SUPLEMENTO

REVISTA DE Biología Tropical

https://doi.org/10.15517/36ktrk87

Abundancia de peces picudos y sábalo real a lo largo de tres décadas en Costa Rica

Johel Chaves-Campos[1]*; https://orcid.org/0000-0001-8026-7626

1. Federación Costarricense de Pesca Turística, FECOP, Oficentro Ejecutivo, La Sabana, San José, Costa Rica; jchaves@fecop.org (*Correspondencia)

Received 03-X-2025. Corrected 03-XII-2025. Accepted 27-V-2026.

ABSTRACT
Abundance of Billfishes and Tarpon Over Three Decades in Costa Rica

Introduction: In Costa Rica, recreational fisheries for tarpon (*Megalops atlanticus*) in the Caribbean and for marlins (*Istiompax indica, Kajikia audax, Makaira nigricans*) and sailfish (*Istiophorus platypterus*) in the Pacific are an important source of foreign income and employment for coastal communities. However, the populations of these species have not been assessed at either the national or regional level, limiting the development of effective management and conservation strategies.
Methods: In this study, I analyzed temporal trends in standardized catch per unit effort (CPUE) for marlins, sailfish, and tarpon using fishing-tournament data from the Costa Rican Amateur Fishing Club covering 1990 to 2025.
Results: In the Pacific, CPUE for sailfish and marlins fluctuated only moderately between 1990 and 2023, averaging 4–7 sailfish releases and one marlin release per boat per day. However, beginning in 2024, sailfish CPUE increased sharply to 10–12 sailfish per boat per day, while the marlin CPUE rose to 1.3 marlins per boat per day (equivalent to four marlins in three days) between 2021 and 2024. In the Caribbean, tarpon CPUE exhibited pronounced fluctuations following a 8–12-year cycle. The most recent decline reduced catches from 5–8 tarpon per boat per day in 2014–2017 to only one tarpon per boat per day between 2021 and 2024.
Conclusions: Recent increases in sailfish and marlin catches may be related to sea-temperature patterns and mixed-layer depth associated with El Niño, the expansion of allowable fishing range in tournaments starting in 2021 (from 50 to 70 nautical miles), and the use of state-of-the-art radar systems. For tarpon, the period of fluctuations coincides with the species' time to reach sexual maturity, suggesting population collapses triggered by sudden, intense local factors, followed by recovery periods when conditions improve (storage effect). I recommend incorporating distance traveled and the type of sonar used into future CPUE standardizations for billfishes based on recreational fishing data.

Key words: storage effect, habitat compression, mixed layer, El Niño, billfishes, tarpon.

RESUMEN

Introducción: En Costa Rica la pesca recreativa de sábalo real (*Megalops atlanticus*) en el Caribe y de marlines (*Istiompax indica*, *Kajikia audax*, *Makaira nigricans*) y pez vela (*Istiophorus platypterus*) en el Pacífico es una fuente significativa de divisas y empleo para las comunidades costeras. Sin embargo, las poblaciones de estas especies no han sido evaluadas a nivel nacional o regional, lo cual limita el desarrollo de estrategias efectivos de manejo y conservación.

Métodos: En este estudio analicé tendencias temporales de captura por unidad de esfuerzo (CPUE) estandarizado para marlines, pez vela y sábalo utilizando los datos de los torneos de pesca en Costa Rica del Club Amateur de Pesca entre 1990 y 2025.
Resultados: En el Pacífico, la CPUE de pez vela y marlines ha fluctuado solamente en forma moderada entre 1990 y 2023, con 4-7 liberaciones de pez vela y una liberación de marlín por bote por día. Sin embargo, empezando en el 2024, la CPUE aumentó significativamente a 10-12 peces vela por bote por día mientras que la CPUE de los marlines aumentó a 1.3 por bote por día (equivalente a cuatro marlines en tres días) entre 2021 y 2024. En el Caribe, la CPUE de sábalo mostró fluctuaciones pronunciadas siguiendo un ciclo de 8-12 años. En la disminución más reciente bajaron las capturas de 5-8 sábalos por bote por día en 2014-2017 a únicamente un sábalo por bote por día entre el 2021 y 2024.
Conclusiones: Los aumentos recientes en capturas de pez vela y marlines podrían estar relacionados con la temperatura del agua y la profundidad de la capa de mezcla asociados al fenómeno de El Niño, con el aumento en la distancia de pesca permitida en los torneos a partir de 2021 (pasó de 50 a 70 millas náuticas) y con el uso de radares de última generación. En el caso del sábalo, el período de fluctuaciones coincide con el tiempo que esta especie tarda en madurar sexualmente, lo cual sugiere colapsos de la población causados por factores locales súbitos e intensos, seguidos por períodos de recuperación de la población cuando las condiciones mejoran (efecto de almacenamiento). Recomiendo considerar incluir distancias cubiertas y tipo de sonar utilizado en futuras estandarizaciones de CPUE de picudos hechas con datos de pesca recreativa.

Palabras clave: efecto de almacenamiento, compresión de hábitat, capa de mezcla, El Niño, picudos, sábalo.

INTRODUCCIÓN

La pesca recreativa se puede definir como la captura de peces con fines recreativos, turísticos o deportivos sin que el fin principal de la captura sea la comercialización de la misma, y sin que la captura provea la fuente nutricional primaria del pescador (Soldo, 2022). Esta definición puede variar entre países. En Costa Rica la pesca recreativa se separa oficialmente en pesca deportiva y pesca turística. La única diferencia entre ambas que la primera es sin fines de lucro y con propósito de deporte, distracción, placer, recreo, turismo o pasatiempo, mientras que la segunda implica un servicio turístico remunerado permanente (Asamblea Legislativa, 2005).

La pesca recreativa es una actividad de importancia socioeconómica pero su contribución al manejo pesquero es muy pobre debido a la escasez de datos (Freire, et al., 2020; Tate, et al., 2020). Muy pocos países recolectan datos sobre pesquerías recreativas, y los pocos que lo hacen por lo general no los incluyen en las estadísticas nacionales formales que reportan internacionalmente (Freire, et al., 2020). El manejo pesquero sostenible se basa en evaluaciones de la existencia de las poblaciones explotadas ("stocks") para optimizar la captura mientras se mantiene la capacidad reproductiva a un nivel seguro (Nadon et al., 2015; FAO, 2021). Recolectar datos en las pesquerías recreativas puede ayudar a mejorar la evaluación de stocks, pues el impacto de estas pesquerías en las poblaciones de peces puede ser muy significativa cuando se sacrifican los peces para consumo (Freire et al., 2020). Los datos de tasas de captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de pesca recreativa pueden ser utilizados como indicadores de la abundancia del stock (Maunder & Punt, 2004; National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2017; Tate, et al., 2020). Los datos de CPUE se deben estandarizar por el efecto de diferentes variables que afectan las pesquerías, como por ejemplo la estacionalidad, para poder compararlos entre estudios (Maunder & Punt 2004; Hoyle, et al., 2024).

Al igual que en otras partes del mundo, en Costa Rica la pesca turística y deportiva es una fuente significativa de divisas y empleo para las comunidades costeras (Chacón-Cascante & Marín-Sandoval, 2019; Chaves-Campos, et al., 2025). Más de 1 000 embarcaciones estaban oficialmente registradas para hacer pesca turística o deportiva en el país a abril de 2025, según los registros del (Instituto Costarricense de Pesca y

Acuicultura, 2025). Esto refleja la importancia de la pesca recreativa en el país. Las especies de mayor importancia para la pesca recreativa en el país son los picudos, particularmente pez vela (*Istiophorus platypterus*) y marlines (*Istiompax indica, Kajikia audax* y *Makaira nigricans*) en el Océano Pacífico (Chaves-Campos et al., 2025), y el sábalo real (*Megalops atlanticus*) en el Mar Caribe (Wade & Robins 1973, Chacón-Chaverri 1993). Los stocks de estas especies no han sido evaluados en el país ni en la región (Luo et al., 2020, Chaves-Campos et al., 2025). Tampoco existen muchos estudios de variación temporal en la CPUE para estas especies (Chacón Chaverri 1996, Chaves-Campos et al., 2025). Esta carencia limita las estrategias de manejo y conservación que se podrían implementar para mantener sus poblaciones en niveles óptimos para la pesca recreativa y en general.

Estudios con datos de pesca recreativa para Costa Rica y la región centroamericana han reportado relativamente estable CPUE para marlines, pero CPUE decreciente para pez vela en el Pacífico (Haulsee, et al., 2022, Marrari, et al., 2023; Chaves-Campos et al., 2025; Ehrhardt et al., 2025). No hay estudios equivalentes para el sábalo. Los estudios con picudos identificaron varias variables oceanográficas y pesqueras que pueden explicar las variaciones temporales en CPUE. Entre las variables más importantes están el Índice Multivariado de Oscilación del Sur de El Niño (IOSEN), temperatura superficial del mar (TSM), profundidad de la capa mixta (PCM) como un índice de disponibilidad o compresión de hábitat, y la intensidad de pesca incidental comercial (Ehrhardt & Fitchett, 2006; Haulsee, et al., 2022; Marrari, et al., 2023; Chaves-Campos, et al., 2025; Ehrhardt, et al., 2025).

Los estudios arriba mencionados incluyen datos hasta el año 2023. En 2024 y 2025 el Club Amateur de Pesca de Costa Rica (CAP) reportó capturas inusualmente altas para sus torneos de picudos e inusualmente bajas para sus torneos de sábalo (Club Amateur de Pesca, 2025a). Esto sugiere posibles cambios en las variables que se han reportado como importantes para entender las variaciones en el CPUE de estas especies, o la existencia de otras variables hasta ahora no contempladas. El CAP es el club de pesca desde embarcación más antiguo del país y el único que posee los registros históricos necesarios para analizar variaciones de largo plazo en la CPUE en especies marinas de importancia para la pesca recreativa (Ehrhardt et al., 2025). Aparte de este club, los datos de pesquerías recreativas para la región se limitan a datos de oportunidad proveídos por operadores y pescadores privados (Ehrhardt et al., 2025), los cuales usualmente operan a no más de 25 millas náuticas desde la costa Pacífica (Haulsee et al., 2022, Marrari et al., 2023), mientras que los torneos del CAP abarcan 50 o más millas náuticas. Este tipo de datos han sido utilizado en análisis anteriores (Ehrhardt & Fitchett 2006, Haulsee et al., 2022, Marrari et al., 2023, Chaves-Campos et al., 2025, Ehrhardt et al., 2025) pero no ofrecen la cobertura temporal, espacial o el nivel de estandarización que ofrecen los datos del CAP. Además, el CAP es la única fuente de datos de largo plazo para sábalo. Las variaciones temporales en la CPUE de pez vela del CAP se correlacionan bien con las variaciones temporales en la CPUE de pez vela de los clubes de pesca de Guatemala (Ehrhardt et al., 2025). Esto sugiere que los datos del CAP son razonablemente representativos para la región, al menos para pez vela.

En este estudio se describen y analizan las tendencias temporales de capturas para pez vela, marlines y sábalo, utilizando datos de los torneos de pesca del CAP hasta el año 2025 (Tabla 1, Tabla 2). El objetivo principal del estudio fue describir las tendencias temporales recientes en la CPUE estandarizada de pez vela, marlines y sábalo en Costa Rica y explorar posibles factores que puedan explicar dichas tendencias. Los factores considerados fueron: el IOSEN, la TSM, y la PCM. El efecto de la pesca incidental comercial en años recientes no se pudo evaluar porque las estadísticas pesqueras proporcionadas por el INCOPESCA al momento de la elaboración de este artículo abarcan hasta el 2023 (Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura, 2025). Se espera que esta información pueda contribuir al

Revista de Biología Tropical, ISSN: 2215-2075 Vol. 74 (S2): e202511272, mayo 2026 (Publicado Ago. 04, 2026)

entendimiento del estado de las poblaciones de especies clave para la pesca turística y deportiva en el país, y a la sostenibilidad a largo plazo del recurso pesquero.

MÉTODOS

El CAP fue fundado el 11 de junio de 1946 con el fin de organizar torneos a nivel nacional e internacional y para fomentar la conservación de especies de interés para la pesca deportiva en agua dulce y salada (Club Amateur de Pesca, 2025b). El CAP está afiliado a la International Game Fish Association desde 1949 y a la International Light Tackle Association desde 1970, y desde sus inicios lleva a cabo múltiples torneos anuales con los estándares de estas organizaciones. Además, el CAP cuenta con datos de las liberaciones y esfuerzo de pesca desde 1990, año en que los torneos pasaron a ser 100% de captura y liberación. Desde 1994 solamente se permite el uso de anzuelo circular en los torneos cuando se pesca con carnada (G. Mora, comunicación personal, 10 de noviembre de 2025). Los peces se liberan sin ser sacados del agua, por lo que no son medidos ni pesados. Esta práctica se hace para minimizar el contacto con el pez y maximizar su sobrevivencia después de la liberación.

El club organiza tres o cuatro torneos anuales de marlines y pez vela entre los meses de enero y setiembre; la mayoría han ocurrido entre enero y julio. Estos torneos abarcan 50 millas náuticas desde la costa en el Pacífico central, pues los participantes salen principalmente de la marina Los Sueños en Herradura o de la marina Pez Vela en Quepos en botes pertenecientes a los socios del club. En 2021 se ampliaron los límites a 70 millas náuticas desde la costa (G. Mora, comunicación personal, 10 de noviembre de 2025; Fig. 1). La participación promedio por torneo ha sido de 10 botes (desviación estándar, D.E. = 6; rango de 3 a 41). La cantidad máxima permitida de pescadores por

Fig. 1. Área marina aproximada cubierta durante los torneos del Club Amateur de Pesca de Costa Rica en el Océano Pacífico (50 millas náuticas desde el sitio de salida, ampliado a 70 millas náuticas en el 2021) y en el Mar Caribe (10 millas náuticas del sitio de salida). Los sitios de salida usuales en la costa Pacífica son Herradura y Quepos, mientras que los sitios de salida usuales en el Caribe son Barra del Colorado y Tortuguero. / **Fig. 1.** Approximate marine area covered during tournaments organized by the Club Amateur de Pesca de Costa Rica in the Pacific Ocean (50 nautical miles from the departure site, expanded to 70 nautical miles in 2021) and the Caribbean Sea (10 nautical miles from the departure site). Usual departure sites on the Pacific coast were Herradura and Quepos, whereas usual departure sites in the Caribbean were Barra del Colorado and Tortuguero.

bote es cuatro personas. La participación promedio de pescadores por torneo ha sido de 35 (D.E. = 17; rango de 13 a 121).

El club también organiza tres torneos anuales de sábalo en el Caribe norte de Costa Rica, en los meses de mayo, septiembre y octubre, en botes locales alquilados. Los torneos de sábalo abarcan 10 millas náuticas desde la costa, saliendo desde Tortuguero o Barra del Colorado. La participación promedio por torneo de sábalo ha sido de ocho botes (D.E. = 3; rango de 2 a 17) y de 24 pescadores (D.E. = 8; rango de 6 a 51).

Los torneos son estándar con respecto al número de horas pescadas por día, cantidad de pescadores por bote, y cantidad de días pescados. En los torneos de picudos se pesca ocho horas por día por dos o tres días, mientras que en los torneos de sábalo se pesca dos medios días (uno de cinco horas y otro de seis horas) y un día completo (11 horas), para un total de dos días completos de 11 horas cada uno.

Se utilizaron todos los datos de torneos registrados desde enero de 1990 a mayo de 2025 en este análisis (Tabla 1, Tabla 2). La base de datos incluye la cantidad de pescadores y botes que participaron en cada torneo, la cantidad de horas y días de pesca, así como la cantidad de individuos liberados por especie.

Análisis Estadístico

Para cada especie, la CPUE se calculó de la siguiente forma por torneo: número liberaciones/número de botes/número de días completos de pesca (peces/bote/día). Este cálculo no requiere el número de horas pescadas, ya estas son estándar por día (ver arriba). En los torneos del CAP se capturan marlin azul (*M. nigricans*), rayado (*K. audax*) y negro (*I. indica*); sin embargo, las capturas se registran simplemente como "marlín" sin distinción de especie. Por esta razón, los datos de los marlines se analizaron como un solo grupo de especies.

Antes del 2025, la participación en los torneos abarcaba todos los días del evento; por esto, el CAP reportaba por torneo la cantidad de pescadores, botes, días de torneo y liberaciones de marlin y pez vela (G. Mora, comunicación personal, 10 de noviembre de 2025). A partir de 2025, la participación puede realizarse por día dentro de las fechas habilitadas, por lo que el CAP empezó a reportar los datos de forma diaria (G. Mora, comunicación personal, 10 de noviembre de 2025). Por esta razón, para 2025 la CPUE se calculó por día y luego se obtuvo un promedio por torneo, con el fin de expresar los datos de este año de manera comparable con los de los años anteriores.

Descripción de las series de tiempo

Las series de tiempo de CPUE de picudos en la región tienden a seguir períodos cíclicos internanuales y estacionales (Ehrhardt & Fitchett, 2006; Marrari, et al., 2023; Ehrhardt, et al., 2025). Antes de estandarizar la CPUE, se modeló la serie de tiempo utilizando un modelo simple de regresión periódica de un coseno (Ehrhardt, et al., 2025), con el fin de evaluar si la variación temporal de marlines y pez vela está sincronizada o no. Determinar la existencia de sincronía entre especies puede ayudar a determinar si los patrones temporales en la CPUE responden a un mismo origen (Ehrhardt, et al., 2025). La serie de tiempo de sábalo también se modeló con regresión periódica de uno y varios cosenos, para elucidar si existen patrones cíclicos en la serie de tiempo, como en el caso de los picudos. Las regresiones periódicas se ajustaron utilizando la función nlsLM del paquete minpack.lm (Elzhov, et al., 2023) del programa R 4.4.0 (R Core Team, 2024). Todos los análisis del estudio se hicieron en esta versión de R.

Estandarización de la CPUE

La estandarización de la CPUE se utiliza para remover efectos temporales que no se deben a cambios en la abundancia, y tradicionalmente se hace mediante modelos lineales generalizados (MLG). Se pueden utilizar modelos más complejos si los datos lo permiten, como modelos aditivos generalizados (MAG) (Maunder & Punt, 2004; Hoyle, et al., 2024). Para todas las especies, la CPUE

Tabla 1
Registros anuales de los torneos de captura y liberación de pez vela y marlines llevados a cabo por el Club Amateur de Pesca de Costa Rica en la costa Pacífica entre 1990 y mayo de 2025. / **Table 1.** Annual records of catch-and-release sailfish and marlin tournaments conducted by the Club Amateur de Pesca de Costa Rica on the Pacific coast between 1990 and May 2025.

Año	Torneos	Días	Participantes	Botes	Peces Vela	Marlines
1990	1	4	75	25	259	0
1991	3	10	184	60	1 948	0
1992	3	10	150	49	515	0
1993	3	10	150	48	725	0
1994	3	10	108	34	514	7
1995	4	13	104	34	410	2
1996	3	10	95	28	314	7
1997	4	12	146	46	272	2
1998	4	12	119	37	561	10
1999	3	10	131	44	521	7
2000	4	12	165	50	597	13
2001	3	10	105	32	740	7
2002	3	10	116	35	563	7
2003	4	11	197	65	909	19
2004	4	8	91	28	309	3
2005	5	12	191	56	377	10
2006	5	12	177	52	296	5
2007	5	12	140	43	221	11
2008	3	7	111	34	184	2
2009	5	12	168	49	515	12
2010	3	6	82	24	31	13
2011	4	12	113	33	267	22
2012	5	12	145	41	266	12
2013	5	12	137	44	589	10
2014	3	6	112	34	428	2
2015	3	6	111	31	319	5
2016	4	9	129	35	690	4
2017	3	7	75	22	158	3
2018	3	9	100	26	175	2
2019	3	9	123	33	428	9
2020	2	6	29	7	43	5
2021	3	9	93	25	630	24
2022	4	10	159	45	421	22
2023	3	7	84	22	151	11
2024	3	7	55	14	259	11
2025	4	9	69	20	402	7

fue estandarizada utilizando modelos generalizados con distribuciones Gamma, Tweedie o Log-normal, que tienden a mostrar un mejor desempeño con este tipo de datos (Hoyle, et al., 2024). Se evaluó tanto MLG como MAG para fines de comparación y se incluyó como efectos fijos las únicas variables disponibles en los datos del CAP (aparte de las utilizadas para calcular la CPUE): el mes y el año. Para la selección del modelo más apropiado para explicar la serie de tiempo, especialmente los cambios más recientes, se priorizó el mejor ajuste absoluto a los datos sobre el ajuste relativo y la complejidad del modelo. Por esta razón,

Tabla 2
Registros anuales de los torneos de captura y liberación de sábalo llevados a cabo por el Club Amateur de Pesca de Costa Rica en la costa Caribe entre 1990 y hasta mayo de 2025. / **Table 2.** Annual records of catch-and-release tarpon tournaments conducted by the Club Amateur de Pesca de Costa Rica on the Caribbean coast through May 2025.

Año	Torneos	Dîas	Participantes	Botes	Sábalos
1992	1	2	27	9	10
1993	1	2	20	7	76
1994	1	2	22	7	98
1995	1	2	24	8	39
1996	1	2	26	9	17
1997	1	2	37	13	20
1998	1	2	23	8	28
1999	1	2	51	17	37
2000	2	4	67	23	36
2001	2	4	47	15	68
2002	2	4	61	21	108
2003	2	4	45	15	75
2004	2	4	58	19	91
2005	2	4	59	19	59
2006	2	4	52	17	63
2007	2	4	47	15	38
2008	2	4	47	16	43
2009	2	4	49	16	101
2010	2	4	49	16	114
2011	2	4	51	17	160
2012	2	4	56	19	157
2013	2	4	60	20	193
2014	3	6	96	32	436
2015	3	6	67	22	215
2016	4	8	94	31	396
2017	3	6	86	29	347
2018	3	6	60	21	113
2019	4	8	62	20	304
2020	1	2	7	3	34
2021	1	2	20	7	14
2022	2	4	22	8	22
2023	1	2	6	2	4
2024	1	2	13	4	10
2025	1	2	18	6	32

el modelo con la mejor distribución para cada especie se seleccionó utilizando (1) el valor R^2, (2) el mejor ajuste a las distribuciones esperadas de los residuos escalados simulados, y (3) el menor valor del Criterio de Información de Akaike (CIA), en ese orden. Los residuos escalados se simularon utilizando el paquete de R DHARMa versión 0.4.6 (Hartig & Lohse, 2022). Los modelos con distribuciones Tweedie o Gamma se ajustaron utilizando el paquete de R glmmTMB versión 1.1.9 (Brooks, et al., 2017), mientras que modelos Log-normal se ajustaron utilizando la función glm del paquete de R stats (R Core Team, 2024).

Una vez seleccionada la mejor distribución para cada especie, se evaluó si la adición al modelo de interacciones entre mes y año, o de un componente autoregresivo temporal

mejoraba el ajuste a los datos. La evaluación de ajuste se hizo utilizando los mismos tres criterios mencionados arriba (R^2, ajuste de residuos y CIA). La adición de interacciones entre año y mes no mejoró el ajuste para ninguna de las especies, y la interacción en sí no fue significativa en ninguno de los modelos. Por lo tanto, los modelos finales no incluyen esta interacción. La incorporación de un componente autoregresivo causó problemas de convergencia en los casos de sábalo y marlines, probablemente debido al tamaño de muestra relativamente bajo (Tabla 1 y Tabla 2). La cantidad de capturas de pez vela fue mucho más alta que la de sábalo o marlin (Tabla 1), por lo que si fue posible ajustar un modelo con componente autoregresivo (mes). La mejora que ofrece el modelo con componente autoregresivo es mínima (diferencia en CIA: 3.1 con respecto al modelo sin este componente); sin embargo, el ajuste de los residuos es ligeramente superior con componente autoregresivo, por lo que se optó por este último. La significancia de los términos en los modelos finales se evaluó utilizando un Análisis de Desvianza, con Suma de Cuadrados tipo II, utilizando la función Anova del paquete car (Fox, et al., 2024).

Se presenta la variación temporal en CPUE estandarizada y sin estandarizar para comparación. Contrastes independientes *post-hoc* (Lenth, et al., 2024) fueron utilizadas para evaluar la significancia de los picos de abundancia recientes en la CPUE estandarizada, al compararlos con períodos anteriores en la serie de tiempo. Los contrastes fueron calculados con valores estimados por el modelo, utilizando el paquete de R emmeans (Lenth, et al., 2024), en el que la significancia es calculada utilizando una prueba Z.

Exploración de influencia de variables ambientales

Modelé la CPUE estandarizada en función de tres variables de potencial importancia para determinar su posible influencia en los cambios recientes en la CPUE: el IOSEM, la TSM y la PCM. El IOSEM para el período 1990-2025 se obtuvo del NOAA (NOAA 2025a), al igual que la PCM para el mismo período (NOAA 2025b). La TSM se obtuvo de NASA (NASA 2025), usando los datos de MODIS AQUA, el cual no tiene datos anteriores al 2002 (NASA 2025). Por lo tanto, los datos de TSM únicamente abarcan el período 2002-2025. Los datos de las tres variables fueron promediados por año para la Zona Económica Exclusiva de Costa Rica (ZEE), separando los datos del Pacífico de los del Caribe. Los polígonos de la ZEE fueron descargados de Marine Regions (2025).

Los datos de las variables ambientales del Pacífico se utilizaron para el análisis de CPUE de picudos, mientras que los del Caribe para el análisis de CPUE de sábalo. Se utilizó MLG para cada especie, modelando valores anuales de CPUE estandarizados (valores predichos por los modelos de estandarización) en función de los valores anuales del IOSEM, la TSM y la PCM. Primero se modeló la CPUE en función de cada variable ambiental por separado, y luego en función de las tres simultáneamente, una vez descartados posibles problemas de multicolinealidad. Los modelos siguieron las distribuciones de los datos de origen: Log-normal para pez vela y gamma para marlines y para sábalo. Se evaluaron interacciones entre mes y año, y MAGs, pero ninguno mejoró el desempeño de los MLGs más simples. Por esta razón, los modelos finales corresponden a MLGs sin interacciones. La significancia de los términos en los modelos finales se evaluó utlizando un Análisis de Desvianza, con Suma de Cuadrados tipo II, utilizando la función Anova del paquete car (Fox, et al., 2024). Esto permitió evaluar la contribución de cada variable una vez que las demás ya estaban incorporadas en el modelo.

RESULTADOS

El conjunto de datos del CAP incluyó 16 007 peces vela y 286 marlines liberados en 127 torneos llevados a cabo en el Pacífico de 1990 a mayo de 2025. Estos torneos abarcaron 343 días de pesca. Un total de 1 305 botes y 4 339 personas participaron en dichos torneos (Tabla 1). Entre 1992 y mayo de 2025 se

llevaron a cabo 63 torneos de sábalo en el Caribe norte, que abarcaron 126 días de pesca. Un total de 511 botes y 1 529 personas participaron en dichos torneos, en los cuales se liberaron 3 558 sábalos (Tabla 2).

Descripción de las series de tiempo

La serie de tiempo de la CPUE para marlines y pez vela muestra periodicidad cíclica (θ significativo, Tabla 3) que se puede explicar adecuadamente con un modelo de un solo coseno (Fig. 2). Las pendientes de ambas series son positivas, sin embargo, el incremento proporcional es significativo únicamente en el caso de los marlines (Tabla 3). El período es similar para ambas especies (T: 11-12 años), sin embargo, la fase (θ) es más negativa para los marlines, indicando que las fases no están alineadas (ver Fig. 2). La amplitud de la fase (*a*) es mayor en marlines (Fig. 2). La intercepción (c) no es significativa en el caso de los marlines, indicando que la fluctuación empieza muy cerca de cero, mientras que la de los peces vela es considerablemente más alta. En general, el análisis indica que la CPUE de marlines ha empezó a mostrar oscilaciones más pronunciadas y con mayores cambios en la pendiente en los años recientes, en comparación con el pez vela. Aunque las series de ambas especies están desfasadas, casi coincidieron en 2024, año en que la CPUE fue elevada tanto para marlines como para pez vela (Fig. 2).

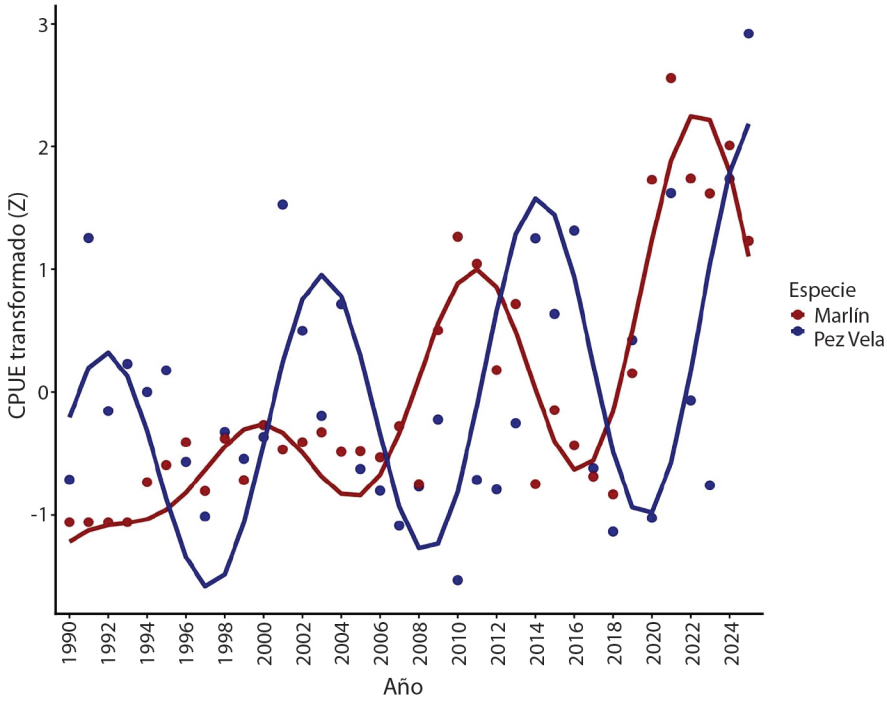

Fig. 2. Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE: peces/bote/día) transformada de picudos liberados en torneos del Club Amateur de Pesca, Costa Rica, a lo largo de tres décadas en la costa Pacífica del país. La CPUE (promedio anual) fue transformado por función Z (restando el promedio y dividiendo por la desviación estándar) para poder comparar visualmente las series, debido a diferencias grandes en escala. Las líneas muestran la trayectoria de regresiones periódicas de un coseno para ambas especies. Los puntos muestran los datos transformados. / **Fig. 2.** Transformed catch per unit effort (CPUE: fish/boat/day) of released billfish in tournaments conducted by the Club Amateur de Pesca de Costa Rica, Costa Rica, along the country's Pacific coast over three decades. CPUE (annual mean) was transformed through z function (subtracting the mean and dividing by the standard deviation) to facilitate visual comparison of the series, due to large differences in scale. Lines show periodic one cosine regression trajectories for both species. Points represent the transformed data.

Tabla 3
Parámetros estimados por regresión periódica para la serie de tiempo (1990-2025, costa del Pacífico de Costa Rica) de la Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) de vez vela y marlines con un solo coseno. Parámetros: *a* es el incremento en la amplitud, *T* es el período en años, θ es la amplutud máxima de fase, *b* y *c* son la pendiente y la intersección respectivamente. / **Table 3.** Estimated parameters from periodic regression for the time series of sailfish and marlin CPUE using a single cosine function. Parameters: *a* is the increase in amplitude, *T* is the period in years, θ is the maximum phase amplitude, and *b* and *c* are the slope and intercept, respectively.

Parametro	Pez Vela	Marlines
b	0.047 .	0.006 ***
c	3.029 ***	-0.016
a	0.375 **	0.719 ***
θ	-2.874 *	-7.607 ***
T	11.175 ***	11.647 ***

Significancia / Significance: * = p < 0.05; ** = p < 0.01; *** = p < 0.001.

La serie de tiempo para sábalo también se pudo modelar con una periodicidad cíclica de un solo coseno (Fig. 3). No obstante, existe un pico secundario de CPUE entre 2001 y 2004 que únicamente es capturado por un modelo de tres cosenos (Fig. 3). Una posible recuperación en la CPUE después del período de bajos valores entre 2021 y 2024 también es capturado únicamente por un modelo de tres cosenos. La diferencia entre ambos modelos es muy pequeña (CIA para tres cosenos 134.0 y para un coseno 134.7; 143.0 para dos cosenos para referencia). Se presentan ambos modelos porque esta es la primera vez que se describe la variación temporal cíclica en la CPUE de sábalo. El modelo de un coseno muestra un incremento temporal en una periodicidad de 12 años (Tabla 4). Por su parte, el modelo de tres cosenos descompone la tendencia general

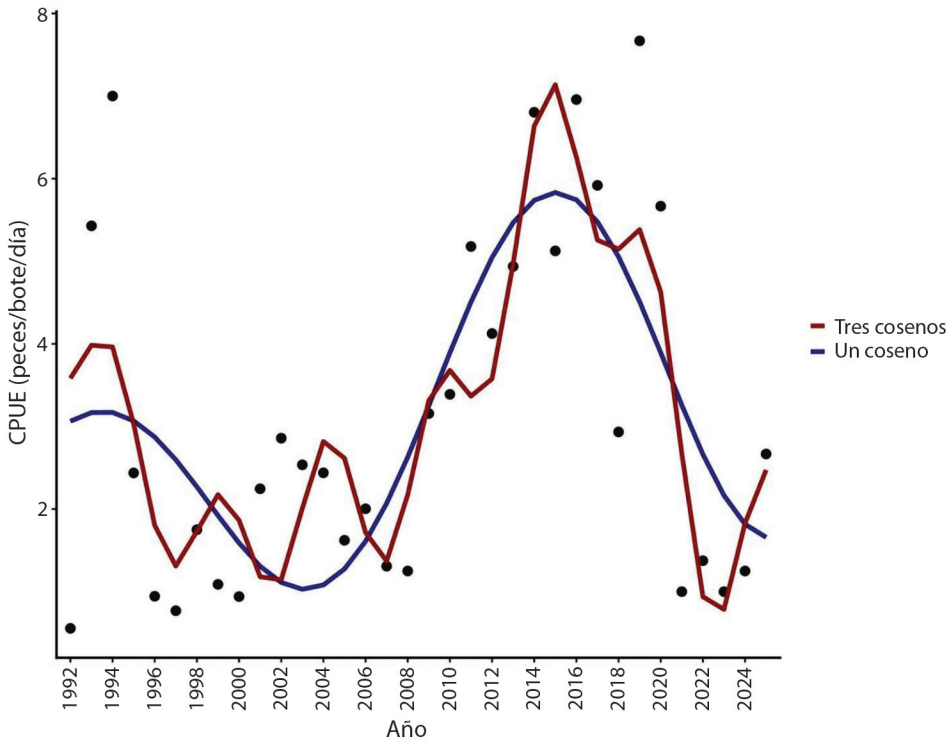

Fig. 3. Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE: peces/bote/día) de sábalos liberados en torneos del Club Amateur de Pesca, Costa Rica, a lo largo de tres décadas en la costa Caribe. La serie de promedios anuales de sábalos (puntos) fue modelada con regresiones periódicas (líneas) de uno o tres cosenos. / **Fig. 3.** Catch per unit effort (CPUE: fish/boat/day) of released tarpon in tournaments conducted by the Club Amateur de Pesca de Costa Rica along the Caribbean coast over three decades. The annual mean series of tarpon (points) was modeled using periodic regressions (lines) with one or three cosine terms.

Tabla 4

Parámetros estimados por regresión periódica para la serie de tiempo de la Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) (1992-2025; costa del Caribe de Costa Rica) de sábalo con un solo coseno y con tres cosenos. Parámetros: *a* es el incremento en la amplitud, *T* es el período en años, θ es la amplitud máxima de fase, *b* y *c* son la pendiente y la intersección respectivamente. El modelo de tres cosenos indica los tres valores respectivos para *a*, *T* y θ, y la pendiente e intersección generales. / **Table 4.** Estimated parameters from periodic regression for the tarpon Catch per Unit Effort (CPUE) (1992-2025; Caribbean coast of Costa Rica) time series using one or three cosine terms. Parameters: *a* is the increase in amplitude, *T* is the period in years, θ is the maximum phase amplitude, and *b* and *c* are the slope and intercept, respectively. The three-cosine model indicates the three respective values for *a*, *T*, and θ, as well as the overall slope and intercept.

Parametro	Un Coseno	Tres Cosenos
b	0.075 *	0.055
c	1.815 **	2.221 *
a	0.624 ***	–
θ	12.339 ***	–
a_1	–	0.574 ***
θ_1	–	11.866 ***
T1	–	23.262 ***
a_2	–	-0.270 *
θ_2	–	12.421 ***
T2	–	12.785 ***
a_3	–	0.261 *
θ_3	–	10.697 ***
T3	–	5.137 ***

Significancia / Significance: * = $p < 0.05$; ** = $p < 0.01$; *** = $p < 0.001$.

en tres ciclos distintos, que pueden cancelarse o reforzarse entre si (lo que podría explicar por qué la pendiente deja de ser significativa). El ciclo más largo es de 23 años, el intermedio de 12 años y el menor de cinco años (Tabla 4). El ciclo intermedio presenta una amplitud negativa, lo que implica que contribuye a disminuir la curva, mientras que los otros dos ciclos tienen amplitudes positivas que la elevan.

Estandarización de la CPUE

Las distribuciones que mejor se ajustaron a los datos para efectos de estandarización fueron la log-normal para pez vela y gamma para marlin y sábalo (Tabla 5). Para las tres especies, los MLGs fueron seleccionados sobre los MAGs porque explicaron una proporción mucho mayor de la variación en los datos (Tabla 5). Los modelos finales para los tres grupos de especies mostraron variaciones anuales en la CPUE, así como variaciones mensuales, excepto en el caso de los marlines (Tabla 6).

Para las capturas de marlines, los valores predichos por el modelo seleccionado tienden a ser superiores a los datos originales (Fig. 4). Para el pez vela, se observó un patrón similar entre los datos estandarizados y originales, excepto en los dos años más recientes de la serie de tiempo (Fig. 5). Por último, los valores predichos por el modelo de sábalo son similares a los datos originales (Fig. 6).

En general, la CPUE de picudos liberados en los torneos entre 1990 y 2020 ha mostrado estabilidad. La CPUE de pez vela ha fluctuado entre cuatro y siete peces vela por bote por día, mientras que la de marlines se ha mantenido alrededor de un pez por bote por día, aunque con una tendencia al alza en el caso de marlines (Fig. 4 y Fig. 5). Las fluctuaciones han sido moderadas excepto después de 2020, donde la CPUE aumentó notablemente para pez vela y para marlines. Los contrastes *post-hoc* muestran que el aumento en la CPUE de marlines durante 2021-2024 es significativamente mayor

Tabla 5

Resultados del proceso de selección de modelos para picudos (1990-2025; costa del Pacífico de Costa Rica) y sábalo (1992-2025; costa del Caribe de Costa Rica). Modelos lineales generalizados (MLG) y modelos aditivos generalizados (MAG) con tres diferentes distribuciones fueron evaluados. Los criterios de evaluación fueron: Criterio de Información de Akaike (CIA), CIC corregido (CIAc), R^2, desviaciones (Desv) de la distribución uniforme esperada para los residuos simulados y dependencia (Dep) de los residuos con respecto a las predicciones del modelo. El modelo con el mayor R^2 (primer criterio) y menor CIA (segundo criterio) que no tuviera desviaciones de la distribución esperada y/o dependencias en los residuos fue seleccionado para cada especie (marcados en negritas). Se escogió el modelo más simple cuando dos modelos fueron muy similares en R^2, CIA y distribución de residuos. / **Table 5.** Results of the model selection process for billfish (1990-2025; Pacific coast of Costa Rica) and tarpon (1992-2025; Caribbean coast of Costa Rica). Generalized linear models (MLG) and generalized additive models (MAG) with three different distributions were evaluated. Evaluation criteria included: Akaike Information Criterion (CIA), corrected CIA (CIAc), R^2, deviations (Dev) of the expected distribution from simulated residuals and/or dependence (Dep) of residuals with respect to model predictions. The model with the highest R^2 (first criterion) and lowest CIA (second criterion) that did not show deviations from the expected distribution and/or dependence in the residuals was selected for each species (highlighted in bold). The simplest model was chosen when two models were very similar in R^2, CIA, and residual distribution.

Especie	Modelo	CIA	CIAc	R^2	Desv	Dep
Pez Vela	**MLG Lognormal**	**229.2**	**277.5**	**0.49**	**No**	**No**
	MAG Lognormal	235.2	223.2	0.17	No	No
	MLG Gamma	593.2	641.5	0.50	No	No
	MAG Gamma	293.1	594.5	0.16	No	No
	MLG Tweedie	601.2	652.3	0.52	No	No
	MAG Tweedie	602	603.4	0.17	No	No
Marlines	MLG Lognormal	-198.02	-149.7	0.46	Si	Si
	MAG Lognormal	-231.9	-231.3	0.27	Si	Si
	MLG Gamma	**-174.03**	**-125.7**	**0.46**	**No**	**Si**
	MAG Gamma	-205.8	-205.1	0.26	Si	Si
	MLG Tweedie	52.83	103.9	0.42	*	*
	MAG Tweedie	17.1	17.8	0.24	No	Si
Sábalo	MLG Lognormal	112.9	236.4	0.68	No	Si
	MAG Lognormal	134.2	138.5	0.45	No	No
	MLG Gamma	**237.9**	**361.4**	**0.66**	**No**	**No**
	MAG Gamma	256.6	260.8	0.47	No	No
	MLG Tweedie	239.9	375.5	0.67	*	*
	MAG Tweedie	257	261.8	0.47	No	No

* no evaluado por problemas de convergencia del modelo. / *not evaluated due to model convergence problems.

Tabla 6

Factores y significancia de valores estimados para los modelos finales seleccionados para picudos y sábalo (1990-2025; costa del Pacífico de Costa Rica para picudos y del Caribe para sábalo). / **Table 6.** Factors and significance of estimated values for the final selected models for billfish and tarpon (1990-2025; Costa Rica's Pacific coast for billfish and Caribbean coast for tarpon).

Especie	Factor	Estimado
Pez Vela	Año	15.191 *
	Mes	6.143 **
Marlines	Año	117.310 ***
	Mes	10.030
Sábalo	Año	326.410 ***
	Mes	21.120 ***

Significancia / Significance: * = $p < 0.05$; ** = $p < 0.01$; *** = $p < 0.001$.

que en los otros dos períodos de alta CPUE observados en la serie de tiempo: 2009 a 2012, y 1994 a 1997 (Fig. 4, Tabla 7). Además, la CPUE del período 2009-2012 es superior a la de 1994-1997 (Tabla 7), mostrando un aumento en capturas en los picos a través del tiempo.

En el caso del pez vela, la alta CPUE de 2024-2025 es marginalmente no significativa en comparación con el segundo período de mayor CPUE en la serie de tiempo (2014-2015) (Fig. 5, Tabla 7). Sin embargo, el período 2024-2025 sí presenta una CPUE significantemente más alta que en los períodos 1991-1992 y 2001-2002 (Tabla 7), los cuales también fueron relativamente altos (Fig. 5). En general, la CPUE de

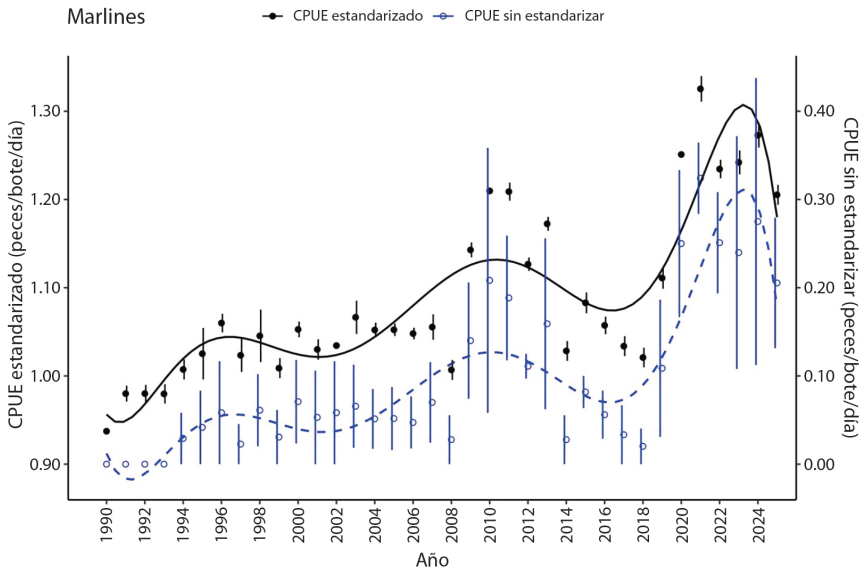

Fig. 4. Capturas por Unidad de Esfuerzo (CPUE) de marlines liberados en torneos del Club Amateur de Pesca a lo largo de tres décadas (1990-2025) en la costa Pacífica de Costa Rica. Datos estandarizados utilizando un modelo linear generalizado con distribución gamma. Promedios anuales presentados con ± un error estándar. / **Fig. 4.** Catch per unit effort (CPUE) of released marlin in tournaments conducted by the Club Amateur de Pesca de Costa Rica along the country's Pacific coast. Data standardized using a generalized linear model with a gamma distribution. Annual means are presented with ±1 standard error.

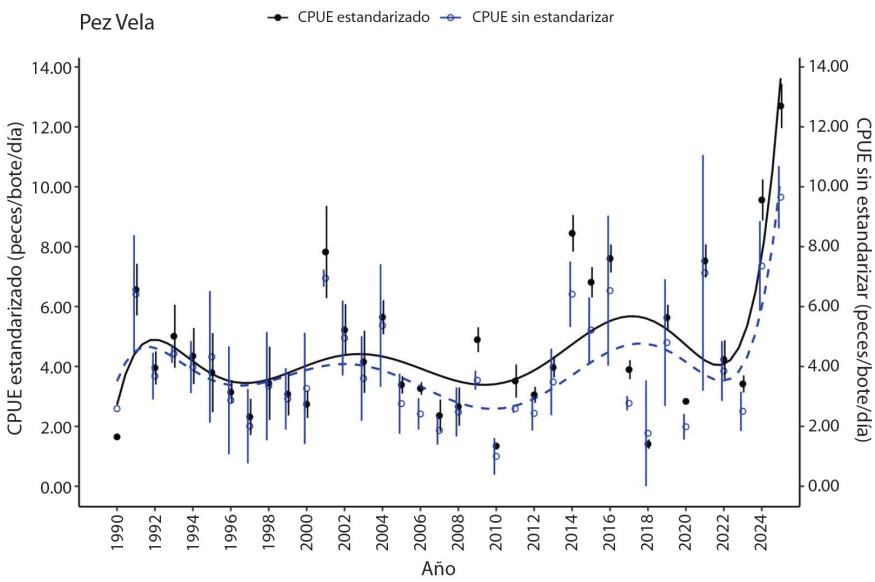

Fig. 5. Capturas por unidad de esfuerzo (CPUE) de peces vela liberados en torneos del Club Amateur de Pesca a lo largo de tres décadas (1990-2025) en la costa Pacífica de Costa Rica. Datos estandarizados utilizando un modelo linear generalizado con distribución lognormal autorregresivo. Promedios anuales presentados con ± un error estándar. / **Fig. 5.** Catch per unit effort (CPUE) of released sailfish in tournaments conducted by the Club Amateur de Pesca de Costa Rica along the country's Pacific coast. Data standardized using a generalized linear model with an autoregressive lognormal distribution. Annual means are presented with ±1 standard error.

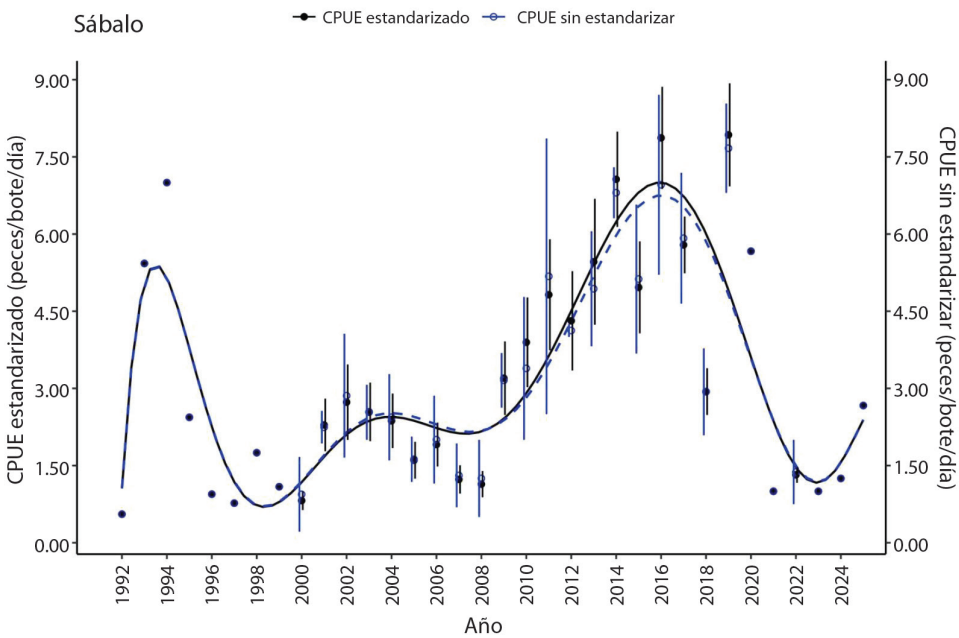

Fig. 6. Capturas por unidad de esfuerzo (CPUE) de sábalos liberados en torneos del Club Amateur de Pesca a lo largo de tres décadas (1992-2025) en la costa Caribe de Costa Rica. Datos estandarizados utilizando un modelo linear generalizado con distribución gamma. Promedios anuales presentados con ± un error estándar. / **Fig. 6.** Catch per unit effort (CPUE) of released tarpon in tournaments conducted by the Club Amateur de Pesca de Costa Rica along the country's Caribbean coast. Data standardized using a generalized linear model with a gamma distribution. Annual means are presented with ±1 standard error.

Tabla 7

Resultados de contrastes *post-hoc* entre puntos de interés en la serie de tiempo de capturas de pez vela, marlines y sábalo entre 1990 y 2025 en Costa Rica. Los estimados del contraste se presentan con error estándar (EE) y valor de probabilidad (p) de significancia. / **Table 7.** Results of *post-hoc* contrasts among points of interest in the time series of sailfish, marlin, and tarpon releases between 1990 and 2025 in Costa Rica. Contrast estimates are presented with standard error (EE) and significance probability values (p).

Especie	Contraste	Estimado	EE	p
Pez Vela	1991-92 vs 2001-02	0.046	0.26	0.859
	1991-92 vs 2014-15	-0.158	0.20	0.439
	1991-92 vs 2024-25	-0.487	0.20	0.016
	2001-02 vs 2024-25	-0.533	0.24	0.031
	2014-15 vs 2024-25	-0.329	0.18	0.066
	2001-02 vs 2014-15	-0.204	0.25	0.409
Marlines	1994-97 vs 2009-12	-0.128	0.03	<0.0001
	1994-97 vs 2021-24	-0.222	0.03	<0.0001
	2009-12 vs 2021-24	-0.093	0.03	0.002
Sábalo	1993-94 vs 2013-20	-0.168	0.25	0.494
	1996-00 vs 2021-24	-0.170	0.21	0.414
	1996-00 vs 2001-04	-0.962	0.18	<0.0001
	2001-04 vs 2021-24	0.792	0.19	<0.0001
	2021-24 vs 2025	-0.891	0.37	0.015
	2001-04 vs 2013-20	-0.869	0.14	<0.0001

picudos ha aumentado significativamente en los años más recientes.

No se observó correlación entre la CPUE de pez vela y la de marlines, ni en los valores estandarizado (correlación de Pearson: r= 0.26, p=0.13) ni en los no estandarizados (r=0.18, p=0.30). Sin embargo, a lo largo de la serie de tiempo se identificaron períodos en los que la CPUE de una especie subió mientras que la de la otra disminuyó. Por ejemplo, en los años 2014-2019 se observó una alta CPUE estandarizada de pez vela (6 a 8 liberaciones en promedio por bote por día) mientras que la CPUE de marlines fue baja (solamente una liberación por bote por día en promedio) (Fig. 4 y Fig. 5). Por el contrario, 2022-2023 fue particularmente bueno para la captura de marlines (1.3-1.4 liberaciones por bote por día en promedio, o sea 4 marlines en 3 días). Por el contrario, las liberaciones de pez vela bajaron a tres o cuatro por bote por día (Fig. 4 y Fig. 5). A partir de 2023 las liberaciones de pez vela han aumentado considerablemente a 10-12 por bote por día, mientras que las de marlines han empezado a bajar a 1.2 por bote por día, siendo el año 2024 particularmente bueno para la captura de ambas especies (Fig. 4 y Fig. 5).

Las fluctuaciones en CPUE estandarizado de sábalo fueron considerablemente más abruptas comparadas con las de picudos. Se observaron picos de alta CPUE, con cinco a ocho liberaciones de sábalo por bote por día entre 1993 y 1994 y entre 2013 y 2020 (Fig. 6), los cuales no fueron significativamente diferentes entre sí (Tabla 7). Esos picos de alta CPUE fueron seguidos por períodos de muy baja CPUE (1996-2000 y 2021-2024), con únicamente un individuo liberado por bote por día o uno cada dos días. La CPUE no fue significativamente diferente entre 1996-2000 y 2021-2024 (Tabla 7). El período de 2001-2004 presentó un pequeño pico de CPUE de dos a tres liberaciones por bote por día (Fig. 6). Este incremento fue significantemente mayor que los períodos de baja CPUE registrados en 1996-2000 y 2021-2024 (Tabla 7). Los picos se repitieron cada 8-12 años. En el 2025, la CPUE casi se duplicó con respecto a 2024 (Fig. 6, Tabla 7), subiendo de alrededor de poco más de una liberación por bote por día a casi tres liberaciones por bote por día.

Exploración de influencia de variables ambientales

En modelos individuales, la CPUE de pez vela se correlacionó significativamente con la PCM (p=0.048) y la TSM (p=0.020), pero no con el IOSEM (p=0.48) (Fig. 7). Sin embargo, cuando las tres variables se incluyeron en un mismo modelo, únicamente el efecto de la PCM permaneció significativo (Tabla 8). El valor negativo del estimado para la PCM indica que se capturaron más peces vela cuando la PCM era menor (Fig. 7). Aunque el IOSEM y la TSM podrían tener un efecto positivo sobre la CPUE (Fig. 7), dichos efectos son menores y quedan opacados por la influencia de la PCM. En los modelos individuales para marlines, la CPUE estuvo correlacionada significativamente con el IOSEM (p<0.0001) y con la PCM (p=0.009). La correlación con la TSM es marginalmente no significativa (p=0.1). Sin embargo, al combinar las tres variables en un mismo modelo, la significancia de la PCM desapareció y la de la TSM aumentó (Tabla 8). En general, las capturas de marlines disminuyeron conforme aumentó el IOSEM, pero aumentaron cuando aumentó la TSM (Fig. 7). Es posible que las capturas de marlines también aumentan cuando la PCM es menor (Fig. 7), aunque este efecto es menor en comparación al de las otras dos variables. En el caso del sábalo, la CPUE no mostró relación con ninguna de estas variables ambientales, ni en modelos individuales (p>0.26 en todos los casos), ni en el modelo con variables combinadas (Tabla 8).

DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio muestran que la CPUE de pez vela y de marlines ha aumentado en años recientes, particularmente después del 2023. La falta de correlación y el desfase entre las series de tiempo de la CPUE de pez vela y marlines indica que los factores que afectan la

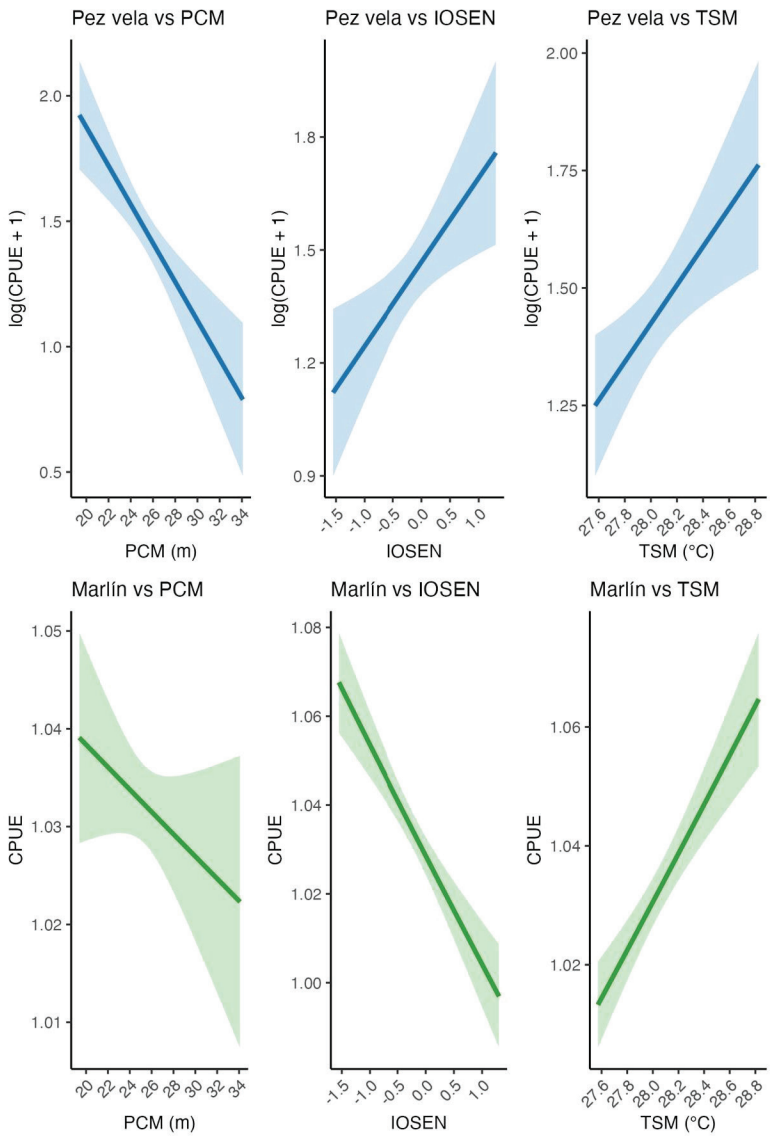

Fig. 7. Predicciones de modelos lineales generalizados para la CPUE (peces/bote/día) de pez vela, marlines en la costa Pacífica y de sábalo en la costa Caribe de Costa Rica, entre 1990 y 2025. Variables ambientales: profundidad de la capa de mezcla (PCM), Índice Multivariado de Oscilación del Sur de El Niño (IOSEN) y temperatura superficial del mar (TSM). Las tendencias lineales se presentan con ± un error estándar. / **Fig. 7.** Predictions from generalized linear models for CPUE (fish/boat/day) of sailfish, marlin, and tarpon between 1990 and 2025 in Costa Rica. Environmental variables: mixed layer depth (PCM), Multivariate ENSO Index (IOSEN), and sea surface temperature (TSM). Linear trends are presented with ±1 standard error.

variación en CPUE operan de forma diferente entre especies. Para picudos, varios factores oceanográficos pueden contribuir a explicar el aumento en capturas en años recientes. Los picudos pasan la mayoría del tiempo en aguas cálidas 28-29ºC (Prince & Goodyear, 2006; Goodyear, et al., 2008) por lo que son más frecuentemente capturados cuando las temperaturas son altas (Mourato, et al., 2014). Los resultados del análisis de variables ambientales

Tabla 8
Significancia de los términos estimados para modelos de posible influencia de variables ambientales en la CPUE (peces/bote/día) de pez vela, marlines (1990-2025; costa del Pacífico de Costa Rica) y sábalo (1992-2025; costa del Caribe de Costa Rica). Variables ambientales: profundidad de la capa de mezcla (PCM), Índice Multivariado de Oscilación del Sur de El Niño (IOSEN) y temperatura superficial del mar (TSM). / **Table 8.** Significance of estimated terms for models evaluating the possible influence of environmental variables on CPUE (fish/boat/day) of sailfish, marlin (1990-2025; Pacific coast of Costa Rica), and tarpon (1992-2025; Caribbean coast of Costa Rica). Environmental variables: mixed layer depth (PCM), Multivariate ENSO Index (IOSEN), and sea surface temperature (TSM).

Especies	Término	Estimado	EE	p
Pez Vela	Intersección	-8.008	7.721	0.312
	PCM	-0.077	0.034	0.034
	IOSEM	0.224	0.154	0.162
	TSM	0.409	0.266	0.140
Marlines	Intersección	-1.049	0.369	0.010
	PCM	-0.001	0.002	0.501
	IOSEM	-0.024	0.007	0.004
	TSM	0.039	0.013	0.006
Sábalo	Intersección	0.933	10.876	0.933
	PCM	0.034	0.066	0.612
	IOSEM	0.255	0.176	0.162
	TSM	-0.024	0.378	0.950

muestran que la CPUE de vela y de marlines se correlaciona positivamente con la TSM, aunque el efecto es mucho más fuerte para los marlines. La temperatura superficial del mar en los años 2023-2024 fue inusualmente alta con respeto a años anteriores en el Océano Pacífico Oriental (Terhaar, et al., 2025), lo que podría ayudar a explicar por qué hubo más capturas de picudos en estos años, sobre todo de marlines.

La CPUE de picudos también se relaciona a la PCM y al IOSEN, aunque el efecto de la PCM es mucho más fuerte para peces vela que para marlines, y el del IOSEN fue solo significativo para marlines. Los peces pelágicos en el Océano Pacífico Oriental pasan la mayoría del tiempo en la capa de mezcla que está entre la superficie y la termoclina (Schaefer, et al., 2007; Schaefer & Fuller, 2013). El Pacífico Oriental Tropical se caracteriza por afloramientos intensos, en los que aguas profundas frías y ricas en nutrientes ascienden hacia la superficie. Este proceso aumenta la producción de fitoplancton en la capa de mezcla situada por encima de la termoclina, lo cual a su vez aumenta la disponibilidad de presas para los picudos (Marrari, et al., 2023). Cuando el plancton muere, se hunde y descompone, consumiendo oxígeno y generando una capa de agua hipóxica bajo la capa de mezcla, lo que comprime el hábitat disponible para los picudos (Prince & Goodyear, 2006; Pohlot & Ehrhardt, 2018; Ehrhardt, et al., 2025). Durante los eventos de La Niña, la termoclina se vuelve más somera y la capa de mezcla menos profunda, lo que incrementa esta compresión del hábitat. En estas condiciones, los peces pelágicos tienden a concentrase más cerca de la superficie y, por lo tanto, son más susceptibles a la captura por aparejos de pesca superficial, como la pesca deportiva y el palangre somero (Prince & Goodyear, 2006, Blondin, 2022; IATTC, Working Group on Ecosystems and Bycatch 2025). La combinación de una capa de mezcla fuertemente comprimida durante La Niña de 2020-2023, junto con las temperaturas excepcionalmente altas de la superficie del mar registradas en 2023-2024 podría explicar la alta cantidad de capturas de marlines en los torneos del 2020 al 2024.

El pico de abundancia en captura de pez vela en 2024-2025 podría estar asociado también a las altas temperaturas registrados al inicio del 2024. Sin embargo, la reducción en las

capturas durante el período 2020-2023 podría estar relacionadas tanto a la presión por pesca comercial como a la PCM. En particular, las capturas de pez vela por la flota costarricense de palangre del Pacífico aumentaron de forma notable en 2020-2023, con un incremento del 69% en comparación con la década anterior (Chaves-Campos et al., 2025). La cantidad de marlines capturado por la flota de palangre costarricense en 2020-2023 también aumentó con respecto a la década anterior, aunque en menor proporción que en el caso del pez vela: el incremento fue del 47% (Chaves-Campos, et al., 2025). La población de pez vela es más costera y residente que la de marlines en el Pacífico Tropical Oriental (Ortiz, et al., 2003; Bubley, et al., 2020). Estas diferencias en el hábitat, en conjunto con la intensidad de capturas comerciales en el período en que el hábitat estuvo más comprimido (La Niña de 2020-2023) podría explicar por qué la presión de pesca comercial resultó en una disminución en las capturas de pez vela en los torneos en 2020-2023. La disminución en la CPUE de pez vela durante los torneos del CAP de 2020-2023 coincidió con una reducción histórica en la pesca recreativa fuera de torneos (Chaves-Campos, et al., 2025). La presión de pesca comercial no fue tan alta para marlines en ese mismo período, lo cual pudo haber permitido un aumento en la captura de estas especies durante los torneos de 2020-2023. El aumento en CPUE de marlines en 2020-2023 también se notó en la pesca recreativa fuera de torneos, aunque en menor grado (Chaves-Campos et al., 2025). Con el final de La Niña, la termoclina y la capa de mezcla se profundizaron en el 2024, lo que probablemente disminuyó la presión de pesca comercial ejercida por le palangre superficial, permitiendo así mayores capturas de pez vela a partir del 2024 reforzadas por las altas temperaturas asociadas con El Niño.

El cambio en las medidas de protección de pez vela también pudo contribuir al aumento reciente en las capturas de esta especie. Antes de 2023, la CPUE de pez vela en los torneos del CAP mostraba una tendencia descendente (Ehrhardt, et al., 2025), consistente con la disminución observada en la pesca recreativa de pez vela fuera de torneos en Costa Rica (Marrari, et al., 2023; Chaves-Campos, et al., 2025). En enero de 2023, el INCOPESCA decretó una disminución del 15 al 10% de la captura incidental de pez vela en el país (Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura, 2023). Bajo esta normativa, la captura incidental máxima permitida por descarga comercial equivale al 10% del peso total desembarcado. Esta disminución en la captura comercial de pez vela pudo empezar a contribuir a favorecer un aumento en las capturas registradas en los torneos del CAP a partir del 2024. Asimismo, la disminución original de 15% decretada en 2014 (Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura, 2014), pudo haber contribuido al pequeño aumento relativo en las capturas de pez vela observado en torneos del CAP durante 2014-2019.

La ampliación reciente del área de pesca permitida también pudo haber influido en el aumento en la CPUE de marlines en los torneos del CAP. Hasta el 2021, los torneos de picudos del CAP abarcaban 50 millas náuticas desde la costa; a partir de este año, los límites se extendieron hasta 70 millas. Este incremento en el área disponible y la posibilidad de operar lejos de la costa pudieron favorecer capturas diarias más altas de marlines desde 2021. Además, el uso de sonares de última tecnología, como los omnidireccionales de 360 grados, también pudo haber contribuido al aumento reciente en capturas de marlines. Estos equipos puedan aumentan la cantidad de capturas por un pescador, por lo que su uso es objeto de debate (Cooke et al., 2021; Cooke et al., 2025). En el CAP, algunos botes, particularmente los más grandes que tienen mayor capacidad para alejarse de la costa, ya utilizan sonares omnidireccionales. Su utilización en zonas oceánicas a partir de 2021 pudo haber aportado al aumento sustancial en la CPUE de marlines observado en los datos del CAP. No obstante, los datos de captura del CAP no incluyen información sobre la localización de las capturas ni sobre el tipo de sonar utilizado por cada embarcación, lo que impide evaluar esta hipótesis.

En el caso del sábalo real, los botes locales alquilados que se utilizaban en los torneos a inicios de los 90s cuentan con una autonomía y un nivel tecnológico similares a los utilizados en los torneos recientes, dado que los torneos se realizan en la costa o muy cerca de ella. Por esta razón, el uso de sonares avanzados o de botes y motores de mayor tamaño es considerado innecesario en estos torneos. La disminución drástica detectada en los últimos cinco años no puede ser atribuida ni al uso de botes con menor tecnología ni al cambio de capitanes, ya que se trata esencialmente los mismos botes y capitanes que operaban durante el pico de capturas de 2013-2020. La baja en capturas entre 2021 y 2024 coincidió parcialmente con El Niño de 2023-2024; sin embargo, el pico de capturas registrado entre 2013 y 2020 también coincidió parcialmente con un evento de El Niño (2015-2016), el cual fue particularmente fuerte (L'Heureux et al., 2017). Además, el análisis de variables ambientales y CPUE para el sábalo no mostró una relación con el IOSEN. Por lo tanto, parece poco probable que El Niño y los cambios asociados a este fenómeno, incluyendo variaciones en precipitaciones, temperatura y eventos extremos, expliquen las fluctuaciones recientes en la CPUE de sábalo.

Las fluctuaciones en CPUE de sábalo ocurrieron cada 8-12 años, lo que podría indicar una relación con la historia de vida de esta especie. Este intervalo concuerda con el período de oscilación de 12 años identificado al modelar de la serie de tiempo con un coseno. El modelo de tres cosenos también muestra un período de oscilación de 12 años. Además, muestra un período largo de 23 años y un período corto de cinco años. Los tres períodos capturan la variación en picos de abundancia que ocurre entre 8 y 12 años en la población. Datos del sur de los Estados Unidos, Costa Rica, Florida y algunas islas del Caribe (Adams et al., 2014) muestran que los sábalos desovan en el mar, lejos de la costa. Sus larvas pasan a vivir en lagunas costeras después de 3-5 semanas en el mar, especialmente a aguas estancadas con poca profundidad y concentración de oxígeno, donde los peces depredadores no pueden vivir. Cuando son suficientemente grandes para evitar depredadores pasan a manglares, canales, estuarios y desembocaduras. Maduran sexualmente entre los 7 y 12 años y pueden vivir hasta casi 80 años (Adams, et al., 2014). Las fluctuaciones observadas en los datos de los torneos podrían sugerir que, en ciertos años, la mayoría de los individuos adultos y/o juveniles experimentan una alta mortalidad, y que solo cada 7-12 años algunas cohortes sobrevivientes logran impulsar la población hacia niveles registrados en años anteriores. Otra posibilidad es que el reclutamiento de varias generaciones permanezca limitado o casi estático durante períodos ambientalmente desfavorables, hasta que condiciones más favorables permiten un aumento simultáneo en el reclutamiento, un proceso similar al "efecto de almacenamiento" (Secor, 2007).

Los factores más probables que pueden afectar la sobrevivencia y reclutamiento de sábalos son la contaminación del agua, degradación o destrucción de los sitios donde viven y se alimentan, y la pesca comercial sin regulación (Steinberg, 2015; Griffin, et al., 2023; Navarro-Martínez, et al., 2024; Stevens, et al., 2024). Todas estas amenazas están presentes en Barra del Colorado, sin embargo, el hecho de que la CPUE en este sitio haya regresado a niveles altos cada 8-12 años sugiere que no ha habido una acumulación progresiva de las amenazas que provoque una disminución sostenida de la CPUE a lo largo del tiempo. El aumento en capturas en 2025 podría sugerir que la población se está empezando a recuperar. Las fluctuaciones observadas podrían estar relacionada a aumentos súbitos, intensos y ocasionales en esas amenazas. Por ejemplo, ocasionalmente se han reportado grandes cantidades de peces muertos en los ríos, lagunas y canales de la costa Caribe de Costa Rica, incluyendo la zona de Barra del Colorado (Polidoro & Morra, 2016; Rämö, et al., 2018). Estas mortandades masivas pueden ser causadas por el ingreso de agroquímicos provenientes de las plantaciones circundantes durante períodos en que las condiciones del agua ya son subóptimas para los peces, o bien por la combinación de

estos compuestos con otros factores ambientales estresantes (Polidoro & Morra, 2016; Rämö, et al., 2018). Es posible que la acumulación de factores nocivos, combinada con la ocurrencia de factores climáticos adversos y los episodios de ingreso inusualmente alto de agroquímicos al agua, provoque mortandades de sábalos juveniles y adultos en ciertos años. También es posible que la acumulación de estas condiciones adversas limite o impida el reclutamiento, aun en ausencia de mortandades masivas. Cada 8-12 años, las condiciones podrían mejorar lo suficiente como para permitir el reclutamiento de una o varias cohortes que no habían logrado hacerlo en años previos, o para que una generación logre crecer hasta el tamaño reproductivo. Además, la recuperación poblacional podría verse favorecida por la inmigración de individuos adultos de áreas cercanas (Luo, et al., 2020). Estas hipótesis merecen ser evaluadas en el futuro.

Conclusión

Los resultados de este estudio identifican factores que podrían explicar el aumento reciente en las capturas registradas en torneos del CAP, particularmente la PCM y la TSM. Ambas variables están afectadas por el fenómeno de El Niño. La CPUE estandarizada puede ser utilizada como un indicador de abundancia de las especies claves para la pesca turística y deportiva, aunque con ciertas consideraciones. En condiciones de torneo, la disponibilidad de marlines y pez vela para la pesca deportiva parece ser estable e incluso mostrar una tendencia al alza. Sin embargo, para mantener o incrementar las capturas en comparación con años anteriores parece ser necesario desplazarse a mayores distancias de la costa y, posiblemente, el uso de sonares de última tecnología. Por lo tanto, el aumento en las capturas registradas en torneos no necesariamente refleja un aumento en la abundancia poblacional de los picudos en el Pacífico Tropical Oriental. Para obtener valores de CPUE que reflejen mejor los cambios en las poblaciones de picudos, recomiendo recolectar e incluir en los modelos de estandarización datos sobre la distancia recorrida por día y el tipo de sonar utilizado por cada bote. En el caso de los sábalos, las amplias fluctuaciones observadas en las capturas en torneos parecen estar más asociadas a procesos que ocurren tierra adentro que a factores estrictamente marinos. A diferencia de los picudos, cuyos patrones pueden vincularse más directamente con condiciones oceanográficas regionales, los factores que influyen sobre el sábalo parecen ser locales y por lo tanto con más potencial de ser cuantificados, abordados y majeados a nivel de país. Es de vital importancia para la sostenibilidad del sector de pesca deportiva y turística continuar con el registro y reporte de capturas, junto con una medición adecuada del esfuerzo pesquero. Esta información permitirá continuar mejorando la comprensión de los factores que influyen en abundancia de las especies y, con ello, facilitar un manejo adecuado de sus poblaciones en el futuro. A su vez, contribuirá a mantener una alta disponibilidad de estas especies para la pesca turística y recreativa.

Declaración de contribución de autoría: Johel Chaves-Campos contribuyó en la concepción, diseño, análisis e interpretación de resultados y preparación del manuscrito.

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

Agradezco al Club Amateur de Pesca de Costa Rica por haber compartido sus datos, sin los cuales este estudio no hubiera sido posible. Agradezco especialmente a Ricardo Seevers por su gestión en la obtención de los datos y a

Grace Mora por su amabilidad y disponibilidad para responder preguntas sobre los archivos de datos. Agradezco también a Luis Liberman por comentarios sobre el posible efecto en la ampliación del área de pesca en los torneos y a la junta directiva del club por haberse tomado el tiempo de leer y valorar positivamente este manuscrito. Dos revisores anónimos proporcionaron sugerencias valiosas que permitieron mejorar la calidad de esta publicación.

REFERENCIAS

Adams, A. J., Horodysky, A. Z., McBride, R. S., Guindon, K., Shenker, J., MacDonald, T. C., Harwell, H. D., Ward, R., & Carpenter, K. (2014). Global conservation status and research needs for tarpons (Megalopidae), ladyfishes (Elopidae) and bonefishes (Albulidae). *Fish and Fisheries, 15*(2), 280–311. https://doi.org/10.1111/faf.12017

Asamblea Legislativa. (2005). *Ley 8436. Ley de Pesca y Acuicultura*. Diario Oficial La Gaceta. https://pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=54688

Blondin, H. E. (2022). *Spatial ecology of human-wildlife interactions and conflicts* (Doctoral dissertation). Stanford University. https://search.proquest.com/openview/6fda833cfda02966e1e7c5d672ad08ec/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y

Brooks, M. E., Kristensen, K., Van Benthem, K. J., Magnusson, A., Berg, C. W., Nielsen, A., Skaug, H. J., Mächler, M., & Bolker, B. M. (2017). glmmTMB balances speed and flexibility among packages for zero-inflated generalized linear mixed modeling. *R Journal, 9*(2), 378–400. DOI 10.32614/RJ-2017-066

Bubley, W. J., Galuardi, B., Dukes, A. W., & Jenkins, W. E. (2020). Incorporating depth into habitat use descriptions for sailfish *Istiophorus platypterus* and habitat overlap with other billfishes in the western North Atlantic. *Marine Ecology Progress Series, 638*, 137–148. https://doi.org/10.3354/meps13239

Chacón-Chaverri, D. (1993). Aspectos biométricos de una población de sábalo, *Megalops atlanticus* (Pisces: Megalopidae). *Revista de Biología Tropical, 41*, 13–18.

Chacón-Chaverri, D. (1996). Abundancia y diversidad de los recursos ícticos aprovechados por la pesca recreativa en Barra del Colorado, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical, 44*(3), 489–498.

Chacón-Cascante, A., & Marín-Sandoval, H. (2019). *El aporte macroeconómico y local de la pesca turística y deportiva en Costa Rica*. San José, Costa Rica. DOI: 10.13140/RG.2.2.26360.88328

Chaves-Campos, J., Marrari, M., & Mug Villanueva, M. (2025). Temporal trends in relative abundance of billfish and other large pelagic fish in recreational fisheries of Costa Rica. *Fisheries Management and Ecology 32*(6), 499-515, e12821. https://doi.org/10.1111/fme.12821

Club Amateur de Pesca (2025a, 1 de diciembre). Actividades. https://www.clubamateurdepesca.com/blank-3

Club Amateur de Pesca (2025b, 1 de diciembre). Inicio. https://www.clubamateurdepesca.com

Cooke, S. J., Neely, B. C., Hasler, C. T., Schooley, J. D., Brownscombe, J. W., LaRochelle, L., Danylchuk, A. J., Hunt, T. L., & Norman, J. D. (2025). Emerging live sonar technologies in freshwater recreational fisheries: Issues and opportunities. *Fisheries (Bethesda), 50*(2), 66–74. https://doi.org/10.1093/fshmag/vuae003

Cooke, S. J., Venturelli, P., Twardek, W. M., Lennox, R. J., Brownscombe, J. W., Skov, C., Hyder, K., Suski, C. D., Diggles, B. K., & Arlinghaus, R. (2021). Technological innovations in the recreational fishing sector: Implications for fisheries management and policy. *Reviews in Fish Biology and Fisheries, 31*, 253–288. https://doi.org/10.1007/s11160-021-09643-1

Ehrhardt, N. M., & Fitchett, M. D. (2006). On the seasonal dynamic characteristics of the sailfish, *Istiophorus platypterus*, in the eastern Pacific off Central America. *Bulletin of Marine Science, 79*, 589–606.

Ehrhardt, N., Pohlot, B. G., & Brown, J. E. (2025). Seasonal availability and catchability of sailfish, *Istiophorus platypterus*, in the tropical eastern Pacific Ocean off the coast of Guatemala. *ICES Journal of Marine Science, 82*(9), fsaf152. https://doi.org/10.1093/icesjms/fsaf152

Elzhov, T., Mullen, K., Spiess, A., & Bolker, B. (2023). *minpack.lm: R interface to the Levenberg-Marquardt nonlinear least-squares algorithm found in MINPACK, plus support for bounds* [R package]. https://cran.r-project.org/web/packages/minpack.lm/index.html

FAO. (2021). *Trade in fisheries products: Fisheries sustainability, fishing capacity, and illegal, unreported and unregulated (IUU) fishing*. Trade Policy Briefs. https://openknowledge.fao.org/items/f5832e1f-4584-4561-bbe2-b13cd47272d7

Fox, J., Weisberg, S., Price, B., Adler, D., Bates, D., Baud-Bovy, G., Ellison, S., Firth, D., Friendly, M., Gorjanc, G., Graves, S., Heiberger, R., Krivitsky, P., Laboissiere, R., Maechler, M., Monette, G., Murdoch, D., Nilsson, H., Ogle, D., ... R-Core. (2024). *car: Companion to applied regression* (R package version 3.1-3). https://CRAN.R-project.org/package=car

Freire, K. M. F., Belhabib, D., Espedido, J. C., Hood, L., Kleisner, K. M., Lam, V. W. L., Machado, M. L., Mendonça, J. T., Meeuwig, J. J., Moro, P. S., Motta, F. S., Palomares, M.-L. D., Smith, N., Teh, L., Zeller,

D., Zylich, K., & Pauly, D. (2020). Estimating global catches of marine recreational fisheries. *Frontiers in Marine Science, 7,* 12. https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00012

Goodyear, C. P., Luo, J., Prince, E. D., Hoolihan, J. P., Snodgrass, D., Orbesen, E. S., & Serafy, J. E. (2008). Vertical habitat use of Atlantic blue marlin *Makaira nigricans*: Interaction with pelagic longline gear. *Marine Ecology Progress Series, 365*, 233–245. https://doi.org/10.3354/meps07505

Griffin, L. P., Casselberry, G. A., Markowitz, E. M., Brownscombe, J. W., Adams, A. J., Horn, B., Cooke, S. J., & Danylchuk, A. J. (2023). Angler and guide perceptions provide insights into the status and threats of the Atlantic tarpon (*Megalops atlanticus*) fishery. *Marine Policy, 151*, 105569. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.105569

Hartig, F., & Lohse, L. (2022). *DHARMa: Residual diagnostics for hierarchical (multi-level/mixed) regression models* [R package]. https://cran.r-project.org/web/packages/DHARMa/index.html

Haulsee, D. E., Blondin, H. E., Logan, R. K., & Crowder, L. B. (2022). Where do the billfish go? Using recreational catch data to relate local and basin scale environmental conditions to billfish occurrence in the Eastern Tropical Pacific. *Fisheries Oceanography, 31*(2), 135–148. https://doi.org/10.1111/fog.12567

Hoyle, S. D., Campbell, R. A., Ducharme-Barth, N. D., Grüss, A., Moore, B. R., Thorson, J. T., Tremblay-Boyer, L., Winker, H., Zhou, S., & Maunder, M. N. (2024). Catch per unit effort modelling for stock assessment: A summary of good practices. *Fisheries Research, 269*, 106860. https://doi.org/10.1016/j.fishres.2023.106860

Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura (2014, 8 de octubre). Acuerdo de Junta Directiva 280-2014. https://incopesca.go.cr/acerca_incopesca/transparencia_institucional/jerarcas_decisiones/acuerdos/AJDIP-280-2014_Medidas_ordenamiento_carnada_viva.pdf

Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura (2023, 31 de enero). Acuerdo de Junta Directiva 017-2023. https://incopesca.go.cr/acerca_incopesca/transparencia_institucional/jerarcas_decisiones/acuerdos/AJDIP-017-2023_Modifica_AJDIP-280-2014_Porcentaje_Incidental_Pez_Vela.pdf

Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura (2025, 30 de noviembre). Datos abiertos. https://www.incopesca.go.cr/acerca_incopesca/transparencia_institucional/datos_abiertos.aspx.

IATTC Working Group on Ecosystems and Bycatch. (2025). *Document EB-03-01 Ecosystem considerations*. La Jolla, California. https://www.iattc.org/getattachment/ce072645-4e2b-4c85-a459-99d5bc919327/WGEB-03-01_Ecosystem-considerations.pdf

Lenth, R., Bolker, B., Buerkner, P., Giné-Vázquez, I., Herve, M., Jung, M., Love, J., Miguez, F., Piaskowski, J., Riebl, H., & Singmann, H. (2024). *emmeans: Estimated marginal means, aka least-squares means* [R package] https://cran.r-project.org/web/packages/emmeans/index.html.

L'Heureux, M. L., Takahashi, K., Watkins, A. B., Barnston, A. G., Becker, E. J., Di Liberto, T. E., Gamble, F., Gottschalck, J., Halpert, M. S., Huang, B., Mosquera-Vásquez, K., & Wittenberg, A. T. (2017). Observing and predicting the 2015/16 El Niño. *Bulletin of the American Meteorological Society, 98*(7), 1363–1382. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0009.1

Luo, J., Ault, J. S., Ungar, B. T., Smith, S. G., Larkin, M. F., Davidson, T. N., Bryan, D. R., Farmer, N. A., Holt, S. A., Alford, A. S., Adams, A. J., Humston, R., Marton, A. S., Mangum, D., Kleppinger, R., Requejo, A., & Robertson, J. (2020). Migrations and movements of Atlantic tarpon revealed by two decades of satellite tagging. *Fish and Fisheries, 21*, 290–318. https://doi.org/10.1111/faf.12430

Marine Regions (2025, 15 de diciembre). Downloads. https://www.marineregions.org/downloads.php

Marrari, M., Chaves-Campos, J., Mug-Villanueva, M., Martínez-Fernández, D., Marín-Sandoval, H., & Staley-Meier, T. (2023). Trends and variability in local abundances of sailfish *Istiophorus platypterus* in Pacific waters of Costa Rica: Controls and effects on recreational fisheries. *Frontiers in Marine Science, 10*, 1088006. https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1088006

Maunder, M. N., & Punt, A. E. (2004). Standardizing catch and effort data: A review of recent approaches. *Fisheries Research, 70*(2-3), 141–159. 159. https://doi.org/10.1016/j.fishres.2004.08.002

Mourato, B. L., Hazin, F., Bigelow, K., Musyl, M., Carvalho, F., & Hazin, H. (2014). Spatio-temporal trends of sailfish *Istiophorus platypterus* catch rates in relation to spawning ground and environmental factors in the equatorial and southwestern Atlantic Ocean. *Fisheries Oceanography, 23*, 32–44. https://doi.org/10.1111/fog.12040

Nadon, M. O., Ault, J. S., Williams, I. D., Smith, S. G., & DiNardo, G. T. (2015). Length-based assessment of coral reef fish populations in the Main and Northwestern Hawaiian Islands. *PLOS One, 10*(8), e0133960. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133960

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2017). *Review of the Marine Recreational Information Program*. National Academies Press.

NASA (2025, 15 de diciembre). Earthdata. https://www.earthdata.nasa.gov

NOAA (2025a, 15 de diciembre). NOAA Physical Science Laboratory. https://psl.noaa.gov/enso/mei/

NOAA (2025b, 15 de diciembre). NOAA Physical Science Laboratory. https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.godas.html

Navarro-Martínez, Z. M., Cobián-Rojas, D., Valle, S., García-Alfonso, E., Adams, A., Frazer, T. K., & Angulo-Valdés, J. (2024). Atlantic tarpon in Cuban fisheries: A historically exploited and very vulnerable species. *Ocean and Coastal Management, 258*, 107386. https://www.nationalacademies.org/projects/DELS-OSB-15-04. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2024.107386

Ortiz, M., Prince, E. D., Serafy, J. E., Holts, D. B., Davy, K. B., Pepperell, J. G., Lowry, M. B., & Holdsworth, J. C. (2003). Global overview of the major constituent-based billfish tagging programs and their results since 1954. *Marine and Freshwater Research, 54*(4), 489–507. https://doi.org/10.1071/MF02028

Pohlot, B. G., & Ehrhardt, N. (2018). An analysis of sailfish daily activity in the Eastern Pacific Ocean using satellite tagging and recreational fisheries data. *ICES Journal of Marine Science, 75*(2), 871–879. https://doi.org/10.1093/icesjms/fsx082

Polidoro, B. A., & Morra, M. J. (2016). An ecological risk assessment of pesticides and fish kills in the Sixaola watershed, Costa Rica. *Environmental Science and Pollution Research, 23*(6), 5983–5991. https://doi.org/10.1007/s11356-016-6144-0

Prince, E. D., & Goodyear, C. P. (2006). Hypoxia-based habitat compression of tropical pelagic fishes. *Fisheries Oceanography, 15* (6), 451–464.https://doi.org/10.1111/j.1365-2419.2005.00393.x

R Core Team. (2024). *R: A language and environment for statistical computing*. https://www.r-project.org/

Rämö, R. A., van den Brink, P. J., Ruepert, C., Castillo, L. E., & Gunnarsson, J. S. (2018). Environmental risk assessment of pesticides in the River Madre de Dios, Costa Rica using PERPEST, SSD, and msPAF models. *Environmental Science and Pollution Research, 25*, 13254–13269. https://doi.org/10.1007/s11356-016-7375-9

Schaefer, K. M., & Fuller, D. W. (2013). Simultaneous behavior of skipjack (*Katsuwonus pelamis*), bigeye (*Thunnus obesus*), and yellowfin (*T. albacares*) tunas, within large multi-species aggregations associated with drifting FADs in the equatorial eastern Pacific Ocean. *Marine Biology, 160*, 3005–3014. DOI 10.1007/s00227-013-2290-9

Schaefer, K. M., Fuller, D. W., & Block, B. A. (2007). Movements, behavior, and habitat utilization of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the northeastern Pacific Ocean, ascertained through archival tag data. *Marine Biology, 152*, 503–525. https://doi.org/10.1007/s00227-007-0689-x

Secor, D. H. (2007). The year-class phenomenon and the storage effect in marine fishes. *Journal of Sea Research, 57*(2-3), 91–103. https://doi.org/10.1016/j.seares.2006.09.004

Soldo, A. (2022). An assessment of catches of shore and boat recreational angling along the coast of the Adriatic Sea. *Journal of Marine Science and Engineering, 10*(12), 1999. https://doi.org/10.3390/jmse10121999

Steinberg, M. K. (2015). A nationwide assessment of threats to bonefish, tarpon, and permit stocks and habitat in Belize. *Environmental Biology of Fishes, 98*, 2277–2285. https://doi.org/10.1007/s10641-015-0429-x

Stevens, P. W., Blewett, D. A., Anderson, C. R., Saari, C. R., Shea, C. P., Craig, C. A., & Radabaugh, K. R. (2024). Characterizing juvenile common snook and tarpon habitat to guide conservation and restoration of coastal wetlands. *Wetlands, 44*, 108. https://doi.org/10.1007/s13157-024-01844-1

Tate, A., Lo, J., Mueller, U., Hyndes, G. A., Ryan, K. L., & Taylor, S. M. (2020). Standardizing harvest rates of finfish caught by shore-based recreational fishers. *ICES Journal of Marine Science, 77*(6), 2207–2215. https://doi.org/10.1093/icesjms/fsz228

Terhaar, J., Burger, F. A., Vogt, L., Frölicher, T. L., & Stocker, T. F. (2025). Record sea surface temperature jump in 2023–2024 unlikely but not unexpected. *Nature, 639*(8056), 942–946. https://doi.org/10.1038/s41586-025-08674-z

Wade, R. A., & Robins, C. R. (1973). The tarpon and its sportfishery: A review of our knowledge and outline of the problem (pp. 16–27). In *International Game Fish Conference*.