos de arte, por separado (Tabla 1) manteniendo la resolución de 0.10 grados. En cada una de esas hojas fue calculado un Índice de Esfuerzo Pesquero (IEP) (estructura de cálculo en la sección siguiente) sobre el cual fue aplicado un Análisis de Puntos Calientes Optimizado (Getis & Ord, 1992; Ord & Getis, 1995) en busca de zonas con alto IEP. Las épocas climáticas fueron definidas con base en el régimen climático para el Pacífico de Costa Rica establecido por el Instituto Meteorológico Nacional (<https://www.imn.ac.cr/documentos/10179/31165/clima-regiones-climat.pdf/cb3b55c3-f358-495a-b66c-90e677e35f57>).

A partir de la base de datos original fue generada una base de datos con celdas de 0.25 grados de lado y 24 176 unidades de análisis de celda-año-mes (‘derivada’). Sobre esta base fue

Tabla 1

Artes de pesca analizadas en este estudio y detalles asociados. **Table 1.** Fishing gear analyzed by this study and associated details.

Arte de Pesca	No. Registros			Horas de Esfuerzo	No. Países o Banderas	
	Total	Seca	Transición			
Cerco	42 167	11 163	8 305	3 171	101 166	14
Palangre	12 630	2 857	2 260	7 513	14 328	12
Arrastre	698	144	110	257	1 646	11
Caña y Línea	410	184	64	162	2 452	1

analizada la relación entre el IEP y variables ambientales de producción primaria de fitoplancton (mg/m³/día), oxígeno disuelto (mmol/m³) y nitrato (mmol/m³), latitud, longitud, año y mes, mediante un Modelo Linear Generalizado. Cambiar a resolución de 0.25 grados fue necesario, ya que esa fue la escala espacial más fina disponible en las variables ambientales (<https://www.copernicus.eu/es>).

Si bien en una de las bases de datos de GFW utilizadas se especifica la bandera de cada barco, este estudio no incluye dicha variable en sus análisis, pues la misma no contribuye a sus objetivos. Por otro lado, ninguna de las dos bases de GFW especifica si los barcos faenan en aguas costarricenses de forma legal o ilegal, por lo cual esa temática no es abordada en este trabajo.

Índice de Esfuerzo Pesquero (IEP): para calcular el índice, se inspeccionó primero la matriz de correlación y se aplicó luego Análisis de Componentes Principales (ACP); se seleccionaron aquellas variables que representaron mejor el esfuerzo pesquero. El ACP fue aplicado sobre la matriz de correlación de variables pesqueras referentes a esfuerzo (horas), eslora (m), potencia de motor (kw) y tonelaje bruto (GT), de forma semejante como

hicieron Le Pap y Vigneau (2001), tanto para las 12 hojas clima-arte por separado (escala 0.10 grados), usando la plataforma estadística R-Studio (RStudio Team, 2016), como para la base derivada (escala 0.25 grados), usando SPSS Statistics (IBM Corp, 2011).

En cada caso, fueron seleccionados de 1 a 3 componentes principales (valor propio ≥ 1 o, al menos, 80 % de la varianza total explicada entre ellos) para calcular el IEP. Los componentes principales fueron ponderados con base en sus contribuciones correspondientes a la varianza total, expresada como proporción, de acuerdo con la fórmula (A) (Li et al., 2006).

$$Y = \lambda_1 C_1 + \lambda_2 C_2 + \dots + \lambda_n C_n \quad (A)$$

Donde, *Y* corresponde al índice de esfuerzo pesquero, *C_i* es el componente principal *i*-ésimo extraído (*i* = 1, ..., *n*), and λ_i es la contribución *i*-ésima a la varianza total, expresada como proporción.

Tanto para las 12 hojas clima-arte por separado, como para la base derivada, la contribución de cada variable en el IEP fue determinada al inspeccionar los coeficientes de los vectores propios correspondientes (Manly, 1986) (Tabla 2, Tabla 3).

Tabla 2

Componente Principal en el cual pesa más cada variable del Índice de Esfuerzo Pesquero, y porcentaje de varianza explicada, a escala 0.10 grados de lado. / **Table 2.** Principal Component in which each variable of the Fishing Effort Index weighs more, and percentage of explained variance, on a scale of 0.10 degrees per side.

Arte	Época	C1			C2			C3		% Var Exp
		Esl	Pot	Ton	Esl	Pot	Horas	Ton	Horas	
Cercos	Seca	0.57	0.58	0.59			-0.99			93.74
	Lluviosa	0.56	0.57	0.59			-0.99			87.45
	Transición	-0.56	-0.58	-0.59			0.99			89.94
Palangre	Seca	-0.57	-0.57	-0.59			0.99			94.56
	Lluviosa	-0.57	-0.55	-0.60			0.98			90.99
	Transición	-0.56	-0.57	-0.59			0.98			92.85
Arrastre	Seca	0.58	0.59	0.55			-0.99			90.60
	Lluviosa	-0.56	-0.57	-0.56			0.98			99.15
	Transición	0.57	0.56	0.56			0.98			99.31
Caña y Línea	Seca	-0.63		-0.65		0.60	0.79			85.13
	Lluviosa	0.57	-0.57	0.58			-0.99			97.52
	Transición		-0.67		0.69			0.71	-0.69	93.90

**Tabla 3**

Peso de cada variable en el Componente Principal 1, para el Índice de Esfuerzo Pesquero y el Índice de Variables Ambientales, y porcentaje de varianza explicada en cada caso, a escala 0.25 grados de lado. / **Table 3.** Weight of each variable in Principal Component 1, for the Fishing Effort Index and the Environmental Variable Index, and percentage of variance explained in each case, on a 0.25-degree scale.

		PC1
Índice de Esfuerzo Pesquero	Valor propio	2.61
	% Varianza explicada	65.14
	Horas	0.01
	Longitud de embarcación	0.93
	Potencia de motor	0.94
	Tonelaje	0.93
Índice de Variables ambientales	Valor propio	2.79
	% Varianza explicada	67.97
	Oxígeno disuelto	0.93
	Nitrato	-0.93
	Producción primaria	0.55

*La variable 'horas' pone prácticamente todo su peso en el componente 2. / *The variable 'hours' assigns practically all its weight in component 2.

El término de esfuerzo pesquero dentro del nombre del índice resulta de la denominación utilizada por GFW en sus bases de datos que refieren a 'Esfuerzo Pesquero', en horas ('mmsi-daily-csvs-10-v2-2012' a 'mmsi-daily-csvs-10-v2-2020').

Análisis de puntos calientes: Este análisis fue realizado en cada una de las 12 hojas clima-arte, con el uso de varias herramientas de ArcMap v10.8, con el fin de identificar la distancia óptima a la cual los datos alcanzan la máxima autocorrelación (Cubero-Pardo et al., 2021). Esa distancia fue utilizada para identificar agrupaciones espaciales estadísticamente significativas con alto IEP (puntos calientes) y bajo IEP (puntos fríos), para los cuatro tipos de artes de pesca, en cada una de las tres épocas climáticas, aplicando la herramienta *Análisis de Puntos Calientes Optimizada* (Getis & Ord, 1992; Ord & Getis, 1995).

Usando la distancia de máxima autocorrelación, dicha herramienta permitió identificar los puntos calientes de IEP (valores más altos), mediante la asignación de un valor estadístico G_i^* positivo (puntuación Z) y un valor de $P < 0.10$ a determinadas unidades de análisis en la grilla de 0.10 grados. Ese valor de P es válido en el uso de esta herramienta y permite identificar la máxima cobertura de puntos calientes en el espacio (Ord & Getis, 1995). Para las 12 hojas clima-arte analizadas, fueron extraídas las áreas de agregación significativa del esfuerzo, a un 90 % de confianza ($G_i^* \geq 1.65$, $P < 0.10$).

Regresión múltiple aplicada al IEP: A partir de la base de datos derivada (con celda de 0.25 grados de lado), los valores observados del IEP fueron analizados mediante regresión con Modelo Lineal Generalizado (MLG) con una función de enlace logarítmica, al ser elegido el modelo de mejor ajuste, en comparación con un modelo de Cuadrados Mínimos Ordinarios. Dicho ajuste fue evaluado mediante exploración de gráficos de los residuos y de los predichos, y mediante los índices de Akaike (AIC) y Bayesiano (BIC).

Al realizar análisis exploratorio de datos se observó que el histograma para el IEP, aunque no lucía realmente normal, al menos presentaba una importante acumulación de valores hacia el centro. Eso sugirió utilizar el MLG con una función probabilidad Normal y una transformación logarítmica como enlace con el componente sistemático.

El componente sistemático del MLG se planteó según la expresión (B). Fueron utilizadas variables de ubicación del registro de IEP (latitud*longitud), mes, año y las variables ambientales, para las cuales fueron calculados valores promedio mensuales para cada una de las unidades de análisis celda-año-mes de 0.25 grados (oxígeno, O_2 , nitritos, NO_3 , y producción primaria neta, PPN). Mediante análisis previos se encontró que las interacciones de las covariables no fueron significativas.

$$Y' = B_0 + B_1*[lat*long] + B_2*[mes] + B_3*[año] + B_4*[O_2] + B_5*[NO_3] + B_6*[PPN] \quad (B)$$

Donde, Y' es el Índice de Esfuerzo predicho o estandarizado, B_0 es el coeficiente de intersección y B_i corresponde a los coeficientes de regresión por variable.

Las variables explicativas que más contribuyen en el modelo estimado fueron identificadas mediante contraste de hipótesis de Wald (95 %) sobre los coeficientes de regresión.

Índice de Variables Ambientales (IVA):

Para efectos de complementar visualmente el análisis de regresión, en la base derivada fue calculado un segundo índice, IVA, basado en el uso de Análisis de Componentes Principales, usando como variables, específicamente, la concentración de oxígeno (O_2), la concentración de nitratos (NO_3) y la productividad primaria neta (PPN) (Fig. 2).

RESULTADOS

Índice de Esfuerzo Pesquero (IEP): El cálculo del IEP a escala espacial de 0.10 grados para los cuatro tipos de arte de pesca por separado, en las tres épocas climáticas analizadas, se basó en el uso de los primeros dos componentes principales, los cuales explicaron entre 85 y 99.3 % de la varianza, según la época del año, para el cerco, el palangre y el arrastre. El arte de caña y línea, en la época de transición, requirió el uso de los primeros tres componentes, ya que las primeras dos dimensiones explicaron un 76 % de la variabilidad, y el tercer componente adicionó un 17 % de varianza explicada, para un total de casi el 94 % de la variabilidad de los resultados.

A nivel estacional, el IEP estuvo determinado por la eslora, potencia y tonelaje, en

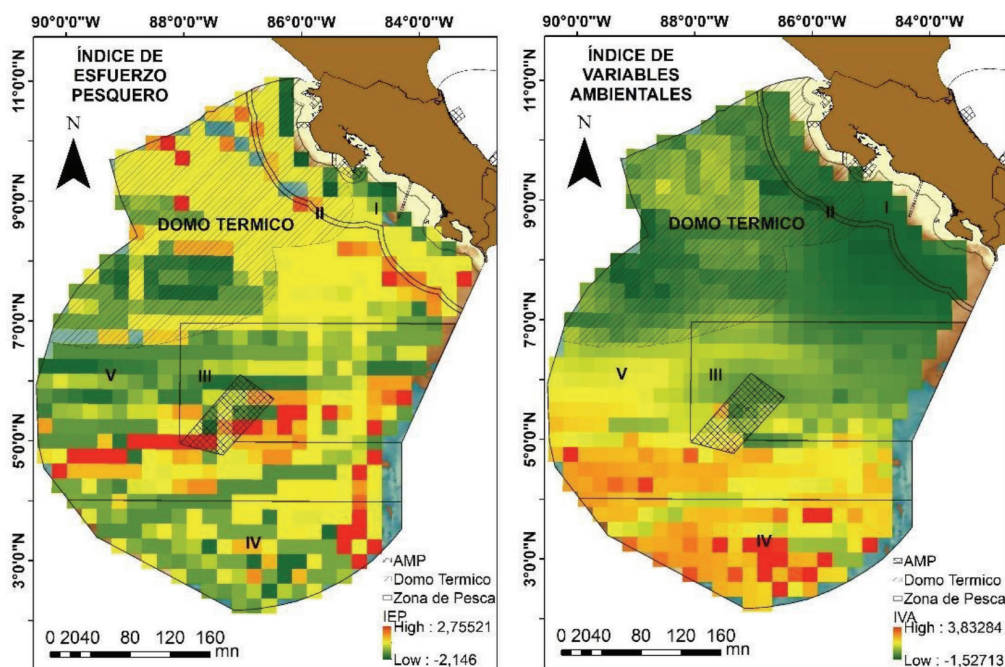


Fig. 2. Distribución general de un Índice de Esfuerzo Pesquero y un Índice de Variables Ambientales a 0.25 grados de lado, en la Zona Económica Exclusiva del Pacífico de Costa Rica, entre 2012 y 2020, y su relación espacial con el Domo Térmico, el ordenamiento pesquero (Zonas I a V) y las áreas protegidas oceánicas (polígono cuadrículado). / **Fig. 2.** General distribution of a Fishing Effort Index and an Environmental Variable Index at 0.25 degrees per side, in the Exclusive Economic Zone of the Pacific of Costa Rica, between 2012 and 2020, and their spatial relationship with the Thermal Dome, the fishing zoning (Zones I to V), and oceanic protected areas (squared polygon).



su conjunto, en el caso del cerco, palangre y arrastre, mientras que, en la caña y línea, la potencia del motor definió variaciones entre estaciones. Las embarcaciones de cerco fueron de mayor tamaño en las épocas seca y lluviosa, comparadas con los meses de transición, mientras que las de arrastre fueron más grandes en la época seca y los meses de transición, y los barcos de palangre mantuvieron dimensiones relativamente menores en las tres épocas del año. Las embarcaciones de caña y línea fueron relativamente más pequeñas, pero más potentes, en la época seca, en comparación con la época lluviosa y los meses de transición, cuando fueron de mayor tamaño y capacidad, pero con menor potencia (Tabla 3).

El IEP general, aplicado a escala de 0.25 grados, reveló que el tamaño de la embarcación, sumado a su capacidad y potencia, como un todo, determinaron el esfuerzo pesquero, con predominancia de embarcaciones pequeñas en el centro y sur de la ZEE (verde) y de embarcaciones medianas a lo largo de la costa continental y el sur del Domo Térmico (amarillo) (Fig. 2, Tabla 3).

Análisis de Puntos Calientes: Fueron identificados patrones agregados (I de Moran positivo), al 1 % de significancia ($Z > 2.58$, $P < 0.01$), a partir de la Autocorrelación Espacial

Incremental (AEI), para los cuatro tipos de arte, en cada una de las tres épocas climáticas, con excepción del arte Caña y Línea en la época de transición, cuyo patrón agregado fue revelado al 10 % de significancia ($Z > 1.65$, $P < 0.10$) (Tabla 4).

Así mismo, con base en el Análisis de Puntos Calientes Optimizado, fue posible identificar áreas claramente diferenciadas de alto IEP, para cada tipo de arte de pesca, en cada época climática, dentro de la Zona Económica Exclusiva (ZEE) del Pacífico de Costa Rica.

La mayor cobertura de alto IEP por parte de barcos de arrastre se dio en la época lluviosa (19027 km², 3.50 %), dentro de las zonas para el recurso atunero y especies afines (en adelante ‘zonas’) I, II y V y el Domo Térmico. En las épocas seca y de transición la cobertura de este arte fue insignificante.

El alto IEP de la flota de cerco alcanzó la mayor cobertura en la época seca (442 817 km², 81.42 %), especialmente dentro de las zonas I, II, y IV y el Domo Térmico, seguida por la época de transición (316073 km², 58.12 %), mayormente dentro de las zonas IV y V, el Domo Térmico y el Área Marina de Manejo Montes Submarinos, y por la época lluviosa (136 067 km², 25.02 %), con mayoría dentro de las zonas I, II, III y V.

Tabla 4

Índice de Moran, Puntuación Z y Valor p, derivados de la Autocorrelación Espacial Incremental, con base en la distancia óptima, para los tipos de artes de pesca y las épocas climáticas. / **Table 4.** Moran's Index, Z-score, and p-value, derived from the Incremental Spatial Autocorrelation, based on optimal distance, for gear types and climatic seasons.

Tipo de Arte	Época climática	Distancia óptima (m)	Índice de Moran	Puntuación Z	P
Arrastre	Seca	297 484.58	0.127094	10.465433	0.000000
	Transición	140 532.00	0.331361	17.116926	0.000000
	Lluviosa	244 672.00	0.118596	14.769957	0.000000
Cerco	Seca	144 257.00	0.036564	95.149629	0.000000
	Transición	102 546.00	0.114831	162.230901	0.000000
	Lluviosa	99 445.00	0.091821	47.501191	0.000000
Caña y Línea	Seca	446 558.55	0.726394	106.618680	0.000000
	Transición	457 835.60	0.006579	3.164595	0.001553
	Lluviosa	208 647.87	0.084884	14.355379	0.000000
Palangre	Seca	237 471.27	0.203622	305.665629	0.000000
	Transición	235 146.00	0.188429	215.238776	0.000000
	Lluviosa	155 683.00	0.168005	405.208632	0.000000

Por su parte, la flota de palangre presentó alto IEP en el centro de la ZEE, dentro de las zonas III y V y el Domo Térmico, con mayor cobertura en la época lluviosa (269 726 km², 49 %) que en las épocas seca (241 712 km², 44 %) y de transición (210 643 km², 38.73 %), aunque en estas dos últimas mostró patrones menos compactos. En tanto, la flota de caña y línea

tuvo alto IEP en las épocas seca y lluviosa, en las zonas I y II (22 632 km², 4.16 %), y en la zona V (16 851 km², 3.10 %), respectivamente (Fig. 3).

Regresión múltiple aplicada al IEP: El modelo de regresión aplicado al IEP reveló que las variables seleccionadas fueron todas

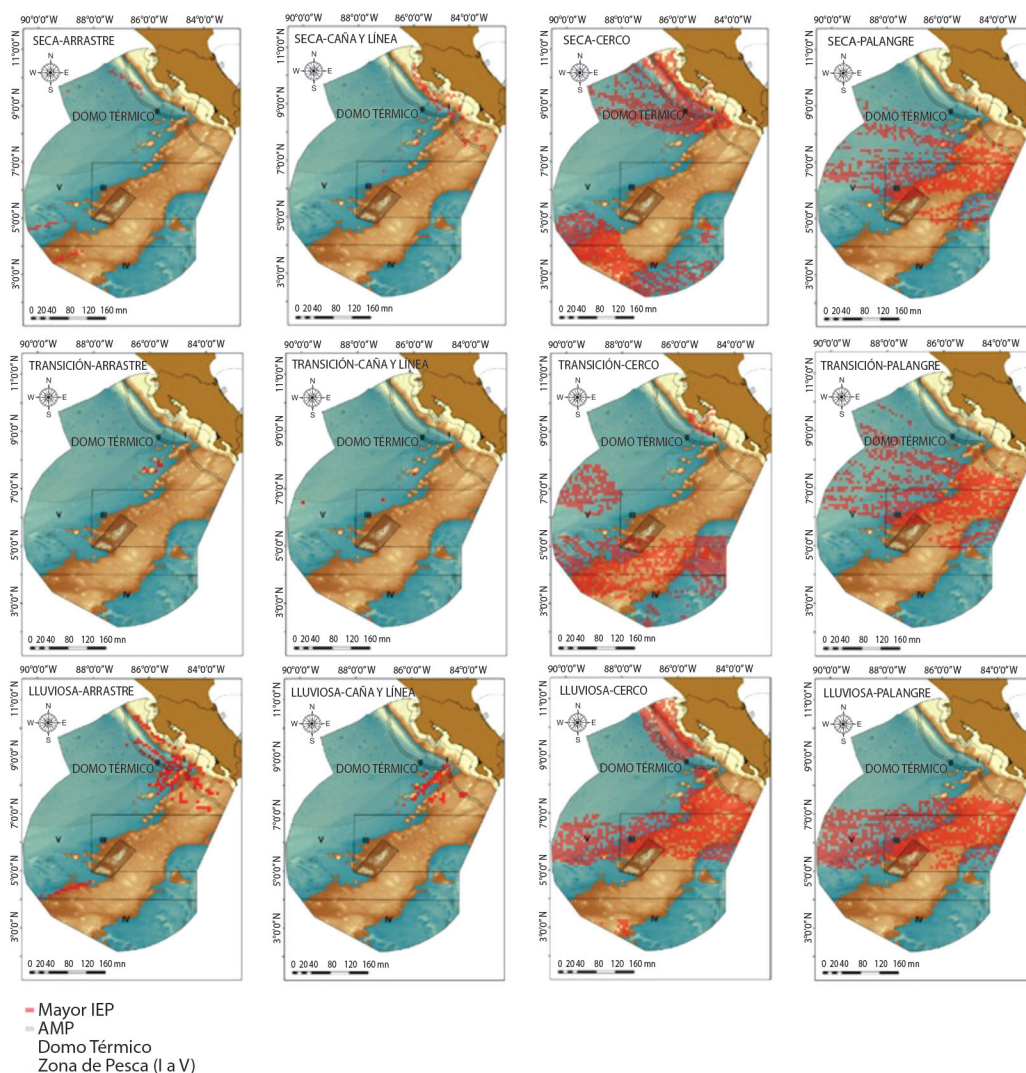


Fig. 3. Distribución de las áreas de alto Índice de Esfuerzo Pesquero dentro de la Zona Económica Exclusiva del Pacífico de Costa Rica, del 2012 al 2020, por cuatro flotas de bandera extranjera, en tres épocas climáticas y su relación espacial con el Domo Térmico, el ordenamiento pesquero (Zonas I a V) y las áreas protegidas oceánicas (polígono cuadrícula). / **Fig. 3.** Distribution of the areas of high Fishing Effort Index within the Exclusive Economic Zone of the Pacific of Costa Rica, from 2012 to 2020, by four foreign-flagged fleets, in three climatic seasons and their spatial relationship with the Thermal Dome, the fishing zoning (Zones I to V), and oceanic protected areas (squared polygon).

**Tabla 5**

Parámetros analizados en los modelos de regresión lineal para tres variables ambientales, coordenadas, mes y año. / **Table 5.** parameters analyzed in the linear regression models for three environmental variables, coordinates, month, and year.

Parámetro	B	Contraste de Hipótesis	
		Chi-cuadrado de Wald*	Sig.
(Intersección)	179.980	1 592.834	0.000
Lat_025G	-0.086	1 490.214	0.000
Lon_025G	-0.045	708.712	0.000
Year	-0.103	232.617	0.000
Month	0.060	232.294	0.000
O ₂	-61.299	157.271	0.000
NO ₃	0.042	116.439	0.000
ppn	-0.002	8.989	0.003

altamente significativas ($P < 0.01$), y que el esfuerzo pesquero varía mayormente en relación con la ubicación geográfica (lat*long), seguida por el año y el mes. En tercer lugar, las variaciones son definidas por oxígeno, nitratos y producción primaria, en ese orden (Tabla 5).

Índice de Variables Ambientales (IVA):

El IVA fue definido en su mayoría por el oxígeno y los nitratos, con ambas variables representadas de forma inversamente proporcional (Tabla 3). Los IVA mayores fueron determinados por concentraciones de oxígeno altas y se distribuyeron hacia el sur de la ZEE y en parte del Domo Térmico. Los IVA menores fueron determinados por concentraciones de nitratos altas y se ubicaron desde el centro hacia la costa (Fig. 2).

DISCUSIÓN

Los resultados de este trabajo, basados en el cálculo de un Índice de Esfuerzo Pesquero (IEP), evidencian actividad pesquera por parte de cuatro flotas de bandera extranjera, tres de las cuales no son permitidas por el ordenamiento pesquero nacional (arrastre, palangre y caña y línea). Además, revelan una amplia cobertura del alto IEP mayormente por dos de

esas flotas (cerco y palangre), a lo largo del año, dentro de la Zona Económica Exclusiva del Pacífico costarricense (ZEE). Las operaciones por ambas flotas traslapan sectores del Área Marina de Manejo Montes Submarinos y del Domo Térmico.

A lo largo de la zona costera, la ocurrencia de alto IEP por flotas de arrastre, cerco y caña y línea, en épocas del año específicas, indica uso de un espacio asignado exclusivamente para las flotas nacionales Artesanal, de Mediana Escala y Avanzada, Turística y Deportiva y Semi-Industrial (Zona I, definida por el Decreto 38681 MAG-MINAE), y revela irrespeto por la Zona II, declarada de no pesca, como área de amortiguamiento.

Por su parte, la cobertura de alto IEP dentro del domo y las Áreas Marinas oceánicas de la Isla del Coco y Montes Submarinos por flotas de cerco y palangre de bandera extranjera, sugiere presión sobre los recursos marinos, en general, y sobre recursos de valor pesquero, en particular, en esas zonas. Cubero-Pardo et al. (2021) revelaron una alta captura de atún aleta amarilla presumible, en su mayoría, inmaduro, así como de delfines, mantas y rayas dentro del Domo Térmico por parte de flotas de cerco extranjeras entre 2002 y 2011. En el caso de las dos Áreas Marinas Protegidas (AMP) oceánicas, dicha presión puede afectar especialmente a los elasmobranchios debido a su abundante presencia, pero con poblaciones en declive y altamente susceptibles a ambas artes de pesca (Dapp et al., 2013; Forget et al., 2021).

La alta importancia ecológica y económica del domo (Fiedler, 2002; Ross Salazar et al., 2019), y la relevancia de las dos AMP como parte de un corredor biológico natural que conecta con otras áreas protegidas en el Pacífico Tropical Oriental (<http://cmarpacifico.org/>), hacen estas tres áreas sumamente susceptibles a la presión pesquera sin control ni manejo. Especies como la ballena azul (*Balaenoptera musculus*), el calamar de Humboldt (*Dosidicus gigas*), el pez vela (*Istiophorus platypterus*), la tortuga baula (*Dermochelys coriacea*) y el tiburón sedoso (*Carcharhinus falciformis*), habitan el domo, las AMP o ambos, con *D. coriacea* y

C. falciformis en estado vulnerable de conservación y *B. musculus* en peligro de extinción (Chávez et al., 2020; Ross Salazar et al., 2019; <https://www.iucnredlist.org/>).

Un alto IEP por parte de las flotas de cerco y palangre extranjeras, se da también en la Zona III, exclusiva para pesca comercial Avanzada nacional y la Zona IV, identificada como área de reclutamiento de atún y especies afines, y dirigida al aprovechamiento sostenible de los recursos pesqueros, por el ordenamiento pesquero nacional vigente (Decreto 38681 MAG-MINAE, La Gaceta No. 213, 09 de octubre 2014).

Específicamente, el alto IEP por flota de palangre extranjera dentro de la Zona V de dicho ordenamiento, indica irrespeto de un área asignada específicamente para la flota Avanzada nacional y para la flota de cerco extranjera, en este último caso, solo para pesca de atún bajo determinadas condiciones. Es sabido que, en general, el traslape de la operación por parte de flotas pesqueras en el espacio marino lleva a competencia por los recursos con consecuente presión sostenida sobre los mismos y sobre el ecosistema (Jentoft & Knol, 2014).

Respecto al orden de significancia de las variables según el modelo de regresión lineal aplicado a resolución espacial de 0.25 grados, el valor de Wald indica que los componentes geográficos (en particular la latitud) son muy relevantes a la hora de modelar el esfuerzo pesquero, lo cual significa que el esfuerzo se asocia mayormente a determinadas zonas (Tabla 4). El mapeo del IEP a dicha escala reveló diferencias en su distribución determinadas por el tamaño de las embarcaciones, con predominancia de aquellas de menor tamaño en el centro y sur y de mayor tamaño en el norte (Fig. 2).

Breen et al. (2014) indican que, conforme aumenta el tamaño de la embarcación, la actividad pesquera se torna más ampliamente dispersa. En efecto, los resultados muestran que embarcaciones de bandera extranjera de mayores dimensiones logran adentrarse más en la ZEE de Costa Rica hacia la costa, desde aguas internacionales. La distribución del alto IEP a resolución espacial de 0.10 grados, entre

flotas y por época del año, reveló que la flota de palangre, de pequeño tamaño relativo a lo largo de todo el año, utilizó especialmente la zona central y sur de la ZEE, y que la flota de cerco, con embarcaciones más grandes durante la mayor parte del año, fue la única con altos valores de IEP más cerca de la costa.

El año, como segunda variable de importancia en el modelo de regresión, sugiere variación interanual de IEP, aunque este estudio no ahonda a ese nivel. La variación mensual podría explicarse desde el punto de vista de la estacionalidad (Guiet et al., 2019), y podría reflejar fenómenos como el afloramiento de Papagayo (Rixen et al., 2012) o el Domo Térmico (Fiedler, 2002), con alteraciones en la dinámica ecosistémica entre épocas del año, y consecuente incidencia en la pesca (Eisele et al., 2021; Jiménez, 2017).

Por su parte, la importancia de la concentración del oxígeno y nitrato en relación con el IEP, entre las tres variables ambientales incluidas en el modelo de regresión, puede reflejar asociación entre la eficacia de ese esfuerzo y los niveles de esas variables en el agua. Se ha encontrado correlación entre la concentración/saturación de oxígeno en la superficie y la profundidad de la oxiclina con la distribución y abundancia de peces (Bertrand et al., 2011) y, más específicamente, una fuerte correlación positiva entre las capturas de atún aleta amarilla y la concentración de oxígeno disuelto y de nitrato en el agua (Jufaili & Piontkovski, 2019; Piontkovski & Al-Hashmi, 2018). Así mismo, ha sido encontrado que la concentración de oxígeno es un factor limitante que determina la distribución vertical del atún ojo grande y, con ello, la efectividad de la pesquería de palangre (Bigelow et al., 2002). En el Pacífico Tropical, el nitrato es un nutriente limitante, pero su climatología en esa región enriquece la capa superficial del Domo Térmico (Fiedler, 2002)

De acuerdo con los mapas del IEP y el IVA en resolución de 0.25 grados (Fig. 2), las zonas con más altas concentraciones de nitratos y más bajas concentraciones de oxígeno (según se lee de los signos opuestos de los coeficientes de la Tabla 3), ubicadas desde el



centro hacia el norte, coincidieron con predominancia de embarcaciones de mayor tamaño. Por el contrario, las zonas con menores concentraciones de nitratos y más altos niveles de oxígeno disuelto en el agua, ubicadas hacia el sur de la ZEE, coinciden con embarcaciones de menores dimensiones.

Los resultados encontrados sugieren que las embarcaciones más grandes utilizan un área aparentemente más productiva, lo cual tiene sentido debido a su distribución predominante dentro del domo térmico y la franja costera. Los fenómenos de afloramiento se asocian a mayor concentración de nutrientes en el agua, lo cual permite que funcionen como puntos calientes tróficos persistentes, vinculando la presencia de nutrientes con una gran diversidad de organismos (Santora et al., 2017). Específicamente, mayores niveles de nitratos en el agua pueden reflejar fortalecimiento de cadenas tróficas desde niveles bajos, y presencia de especies pesqueras. Para el Pacífico Nordeste subtropical, fue observado que las respuestas de crecimiento dentro de las cadenas tróficas empataron con la distribución del atún aleta amarilla y el atún ojo grande. Fue sugerido que la presencia transitoria de atún aleta amarilla en la región de la Corriente Norecuatorial puede ser debida a eventos temporales de suplemento de nutrientes, incluyendo nitratos, que moldean el crecimiento de diatomeas a gran escala, ubicadas niveles bajos de las cadenas tróficas (Browning et al., 2021).

El alto IEP por embarcaciones más pequeñas hacia el sur de la ZEE puede ser debido a su menor autonomía para navegar, por lo que no faenan más allá del centro. Dependiendo de la especie o especies objetivo, todo lo anterior no significa, necesariamente, que las embarcaciones más grandes (i.e. con red de cerco) utilizaron los mejores focos de captura dentro de la ZEE del Pacífico de Costa Rica. Entre 2002 a 2011, por ejemplo, las más altas capturas por unidad de esfuerzo de atún aleta amarilla presumiblemente inmaduro en su mayoría, fueron extraídas, precisamente, en el área con alto IEP aquí revelada, por embarcaciones más grandes. Por el contrario, en esa década, la captura por

unidad de esfuerzo de atún aleta amarilla de tamaño grande y sexualmente maduro ocurrió desde el centro y hacia el sureste de la ZEE (Cubero-Pardo et al. 2021).

El traslape entre las cuatro flotas extranjeras analizadas, con las Zonas I, III, IV y V del ordenamiento pesquero del Pacífico de Costa Rica, sugiere conflicto en el uso del espacio marino con todas las flotas nacionales, en tanto la evidencia de operación de esas flotas extranjeras dentro de la Zona II de dicho ordenamiento y las dos áreas protegidas oceánicas, implica irrespeto a zonas patrimoniales declaradas para proteger los recursos marinos o manejar su aprovechamiento. La operación extranjera con alto esfuerzo pesquero dentro del Domo Térmico pone en riesgo la sustentabilidad de la pesquería de atún aleta amarilla debido a su importancia como criadero, tal y como sugieren Cubero-Pardo et al. (2021).

Alvarado et al. (2012) indican que entre las principales amenazas que enfrentan las AMP en Costa Rica, se encuentran la falta de coordinación institucional y la falta de recursos económicos para realizar patrullajes. Es necesaria dicha coordinación entre los entes estatales con competencias en las dos AMP oceánicas y en la actividad pesquera, para implementar acciones que aseguren el respeto a los objetivos de esas AMP (Chávez Carrillo et al., 2019).

Así mismo, Costa Rica debe considerar la implementación de iniciativas de gestión pesquera basadas en evidencia científica, las cuales involucren a los sectores nacionales en estrategias eficaces de monitoreo, a fin de dar prioridad a sus operaciones de manera sustentable y controlar o eliminar las faenas por flotas extranjeras (Carrillo et al., 2019).

Declaración de ética: los autores declaran que todos están de acuerdo con esta publicación y que han hecho aportes que justifican su autoría; que no hay conflicto de interés de ningún tipo; y que han cumplido con todos los requisitos y procedimientos éticos y legales pertinentes. Todas las fuentes de financiamiento se detallan plena y claramente en la sección de agradecimientos. El respectivo documento

legal firmado se encuentra en los archivos de la revista.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha contado con el apoyo del Laboratorio PRIAS, en el Centro Nacional de Alta Tecnología, y el Consejo Nacional de Rectores, en términos de espacio de trabajo, logística y acceso a software para análisis espaciales.

REFERENCIAS

- Afonso-Dias, M., Simões, J., & Pinto, C. (2004). A dedicated GIS to estimate and map fishing effort and landings for the Portuguese crustacean trawl fleet. *GIS/ Spatial Analyses in Fishery and Aquatic Sciences*, 2, 323–340.
- Alvarado, J. J., Cortés, J., Esquivel, M. F., & Salas, E. (2012). Costa Rica's marine protected areas: status and perspectives. *Revista de Biología Tropical*, 60(1), 129–142.
- Arias, A., Pressey, R. L., Jones, R. E., Álvarez-Romero, J. G., & Cinner, J. E. (2016). Optimizing enforcement and compliance in offshore marine protected areas: a case study from Cocos Island, Costa Rica. *Oryx*, 50(1), 18–26.
- Bertrand, A., Chaigneau, A., Peraltila, S., Ledesma, J., Graco, M., Monetti, F., & Chavez, F. P. (2011). Oxygen: a fundamental property regulating pelagic ecosystem structure in the coastal southeastern tropical Pacific. *PLOS ONE*, 6(12), e29558. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029558>
- Bigelow, K. A., Hampton, J., & Miyabe, N. (2002). Application of a habitat based model to estimate effective longline fishing effort and relative abundance of Pacific bigeye tuna (*Thunnus obesus*). *Fisheries Oceanography*, 11(3), 143–155.
- Breen, P., Vanstaen, K., & Clark, R. W. (2014). Mapping inshore fishing activity using aerial, land, and vessel-based sighting information. *ICES Journal of Marine Science*, 72(2), 467479.
- Browning, T. J., Liu, X., Zhang, R., Wen, Z., Liu, J., Zhou, Y., Xu, F., Cai, Y., Zhou, K., Cao, Z., Zhu, D., Achterberg, E. P., & Dai, M. (2021). Nutrient co-limitation in the subtropical Northwest Pacific. *Limnology and Oceanography Letters*, 7(1), 52–61.
- Carrillo, I. C., Partelow, S., Madrigal-Ballesteros, R., Schlüter, A., & Gutierrez-Montes, I. (2019). Do responsible fishing areas work? Comparing collective action challenges in three small-scale fisheries in Costa Rica. *International Journal of the Commons*, 13(1), 705–746. <http://doi.org/10.18352/ijc.923>
- Chávez, E. J., Arauz, R., Hearn, A., Nalesso, E., & Steiner, T. (2020). Asociación de tiburones con el Monte Submarino Las Gemelas y primera evidencia de conectividad con la Isla del Coco, Pacífico de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 68(1), 320–329.
- Chávez Carrillo, I. I., Partelow, S., Madrigal-Ballesteros, R., Schlüter, A., & Gutierrez-Montes, I. (2019). Do responsible fishing areas work? Comparing collective action challenges in three small-scale fisheries in Costa Rica. *International Journal of the Commons*, 13(1), 705–746.
- Cubero-Pardo, P., Chavarría-Chaves, J. B., & Romero-Chaves, R. (2021). Distribución espacial y variables explicativas de capturas de *Thunnus albacares* (Perciformes: Scombridae) y especies no objetivo por la flota internacional de cerco en el Pacífico de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 69(1), 245–261.
- Cushing, D. H. (1975). *Marine Ecology and Fisheries*. Cambridge University Press.
- Dapp, D., Arauz, R., Spotila, J. R., & O'Connor, M. P. (2013). Impact of Costa Rican longline fishery on its bycatch of sharks, stingrays, bony fish, and olive ridley turtles (*Lepidochelys olivacea*). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 448, 228–239.
- Eisele, M. H., Madrigal-Mora, S., & Espinoza, M. (2021). Drivers of reef fish assemblages in an upwelling region from the Eastern Tropical Pacific Ocean. *Journal of Fish Biology*, 98(4), 1074–1090.
- Fiedler, P. C. (2002). The annual cycle and biological effects of the Costa Rica Dome. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 49(2), 321–338.
- Forget, F., Muir, J., Hutchinson, M., Itano, D., Sancristobal, I., Leroy, B., Filmlalter, J., Martinez, U., Holland, K., Restrepo, V., & Dagorn, L. (2021). Quantifying the accuracy of shark bycatch estimations in tuna purse seine fisheries. *Ocean & Coastal Management*, 210, 105637.
- Getis, A., & Ord, J. K. (1992). The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics. *Geographical Analysis*, 24, 189–206.
- Guiet, J., Galbraith, E., Kroodsmas, D., & Worm, B. (2019). Seasonal variability in global industrial fishing effort. *PLOS ONE*, 14(5), e0216819. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216819>
- IBM Corp. (2020). *IBM SPSS Statistics for Windows*. <https://hadoop.apache.org>
- Jentoft, S., & Knol, M. (2014). Marine spatial planning: risk or opportunity for fisheries in the North Sea? *Maritime Studies*, 12(1), 1–16.



- Jiménez, J. A. (2017). *The Thermal Dome of Costa Rica: An oasis of productivity at the Pacific Coast of Central America*. Fundación MarViva.
- Jufaili, S. A. I., & Piontkovski, S. A. (2019). Seasonal and Interannual Variations of Yellowfin Tuna Catches along the Omani Shelf. *International Journal of Oceanography*, 13(2), 427–454.
- Kroodsmá, D. A., Mayorga, J., Hochberg, T., Miller, N. A., Boerder, K., Ferretti, F., Wilson, A., Bergman, B., White, T. D., Block, B. A., Woods, P., Sullivan, B., Costello, C., & Worm, B. (2018). Tracking the global footprint of fisheries. *Science*, 359, 904–908.
- Landry, M. R., De Verneil, A., Goes, J. I., & Moffett, J. W. (2016). Plankton dynamics and biogeochemical fluxes in the Costa Rica Dome: introduction to the CRD Flux and Zinc Experiments. *Journal of Plankton Research*, 38(2), 167–182.
- Le Pap, O., & Vigneau, J. (2001). The influence of vessel size and fishing strategy on the fishing effort for multispecies fisheries in northwestern France. *ICES Journal of Marine Science*, 58, 1232–1242.
- Li, A., Wang, A., Liang, S., & Zhou, W. (2006). Eco environmental vulnerability evaluation in mountainous region using remote sensing and GIS—a case study in the upper reaches of Minjiang River, China. *Ecological Modelling*, 192, 175–187.
- Manly, B. F. (1986). *Multivariate Statistical Methods: A Primer*. Chapman and Hall.
- McCluskey, S. M., & Lewison, R. L. (2008). Quantifying fishing effort: a synthesis of current methods and their applications. *Fish and Fisheries*, 9, 188–200.
- Naranjo Madrigal, H., & Salas Márquez, S. (2014). Dinámica espacio-temporal del esfuerzo en una pesquería de buceo artesanal multiespecífica y sus efectos en la variabilidad de las capturas: Implicaciones para el manejo sostenible. *Revista de Biología Tropical*, 62(4), 1565–1586.
- Natale, F., Gibin, M., Alessandrini, A., Vespe, M., & Paulrud, A. (2015). Mapping Fishing Effort through AIS Data. *PLOS ONE*, 10(6), e0130746.
- Nishida, T., & Itoh, K. (1999). GIS in Fisheries Resources Research: Current Situation and Prospects. En M. Kokubun, S. Ushida, & K. Tsurumi (Eds.), *The 6th JIRCAS International Symposium: GIS Applications for Agro-Environmental Issues in Developing Regions* (pp. 7–8). JIRCAS.
- Ord, J. K., & Getis, A. (1995). Local spatial autocorrelation statistics: distributional issues and an application. *Geographical Analysis*, 27, 286–306.
- Piontkovski, S. A., & Al-Hashmi, K. A. (2018). Mesoscale Eddies and Yellowfin Tuna Catches in the Western Arabian Sea. *International Journal of Ecology and Environmental Sciences*, 44(3), 239–250.
- Rixen, T., Jiménez, C., & Cortés, J. (2012). Impact of upwelling events on the sea water carbonate chemistry and dissolved oxygen concentration in the Gulf of Papagayo (Culebra Bay), Costa Rica: Implications for coral reefs. *Revista de Biología Tropical*, 60(2), 187–195.
- Ross Salazar, E., Jiménez Ramón, J. A., Castro Campos, M., & Blanco Bolaños, M. (2019). *Atlas Domo Térmico de Costa Rica*. Fundación MarViva.
- RStudio Team. (2016). *RStudio*. <http://www.rstudio.com/>
- Santora, J. A., Sydeman, W. J., Schroeder, I. D., Field, J. C., Miller, R. R., & Wells, B. K. (2017). Persistence of trophic hotspots and relation to human impacts within an upwelling marine ecosystem. *Ecological Applications*, 27(2), 560–574.
- Silva Aristeguieta, J. L., del Valle Jiménez Otamendi, Y., & Arocha Prieti, F. J. (2010). Sistema de información geográfica para el análisis espacial de la pesquería artesanal asentada en la Península de Araya, estado Sucre – Venezuela. *Revista Geográfica de América Central*, 45, 149–174.
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación. (2013). *Plan de Manejo del Área Marina de Manejo de Montes Submarinos (AMM MS), Costa Rica. Área de Conservación Marina Isla del Coco (ACMIC)*. SINAC.
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación. (2016). *Propuesta de actualización del Plan General de Manejo del Parque Nacional Isla del Coco 2017-2026*. SINAC.
- Torres Palenzuela, J. M., Martínez Iglesias, G., & González Vilas, L. (2004). Pelagic fisheries study using GIS and Remote sensing imagery in Galicia (Spain). *ICES CM*, 5, 44.