

REPORTE DEL TRABAJO DE MONITOREO DE LA CAPTURA DE PULPO EN LA REGIÓN DE BAHÍA DE LOS ÁNGELES DURANTE EL ÚLTIMO TRIMESTRE DE PESCA DE LA TEMPORADA 2020-2021 Y MODELO PREDICTIVO DE ARRIBOS DE PULPO EN EL AREA DE BAHÍA DE LOS ÁNGELES CON BASE A LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR Y LA PRECIPITACIÓN.

M.C. Jaime Perrin López

Pronatura Noroeste A. C.

31 de Julio del 2021

REPORTE DEL TRABAJO DE MONITOREO DE LA CAPTURA DE PULPO EN LA REGIÓN DE BAHÍA DE LOS ÁNGELES DURANTE EL ÚLTIMO TRIMESTRE DE PESCA DE LA TEMPORADA 2020-2021 Y MODELO PREDICTIVO DE ARRIBOS DE PULPO EN EL AREA DE BAHÍA DE LOS ÁNGELES CON BASE A LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR Y LA PRECIPITACIÓN

En la región de Bahía de Los Ángeles, en el periodo 2004-2019 se capturó 79.67 % de la producción promedio anual de pulpo del estado de Baja California y a nivel nacional el 0.35 %. Las especies que se capturan son el pulpo café (*Octopus bimaculatus*) y el pulpo verde (*Octopus hubbsorum*), que conforman una de las principales pesquerías en la región. Debido a su importancia socioeconómica, los actores que participan en la pesquería de pulpo en Bahía de los Ángeles como pescadores, autoridades, Organizaciones de la Sociedad Civil como Pronatura Noroeste, y comercializadores de pulpo, implementan un Proyecto de Mejora Pesquera (FIP, por sus siglas en inglés). Un FIP se define como una iniciativa que implementan diversos actores, con el propósito de mejorar una pesquería hasta alcanzar la sostenibilidad, con base en criterios internacionales definidos por el Marine Stewardship Council. Como parte del FIP de pulpo en Bahía de los Ángeles, una de las actividades establecidas fue desarrollar un modelo estadístico para explicar la relación de las variables ambientales con la captura de pulpo durante una temporada de pesca. En un estudio realizado por Vargas-Yáñez *et al.* (2009) para predecir la captura de pulpo en el Mar de Alborán, se sugiere que los modelos lineales multivariantes son una herramienta estadística útil para explicar los arribos de pulpo y su relación con variables ambientales como la temperatura superficial del mar (TSM), la surgencia, turbulencia, salinidad y precipitación. En el modelo objeto de este reporte, la variable dependiente corresponde a la captura anual de pulpo en Bahía de los Ángeles, reportado a nivel de aviso de arribo durante el periodo del 2004 al 2019. Las variables independientes o explicativas son el promedio de la TSM y precipitación por estación del año para la región de Bahía de los Ángeles. Los datos de captura a nivel de avisos de arribo se obtuvieron de CONAPESCA vía solicitud al Instituto Nacional de Acceso a la Información. Los datos de TSM se obtuvieron a través de imágenes satelitales del sensor MODIS-Aqua, y datos de precipitación se obtuvieron de las estaciones meteorológicas de Bahía de los Ángeles y San Borja, vía Comisión Nacional del Agua. Asimismo, durante el periodo de diciembre 2021 a julio 2022, se realizaron muestreos *in situ* durante la operación pesquera para coleccionar información biométrica de pulpo como la longitud de manto y total del organismo, y el peso; así como identificar la fauna de acompañamiento y/o secundaria en la pesca de pulpo que se captura con trampa. En la captura incidental no se registró ninguna especie vulnerable, solo se registraron especies con preocupación menor o especies con falta de datos o desconocido de acuerdo a la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza IUCN. En cuanto a el peso, se encontró que las hembras durante mayo 2021 son 99.8% probable de tener mayor peso con una probabilidad del 95% de la media en el rango [820.3, 1040.7] g y los machos con una media en el rango [632.8, 808.8] g al 95% de probabilidad. El esfuerzo pesquero (CPUE) de número de pulpo por trampa durante el mes de mayo fue 0.30. El modelo encontró que la TSM es significativa durante el otoño (Octubre, Noviembre, Diciembre) y la precipitación durante el verano (Julio, Agosto, Septiembre). El modelo es $N_{(año)} = 153.8874TSMGN_{Otoño(año-1)} - 152.0907TSMBLA_{Otoño(año-1)} - 1.9734P_{Verano(año-1)}$. La variable más importante dentro del modelo es el promedio mensual de la precipitación en el verano. El r^2 del modelo es 0.94 y el análisis de residuales cumple con los requisitos de normalidad, media cero, independencia, y subconjuntos homogéneos. Se recomienda: reevaluar o remover las tallas y pesos mínimos puestos en el *Acuerdo por el que se establece la veda temporal y tallas mínimas de captura para la pesca de las especies de pulpo en Bahía de los Ángeles, Baja California* (DOF, 2016); realizar un estudio de sedimentación causada por precipitación en el área de Bahía de Los Ángeles para poder determinar la precipitación que causa suficiente sedimentación para la destrucción de hábitat

del pulpo; continuar el monitoreo de especies ETP y secundarias de la pesquería de pulpo; y probar las variables de surgencia, profundidad de termoclina, y nutrientes en el modelo y al mismo tiempo, validar el modelo con las tendencias anuales de arribos de las libretas de pescadores.

Jaime Perrin López

31 de Julio de 2021

INTRODUCCIÓN

En el Pacífico mexicano hay diez especies de pulpo descritas, entre las cuales se encuentran el pulpo café *Octopus bimaculatus* Verrill 1883 y el pulpo verde *Octopus hubbsorum* Berry 1953 (Berry, 1953; Brusca, 1980). Estas dos especies son las especies capturadas en la pesca artesanal de pulpo en Bahía de Los Ángeles; con 85% de la captura correspondiendo a el pulpo café (Torreblanca Ramírez, 2008).

El pulpo café se encuentra en el submareal desde Punta Concepción en California, Estados Unidos hasta el Golfo de California, México con apareamientos durante todo el año pero con máximos en verano (Ambrose, 1988). Mientras que el pulpo verde se distribuye desde el Golfo de California, México hasta Salina Cruz, Oaxaca, México, y habita las zonas inter y submareal hasta una profundidad de 30 m (López-Uriarte *et al.*, 2005); ambas especies suelen subsistir en ciertas regiones (López-Uriarte *et al.*, 2005; Norman, 2000), siendo Bahía de Los Ángeles durante el verano una de dichas regiones.

En la región de Bahía de Los Ángeles, en el periodo 2004-2019 se capturó 79.67 % de la producción promedio anual de pulpo del estado de Baja California y a nivel nacional el 0.35 %. En general la pesquería de pulpo en Bahía de Los Ángeles constituye un 3% de la biomasa de las pesquerías capturada en el periodo 1970-2004 en Bahía de Los Ángeles (CONANP, 2014).

Debido a su importancia socioeconómica, los actores que participan en la pesquería de pulpo en Bahía de los Ángeles como pescadores, autoridades, Organizaciones de la Sociedad Civil como Pronatura Noroeste (PNO), y comercializadores de pulpo, implementan un Proyecto de Mejora Pesquera (FIP, por sus siglas en inglés). Un FIP se define como una iniciativa que implementan diversos actores, con el propósito de mejorar una pesquería hasta alcanzar la sostenibilidad, con base en criterios internacionales definidos por el Marine Stewardship Council (*Proyecto de Mejora Pesquera*, 2021).

Uno de los primeros pasos en el desarrollo e implementación de un FIP es la realización de una pre-evaluación, la cual es un diagnóstico del desempeño de la pesquería según criterios que son acordados por los participantes del FIP. En el caso de la pesquería de pulpo en Bahía de los Ángeles, la pre-evaluación se realizó de acuerdo al estándar del MSC ya que es en la actualidad uno de los más completos y aceptados desde el punto de vista pesquero y ambiental. El resultado de la pre-evaluación indica que la pesquería tiene un gran número de aspectos por mejorar, tanto en lo

referente a la manera de evaluar y manejar el recurso, como con las interacciones ambientales, destacando la falta de una estrategia de explotación (según el concepto del MSC), como de los impactos sobre otras especies, incluyendo algunas en categorías de protección o amenazadas.

Para atender la problemática relacionada con la estrategia de explotación, es importante describir que según el estándar del MSC, esta se compone del sistema de información y monitoreo, de la evaluación del stock y un sistema de toma de decisiones llamado regla de control. Dada la biología particular del pulpo, en la que en cada temporada de pesca se capturan casi exclusivamente animales de una sola cohorte, cuya abundancia depende más de las condiciones ambientales que de la abundancia de los pulpos reproductores, se ha iniciado un trabajo colaborativo entre PNO y el INAPESCA para proponer sistemas alternativos, no convencionales, para evaluar al recurso y manejarlo de forma que se asegure su viabilidad. Una de las propuestas de parte del INAPESCA es el uso de un modelo logístico, al cual se ha sugerido, se le hagan modificaciones para incorporar error de proceso al componente de productividad, de manera que se refleje de mejor manera la dinámica dependiente de la variabilidad ambiental. También han sido propuestos otros modelos predictivos de la captura considerando la variabilidad ambiental (Betancourt-Aguirre, 2018). Este modelo se acopla a un sistema de monitoreo en tiempo real mediante el cual se determina si la tendencia en la captura acumulada se da de acuerdo a expectativas derivadas de las capturas de años recientes (Álvarez-Flores 2020).

Las propuestas alternativas de evaluación y manejo se sustentan en el hecho de que las poblaciones de cefalópodos muestran grandes fluctuaciones, que por lo general se consideran relacionadas a diversos factores ambientales que determinan el éxito en las actividades reproductivas, favoreciendo la eclosión y momento del desove, sobrevivencia larval, crecimiento, reclutamiento y distribución (Boyle & Rodhouse, 2005; Caddy, 1983). Varios estudios han considerado factores ambientales tales como la temperatura superficial del mar (TSM), la surgencia, turbulencia, salinidad, precipitación, entre otros (Chédia *et al.*, 2010; Sobrino *et al.*, 2020; Vargas-Yáñez *et al.*, 2009). En Bahía de los Ángeles, el estudio de Betancourt-Aguirre (2018) comparó la relación entre la captura de pulpo y diversos indicadores de variabilidad en las condiciones ambientales del Golfo de California, encontrando la mayor relación con la temperatura superficial del mar en la región, en el mes de enero.

El modelo para este estudio se basa en el modelo creado por Vargas-Yáñez *et al.* (2009) en donde modelaron los arribos reportados con base a variables ambientales (precipitación, temperatura

superficial del mar, y surgencia; con solo las variables de temperatura superficial del mar siendo la variable significativa).

Además de crear un modelo lineal multivariante para complementar el trabajo de Betancourt-Aguirre (2018), también se monitoreo las tallas y pesos del pulpo café durante el último trimestre de la temporada de pesca 2020-2021 en Bahía de Los Ángeles para realizar observaciones respecto a la talla legal del pulpo café (DOF, 2016), ya que la talla legal está basado en el estudio de Castellanos Martinez (2008) el cual se realizó durante un año niño, creando una posible situación de sesgo en las tallas para ese año en particular.

OBJETIVO

El propósito principal del presente trabajo fue ampliar la investigación sobre la relación entre la captura de pulpo en Bahía de los Ángeles con la temperatura superficial del mar y la precipitación.

Objetivos específicos

1. Evaluar el comportamiento de la captura de pulpo y su relación con la variabilidad ambiental con procedimientos alternativos a los ya realizados con anterioridad.
2. Monitoreo de especies secundarias capturadas en la pesquería de pulpo durante el último trimestre de la temporada de pesca de pulpo 2020-2021.
3. Determinar la estructura de tallas de captura de pulpo durante el último trimestre de la temporada de captura 2020-2021.

METODOLOGÍA

I. Modelo de arribos

Se realizó un modelo lineal multivariante. El modelo se realizó con R Studio Versión 1.4.1106. Los datos de captura a nivel de avisos de arribo se obtuvieron de CONAPESCA vía solicitud al Instituto Nacional de Acceso a la Información. Los datos de TSM se obtuvieron a través de imágenes satelitales del sensor MODIS-Aqua (NASA, 2021) del periodo 2003-2020 para el área del Golfo de California en pixeles de 4 km. Los datos de TSM fueron tratados para obtener los datos del golfo

norte, latitud $28^{\circ} 42' 36''$ N como límite sur. También se filtraron datos de TSM del polígono que considera el área de pesca: límite de latitud norte $29^{\circ} 30' 0''$ N, límite de latitud sur $28^{\circ} 47' 24''$ N, límite de longitud hacia el este $113^{\circ} 7' 48''$ W (Figura 1). Posteriormente, se calculó el promedio de la TSM para cada estación del año: Invierno, que considera los valores de TSM de los meses de enero, febrero y marzo; primavera, los meses de abril, mayo y junio; verano, julio, agosto y septiembre; otoño, octubre, noviembre y diciembre. Los datos de precipitación se obtuvieron de las estaciones meteorológicas de Bahía de los Ángeles y San Borja, vía Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2021). Datos faltantes se obtuvieron de la estación meteorológica automática de Bahía de Los Ángeles contactando a la CONAGUA. La precipitación también fue separada por estación y se calculó el total por estación para cada año.

En la realización del modelo se usaron datos ambientales (TSM promedio por estación y Precipitación mensual promedio por estación) de un año para predecir los arribos totales de pulpo del siguiente año. Para la creación del modelo se hizo una regresión por pasos para obtener las variables significativas en la creación del modelo. Para los tres modelos que fueron significativos se utilizó el Criterio de Información de Akaike (AIC) para ver qué modelo se ajusta mejor a los datos sin ser demasiado complejo. El modelo del valor mínimo de AIC, el de mejor parsimonia (Aho et al., 2014), fue el que se seleccionó como el “mejor”.



Figura 1. A) Región del Golfo de California norte que se utilizó para la obtención de la Temperatura Superficial del Mar promedio por estación del año. B) Región de Bahía de Los Ángeles (encapsulando el área de pesca) que se utilizó para la TSM promedio por estación. Solo se usaron las temperaturas del mar, las islas son omitidas.

II. Trabajo de Campo

Con el apoyo de Buzos de Bahía SPR de RL, grupo pesquero que participa en el FIP de Pulpo, se realizaron dos salidas de campo a la zona de pesca de Ángel de la Guarda, límite noreste de la Reserva de la Biosfera de Bahía de los Ángeles, Canales de Ballenas y Salsipuedes. Las fechas de dichas salidas fueron el 14 y el 28 de Mayo de 2021. Se registraron las especies y cantidades de las capturas secundarias (carnada). También se registró el número de pulpos por trampa, la especie, el sexo, los pesos y tallas de ejemplares de pulpo.

Asimismo, durante el mes de mayo se realizaron visitas al centro de acopio de un comercializador local participante en el FIP de Pulpo, Ocean Warrior, para realizar muestreo biológico de pulpo. Los datos recolectados son: Especie, talla (cm), peso (g) y sexo del pulpo. La distinción de sexo se realizó mediante la presencia o ausencia clara del brazo hectocotilizado (Castellanos Martinez, 2008; Wells et al., 1977), en monitoreo de pulpos ya eviscerado, o mediante la observación de las visera en casos de pulpos con visera (Budelmann et al., 1997; Castellanos Martinez, 2008).

III. Comparaciones de longitud y peso

Para la comparación de datos de talla y peso entre los pulpos arribados durante el último trimestre de la temporada de pesca 2020-2021 se utilizaron métodos bayesianos de cadenas de Markov Monte Carlo con distribuciones normal de verosimilitud y distribución uniforme como previa (Kery & Schaub, 2012). Se compararon las distribuciones de medias y sus desviaciones estándar entre hembras y machos. Esto se realizó con los programas R Studio Versión 1.4.1106 y JAGS: Just Another Gibbs Sampler 4.3.0.

IV. Captura por trampa de pulpo

Para obtener la captura por trampa de pulpo se realizó utilizando métodos bayesianos de cadenas de Markov Monte Carlo con previa de distribución uniforme y verosimilitud de distribución Poisson; se eligió la distribución Poisson de verosimilitud para datos de conteo debido a que el número de pulpos por trampa son variables discretas con una frecuencia de ocurrencia (Kery & Schaub, 2012).

RESULTADOS

I. Modelo de arribos

Cuatro modelos lineales multivariante fueron significativos después de realizar la regresión por pasos (Tabla 1). De estos cuatro el modelo que mejor se ajustó a los datos es el siguiente:

$$N_{(año)} = 153.8874TSMGN_{Otoño(año-1)} - 152.0907TSMBLA_{Otoño(año-1)} - 1.9734P_{Verano(año-1)}$$

Donde:

$N_{(año)}$: Arribo anual de cierto año

$TSMGN_{Otoño(año-1)}$: Promedio de TSM del golfo norte en otoño del año previo

$TSMBLA_{Otoño(año-1)}$: Promedio de TSM en Bahía de Los Ángeles en otoño del año previo

$P_{Verano(año-1)}$: Promedio de precipitación mensual en Bahía de Los Ángeles en verano del año previo

El análisis de residuales del modelo mostro normalidad después de realizar la prueba Shapiro-Wilks ($p=0.28$), con la media de cero (media= -0.02), residuales independientes con la prueba Durbin-Watson ($p=0.12$) a pesar de tener colinearidad entre las TSMs, y los subconjuntos de los residuales son homogéneos al realizar la prueba de Breusch-Pagan ($p=0.69$). El r^2 del modelo es de 0.94. El error estándar de residuales de 23.96 (Figura 2).

La variable más importante del modelo es la precipitación con 0.45 del valor de r^2 . Este seguido por la TSM en Bahía de Los Ángeles con 0.27 del valor de r^2 , y finalmente la TSM del golfo norte con 0.22 del valor de r^2 .

Tabla 1. Los modelos de arribos de pulpo por año que resultaron significativos con sus respectivos valores de r^2 y de AIC. Las variables representan el promedio de la TSM en el golfo norte en dicha estación del año previo ($TSMGM$), el promedio de la temperatura superficial del mar en Bahía de Los Ángeles en dicha estación el año previo ($TSMBLA$), y el promedio de lluvia mensual en Bahía de Los Ángeles en dicha estación el año previo (P).

Modelo	r^2	AIC
$N_{(año)} = 153.8874TSMGN_{Otoño(año-1)} - 152.0907TSMBLA_{Otoño(año-1)} - 1.9734P_{Verano(año-1)}$	0.94	155.37
$N_{(año)} = 88.9192TSMGN_{Verano(año-1)} - 90.1171TSMBLA_{Verano(año-1)} - 2.0295P_{Verano(año-1)}$	0.93	158.84
$N_{(año)} = 4.3921TSMGN_{Otoño(año-1)} - 2.1621P_{Verano(año-1)}$	0.90	160.36
$N_{(año)} = 4.4608TSMBLA_{Otoño(año-1)} - 2.1578P_{Verano(año-1)}$	0.90	160.75

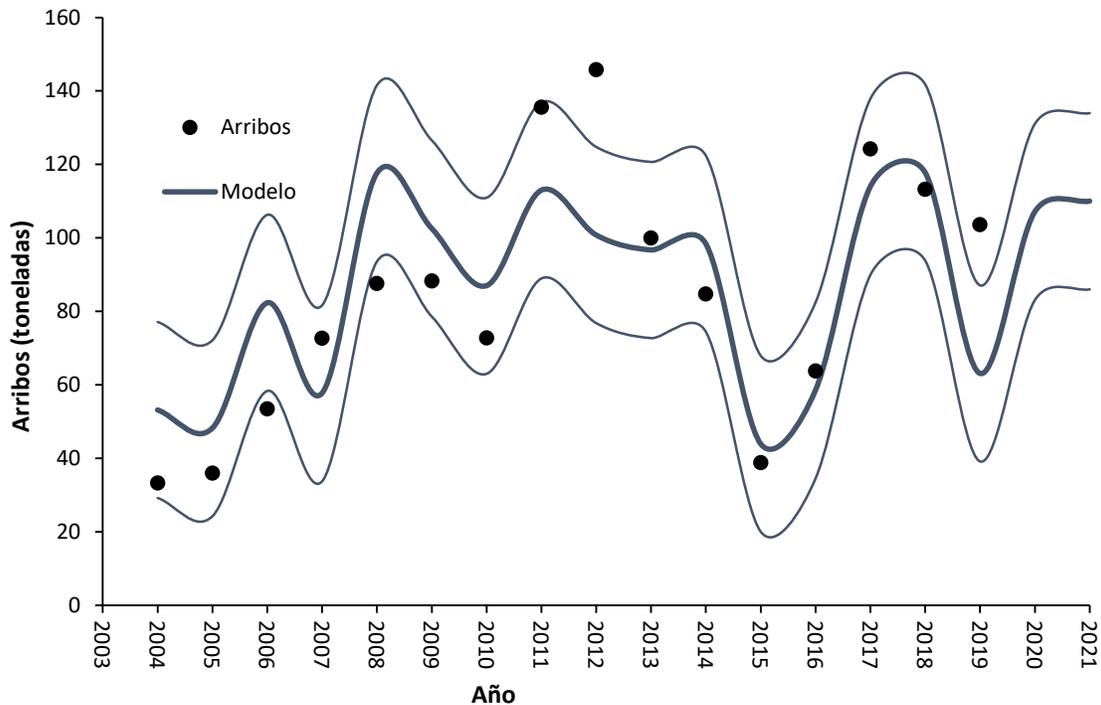


Figura 2. Los puntos negros representan los arribos (toneladas) de pulpo registrados por CONAPESCA en el área de Bahía de Los Ángeles del periodo 2004-2019. La línea gruesa azul marina representa el modelo de los arribos $N_{(año)} = 153.8874TSMGN_{Otoño(año-1)} - 152.0907TSMBLA_{Otoño(año-1)} - 1.9734P_{Verano(año-1)}$ con las líneas delgadas azul marinas son el error estándar de ± 23.96 . También incluido están las predicciones de los años sin datos de arribos de 2020 y 2021 El modelo tiene una r^2 de 0.94.

II. Captura para carnada e incidental

La captura de carnada y de pulpo resultó en por lo menos 21 especies capturadas, sea incidental o para uso como carnada; de estas especies la que mayor se capturó en la red agallera fue el rayadillo (*Microlepidotus ignorantes*), seguido por la lisa (*Mugil cephalus*), las mojarra (*Gerres cinereus*, *Abudefduf troschelii*), y chopas (*Girella nigricans*, *Kyphosus vaigiensis*) (Tabla 2). Todas las especies anteriores se usaron para carnada. Las especies de captura incidental de la Tabla 2 fueron capturadas con una incidencia menor.

Algunas especies, sí se encontraban aún con vida en la red agallera o en las trampas de pulpo fueron liberadas, tales como los lupones (*Scorpaena guttata*, *Scorpaenodes xyris*), el tiburón perro (*Heterodontus mexicanus*), las cabrillas (*Paralabrax maculatofasciatus*, *Paralabrax auroguttatus*), y los erizos (Tabla 2).

Tabla 2. Nombre común, especie, estatus de conservación de la lista roja de IUCN, el método con el cual se capturo, para que fue la captura y la proporción de captura de las especies en la práctica de la pesquería del pulpo.

Nombre común	Especie	Estatus de conservación	Método de captura	Captura:	Proporción de captura
Barracuda	<i>Sphyræna lucacana</i>	Falta de datos	Red agallera	Para carnada	0.02
Cabrilla arenera	<i>Paralabrax maculatofasciatus</i>	Preocupación menor	Trampa de pulpo	Incidental (liberado)	0.02
Cabrilla extranjera	<i>Paralabrax auroguttatus</i>	Falta de datos	Trampa de pulpo	Incidental (liberado)	0.02
Canelo	<i>Atherinops affinis</i>	Preocupación menor	Red agallera	Para carnada	0.05
Caracol	<i>Muricanthus princeps</i>	Desconocido	Trampa de pulpo	Incidental	0.02
Chile	<i>Synodus scituliceps</i>	Preocupación menor	Red agallera	Para carnada	0.02
Chopa negra	<i>Girella nigricans</i>	Preocupación menor	Red agallera	Para carnada	0.02
Chopa rayada	<i>Kyphosus vaigiensis</i>	Preocupación menor	Red agallera	Para carnada	0.05
Erizo	--	--	Trampa de pulpo	Incidental (liberado)	0.02
Estrella de mar del golfo	<i>Heliaster kubiniji</i>	Desconocido	Trampa de pulpo	Incidental (liberado)	0.02
Guajo	--	--	Red agallera	Para carnada	0.02
Lisa	<i>Mugil cephalus</i>	Preocupación menor	Red agallera	Para carnada	0.07
Lupón negro	<i>Scorpaena guttata</i>	Falta de datos	Red agallera	Incidental (liberado)	0.02
Lupón rojo	<i>Scorpaenodes xyris</i>	Preocupación menor	Red agallera	Incidental (liberado)	0.02
Manta	<i>Hypanus dipterurus</i>	Falta de datos	Red agallera	Incidental	0.02
Mojarra	<i>Gerres cinereus</i>	Preocupación menor	Red agallera	Para carnada	0.02
Mojarra rayada	<i>Abudefduf troschelii</i>	Preocupación menor	Red agallera	Para carnada	0.05
Palometa	<i>Peprilus snyderi</i>	Preocupación menor	Red agallera	Para carnada	0.05
Rayadillo	<i>Microlepidotus inornatus</i>	Preocupación menor	Red agallera	Para carnada	0.42
Tiburón mamón	<i>Mustelus californicus</i>	Preocupación menor	Red agallera	Incidental	0.02
Tiburón perro	<i>Heterodontus mexicanus</i>	Preocupación menor	Red agallera	Incidental (liberado)	0.02

III. Longitud y Peso

Del total de ejemplares que se muestreó (430) solo seis eran pulpo verde, el análisis solo toma en cuenta el pulpo café. En el mes de mayo 2021 las hembras tienen una media de 930.5 g con una desviación estándar para la media de 55.1 g (Tabla 3). La desviación estándar del peso de las hembras es de 303.9 g con una desviación estándar del vector desviación estándar de 41.5 g (Tabla 3). Durante el mismo periodo el pulpo macho tiene una media de peso 720.8 g con desviación estándar del vector media de 44.0 g (Tabla 3). La desviación estándar del peso de machos es de 253.4 g con desviación estándar del vector de desviación estándar de 32.7 g (Tabla 3). Es 99.8% probable que las hembras sean de peso mayor que los machos durante el mes de mayo 2021. En ambos sexos durante el mes de mayo 2021 la media de peso es de 691.5 g con desviación estándar del vector media de 12.1 g. La desviación estándar es de 248.5 g y una desviación estándar del vector de 8.6 g.

En el mes de mayo 2021 la longitud total media de las hembras es de 65.5 cm con desviación estándar del vector media de 1.5 cm (Tabla 3). La desviación estándar de la longitud total de las hembras es de 8.7 cm con desviación estándar del vector desviación estándar de 1.1 cm (Tabla 3). Los machos en el mes de mayo 2021 tienen una longitud total media de 61.2 cm con desviación estándar del vector media de 2.0 cm (Tabla 3). La desviación estándar de la longitud total de los machos es de 11.8 cm con desviación estándar del vector desviación estándar de 1.5 cm (Tabla 3). Hay una probabilidad de que la longitud total de las hembras sea mayor a la longitud total de machos de 95.7% (Tabla 3).

La media de la longitud del manto durante mayo 2021 de las hembras es de 12.2 cm con una desviación estándar del vector media de 0.34 cm (Tabla 3). La desviación estándar de la longitud del manto de las hembras durante este periodo es de 1.9 cm con una desviación estándar del vector desviación estándar de 0.26 cm (Tabla 3). Durante mayo 2021 la media de la longitud del manto de machos es de 11.3 cm con desviación estándar del vector de 0.33 cm (Tabla 3). La desviación estándar de la longitud del manto de los machos durante el mismo periodo es de 2.0 cm con desviación estándar del vector de 0.25 cm (Tabla 3). La probabilidad de que la longitud del manto de las hembras sea mayor durante mayo 2021 es de 96.8% (Tabla 3).

Tabla 3. Rangos de valores de medias y desviaciones estándar al 95% de probabilidad durante el mes de mayo 2021 para mediciones de peso, longitud total, longitud del manto entre hembras y machos de pulpos café (*O. bimaculatus*).

	Hembras		Machos	
	Media	Desviación Estándar	Media	Desviación Estándar
Peso (g)	[820.3, 1040.7]	[220.9, 386.9]	[632.8, 808.8]	[188.0, 318.8]
Longitud total (cm)	[62.5, 68.5]	[6.5, 10.9]	[57.2, 65.2]	[8.8, 14.8]
Longitud del manto (cm)	[11.5, 12.9]	[1.4, 2.4]	[10.6, 12.0]	[1.5, 2.5]

IV. Captura por trampa de pulpo

Se encontró que la captura por unidad esfuerzo (CPUE) a nivel trampa es de 0.304 pulpos por trampa durante el mes de mayo 2021. A mediados del mes de mayo el valor de CPUE era de 0.445 pero este decayó a finales del mes con un valor de 0.147 en el último muestreo del mes. |

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

I. Modelo de arribos y variables ambientales

La captura de pulpo se ha modelado en diferentes áreas alrededor del mundo utilizando variables ambientales (Chédia *et al.*, 2010; Diankha & Thiaw, 2016; Vargas-Yáñez *et al.*, 2009), entre las cuales se han encontrado significativas principalmente la TSM, surgencias, precipitación, entre otras variables. Para este estudio se tomó como referencia el estudio de Vargas-Yáñez *et al.* (2009) en el cual crean un modelo lineal multivariante utilizando como base la TSM por estación, surgencia, y precipitación; esto como propósito para complementar el estudio de Betancourt-Aguirre (2018). Al igual que con el estudio de Betancourt-Aguirre (2018), la temperatura superficial del mar en Bahía de Los Ángeles tuvo un efecto inverso a los arribos (ver la variable de TSMBLA en el modelo descrito en este reporte). Cabe mencionar que los años pesqueros tomados en cuenta son diferentes en los dos modelos, el modelo de Betancourt-Aguirre considera el año pesquero de mayo-abril, mientras que en el presente trabajo es de enero-diciembre.

En nuestro estudio la variable más importante fue el promedio de la precipitación mensual de julio-septiembre. Lo cual explica la disminución que hubo en el 2015 después de que el Huracán Odil afectó a Bahía de Los Ángeles en septiembre 2014. Una posibilidad del efecto negativo es la precipitación es la sedimentación que viene con las fuertes lluvias, que puede causar la muerte de los huevecillos de pulpo, ya que la temporada de julio, agosto, septiembre es justo en temporada reproductiva.

El promedio de la TSM tiene básicamente la misma importancia en ambos sitios que se consideraron, el golfo norte y en Bahía de los Ángeles. Inclusive si se remueve una de las TSM se continúa teniendo un buen modelo, o si se intercambia la temperatura del modelo sale prácticamente el mismo modelo (Tabla 1). Usando ambas TSM, aún con la colinealidad que esto causa, resulta un mejor modelo predictivo. Es posible que la segunda TSM (Bahía de Los Ángeles) sea un indicador de alguna otra variable ambiental tal como surgencia, profundidad de la termoclina, nutrientes, entre otros. Se recomienda probar las variables mencionadas en el modelo para analizar si pueden remplazar la TSM en Bahía de Los Ángeles o la del golfo norte. Lo importante a notar en el modelo es que cuando hay evento que cause un promedio mensual de más de 20 mm/m² durante el verano, la captura del siguiente año tiende a decaer. Lo que aún se desconoce es si el efecto de la precipitación es igual cuando la precipitación está distribuida en lluvias pequeñas durante los tres meses o si son por causa de eventos puntuales y fuertes.

II. Captura para carnada e incidental

Las especies capturadas para carnadas o las especies que son capturadas incidentalmente en las redes agalleras o en las trampas de pulpo durante los monitoreos del mes de mayo 2021 son especies que caen en tres diferentes estatus de conservación: preocupación menor, falta de datos, o desconocido. Debe hacerse esfuerzos para estudios poblacionales y reproductivos en algunas de las especies con falta de datos o desconocidos; principalmente en *H. dipterurus* por ser un elasmobranquio que pueden ser de reproducción lenta haciéndolo más vulnerable y debido a su captura incidental en redes de fondo (Furumitsu *et al.*, 2019; Garcés-García *et al.*, 2020) y *P. auroguttatus* por su importancia pesquera (Erisman *et al.*, 2010).

III. Longitud y Peso

El rango de la media de peso del mes de mayo 2021 de ambos sexos al 95% de probabilidad es [667.3, 715.7] gramos y el rango de la desviación estándar es de [231.3, 265.7] gramos. Estos rangos

indican que al 95% de probabilidad la media se encuentra en esos rangos de valores y lo mismo con la desviación estándar. Este estudio se debe aplicar a todos los meses dónde hay captura de pulpo para ver las variaciones del peso y así poder tomar una mejor decisión sobre la talla mínima de captura. Para tal, en anexos se encuentra el código para poner en R para correr el estudio bayesiano en JAGS.

Cabe mencionar que Mayo, siendo uno de los últimos meses de pesca antes del inicio de la veda de pulpo en Bahía de Los Ángeles y meses dónde las tallas y pesos de pulpo son mayores a los meses anteriores presenta pesos y tallas en gran proporción menores a las tallas y pesos mínimos legales (DOF, 2016). En cuanto al peso legal de 757 gramos para los machos, 55 % cae debajo de ese peso; y las hembras con peso legal de 1029 g, 63% cae debajo de ese peso (Figura 3).

Algo similar pasa con las longitudes de manto legales (DOF, 2016). Para los machos la longitud de manto legal mínima es de 124.5 mm, en este caso 72% cae debajo de esa talla; la longitud de manto legal para las hembras es de 143.5 mm, y en este caso 86% cae debajo de esa talla (Figura 4).

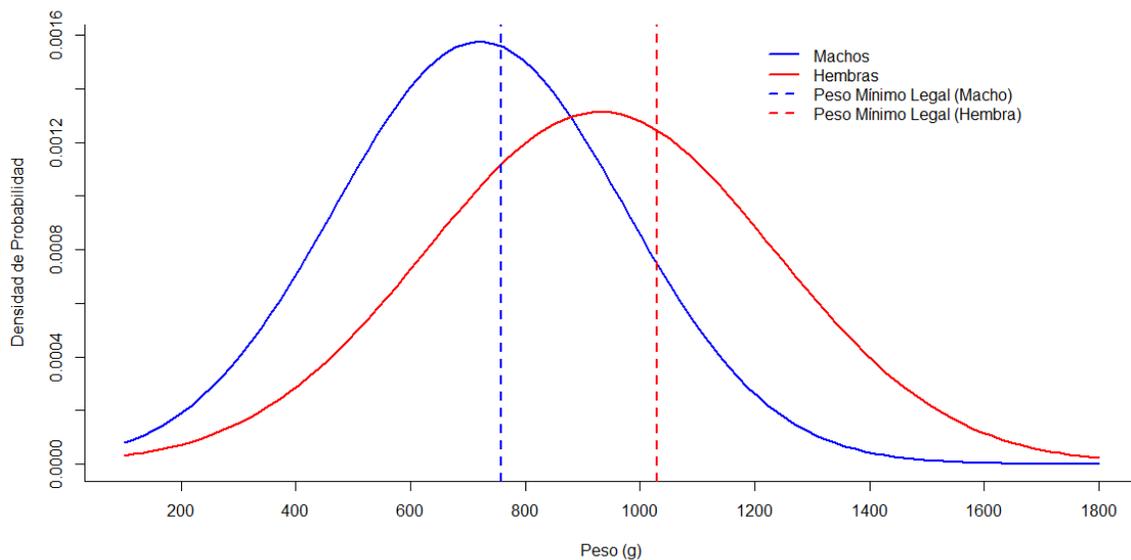


Figura 3. Distribuciones de pesos de hembras y machos en el mes de Mayo 2021 con las líneas que identifican el peso legal. Para los machos 55.7% cae debajo del peso legal y para las hembras 62.7 %.

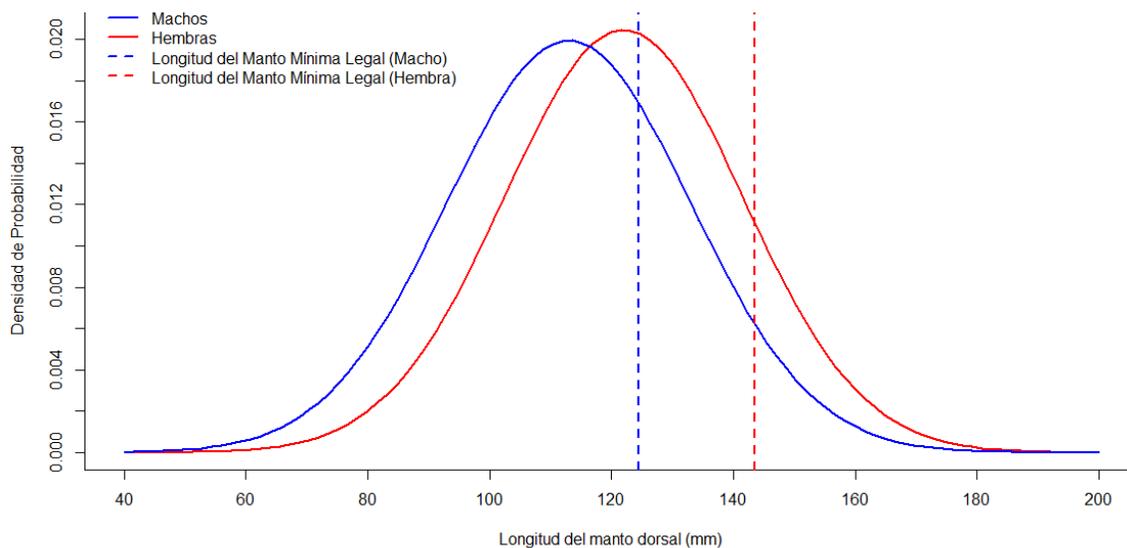


Figura 4. Distribuciones de tallas del manto de hembras y machos en el mes de mayo 2021 con las líneas que identifican la talla de manto legal. Para los machos 71.7% cae debajo de la talla legal y para las hembras 86.5 %.

II. Captura por trampa de pulpo

La CPUE (trampa) en mayo fue de 0.30 pulpos por trampa. Sin embargo, a mediados de mayo se tuvo una CPUE de 0.44 pulpos por trampa. La CPUE en mayo se vio disminuida hacia finales del mes por dos razones: 1) el inicio del periodo reproductivo del pulpo café (Ambrose, 1988; Castellanos Martinez, 2008), y 2) robo de pulpo, en el muestreo hubo evidencia de varias trampas en las cuales se robaron el pulpo.

El primer punto del inicio reproductivo también contribuyo a la falta de muestreo del mes de junio debido a que varios pescadores guardaron sus trampas para el próximo año y cambiaron de pesquería, así como a que en el centro de acopio no reportaron arribo de pulpo para su medición.

Recomendaciones

- Reevaluar, modificar o eliminar las tallas y pesos mínimos como medida de manejo establecido en el *Acuerdo por el que se establece la veda temporal y tallas mínimas de captura para la pesca de las especies de pulpo en Bahía de los Ángeles, Baja California* (DOF, 2016).

- Realizar un estudio de sedimentación causada por precipitación en el área de Bahía de Los Ángeles para poder determinar la precipitación que causa suficiente sedimentación para la destrucción de hábitat del pulpo.
- Continuar el monitoreo de especies ETP y secundarias de la pesquería de pulpo.
- Probar las variables de surgencia, profundidad de termoclina, y nutrientes en el modelo. Al mismo tiempo, validar el modelo con las tendencias anuales de arribos de las libretas de pescadores.

ANEXO

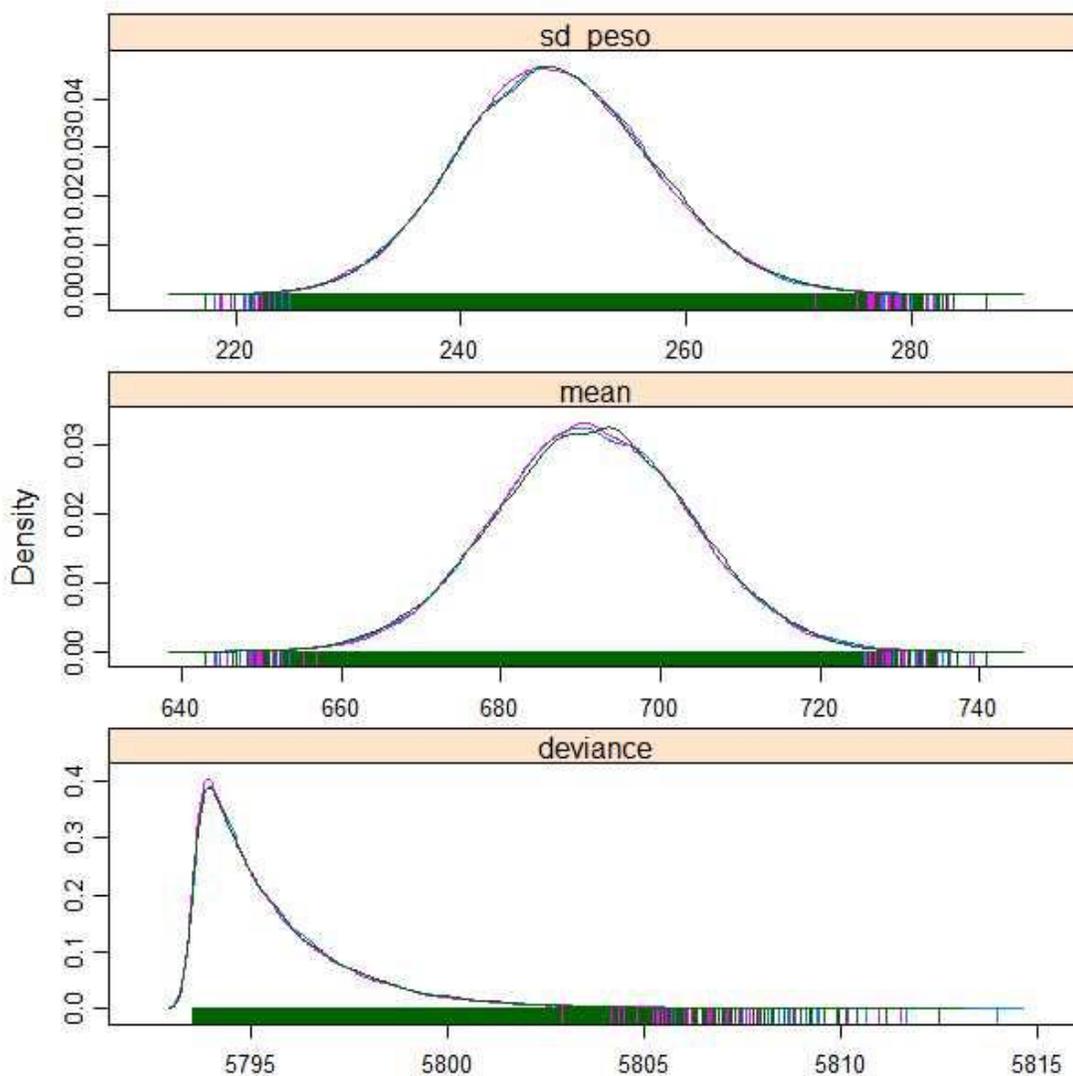


Figura 2. Ejemplo de las 3 cadenas Markov Monte Carlo haciendo convergencia y manteniéndose unidas en la obtención de la media y desviación estándar de peso de pulpo en mayo 2021.

Cuadro 1. Código en R Studio para realizar los análisis bayesianos en JAGS de la diferencia en medias de pesos de los diferentes meses. Se requiere el paquete "R2jags".

```
#####Diferencias entre MESES
```

```
sink("modelo_peso_mes.txt")
```

```
cat(
```

```

"model {

# likelihood of data
for(i in 1:n_peso){
N[i]~dnorm(mean[mes[i]],1/pow(sd_peso[mes[i]],2))

# priors
for (j in 1:n_mes){
mean[j] ~ dunif(min_mean,max_mean)
sd_peso[j] ~ dunif(min_sd,max_sd)}

#diferences
meandifAM<-mean[1]-mean[2]
sdif<-sd_peso[1]-sd_peso[2]
}";
fill=TRUE)
sink() # end of JAGS model

data_list<-list(
n_peso=nrow(pulpocafe),
N=pulpocafe$PESO.EVISCERADO.GRAMOS,
min_mean=100,
max_mean=1600,
min_sd=0,
max_sd=500,
mes=pulpocafe$MES,
n_mes=length(unique(pulpocafe$MES)))

monitor<-c("mean", "sd_peso", "meandifAM",

```

```

"sdif")
# MCMC control
n.chains <- 3
n.iter <- 200000
n.burnin <- n.iter*0.1
n.thin <- 10

# Run analysis:
require(R2jags)

out <- jags(data = data_list,
            # inits = inits.list,
            parameters.to.save = monitor,
            model.file = "modelo_peso_mes.txt",
            n.chains = n.chains,
            n.thin = n.thin,
            n.iter = n.iter,
            n.burnin = n.burnin,
            DIC = T)

#### MODEL RESULTS ####
# Summarize posteriors and statistics:
model_summary <- print(out, dig=3) # number of decimals for the output.

```

REFERENCIAS

- Aho, K., Derryberry, D., & Peterson, T. (2014). Model selection for ecologists : the worldviews of AIC and BIC. *Ecology*, *95*(3), 631–636. <http://www.esajournals.org/doi/full/10.1890/13-1452.1>
- Ambrose, R. F. (1988). Population dynamics of *Octopus bimaculatus*: influence of life history patterns, synchronous reproduction and recruitment. *Malacologia*, *29*(1), 23–39.
- Berry, S. S. (1953). Preliminary diagnoses of six west American species of octopus. *Leaflets in Malacology*, *1*(10), 51–58.
- Betancourt Aguirre, M. (2018). *Modelo predictivo de la captura de pulpo café en Bahía de Los Angeles, Baja California, basado en la variabilidad ambiental de la región*.
- Boyle, P., & Rodhouse, P. G. K. (2005). *Ecology and Fisheries*. Blackwell Publishing, Ames, Iowa, .
- Brusca, R. C. (1980). *Common intertidal invertebrates of the Gulf of California* (Vol. 2). University of Arizona Press Tucson.
- Budelmann, B. U., Schipp, R., & Boletzky, S. V. (1997). *Cephalopoda: Microscopic Anatomy of Invertebrates*. Harrison, FW, Kohn, AJ, Eds.
- Caddy, J. F. (1983). The cephalopods: factors relevant to their population dynamics and to the assessment and management of stocks. *Advances in Assessment of World Cephalopod Resources*, *231*, 416–449.
- Castellanos Martinez, S. (2008). *Reproducción del pulpo Octopus bimaculatus Verrill, 1883 en Bahía De Los Angeles, Baja California, México*. Instituto Politécnico Nacional.
- Chédia, J., Widien, K., & Amina, B. (2010). Role of sea surface temperature and rainfall in determining the stock and fishery of the common octopus (*Octopus vulgaris*, Mollusca, Cephalopoda) in Tunisia. *Marine Ecology*, *31*(3), 431–438. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.2009.00345.x>
- CONAGUA. (2021). Recuperado el 1 de junio de 2021, de <https://smn.conagua.gob.mx/tools/RECURSOS/Mensuales/bc/00002044.TXT>
- CONANP. (2014). Programa de Manejo Reserva de la Biósfera Bahía de Los Ángeles, Canales de

- Ballenas y de Salsipuedes. In *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales* (Issue 1).
- Diankha, O., & Thiaw, M. (2016). Studying the ten years variability of *Octopus vulgaris* in Senegalese waters using generalized additive model (GAM). *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 4(3), 61–67.
- Acuerdo por el que se establece la veda temporal y tallas mínimas de captura para la pesca de las especies de pulpo en Bahía de los Ángeles, Baja California, Pub. L. No. DOF: 01/06/2016, 4 (2016). https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5439570&fecha=01/06/2016
- Erisman, B., Mascarenas, I., Paredes, G., Sadovy de Mitcheson, Y., Aburto-Oropeza, O., & Hastings, P. (2010). Seasonal, annual, and long-term trends in commercial fisheries for aggregating reef fishes in the Gulf of California, Mexico. *Fisheries Research*, 106(3), 279–288. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2010.08.007>
- Furumitsu, K., Wyffels, J. T., & Yamaguchi, A. (2019). Reproduction and embryonic development of the red stingray *Hemirhamphys akajei* from Ariake Bay, Japan. *Ichthyological Research*, 66(4), 419–436. <https://doi.org/10.1007/s10228-019-00687-9>
- Garcés-García, K. C., Tovar-Ávila, J., Vargas-Trejo, B., Chávez-Arrenquín, D. A., Walker, T. I., & Day, R. W. (2020). Elasmobranch bycatch by prawn trawls in the Gulf of California: First comprehensive analysis and the effect of fish escape devices. *Fisheries Research*, 230(March 2019), 105639. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2020.105639>
- Kery, M., & Schaub, M. (2012). Bayesian Population Analysis Using WinBUGS. In *Bayesian Population Analysis Using WinBUGS*. <https://doi.org/10.1016/C2010-0-68368-4>
- López-Urriarte, E., Ríos-Jara, E., & Pérez-Peña, M. (2005). Range extension for *Octopus hubbsorum* (Mollusca: Octopodidae) in the Mexican Pacific. *Bulletin of Marine Science*, 77(2), 171–176.
- NASA. (2021). *OceanColor Web*. Recuperado el 1 de junio de 2021, de <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>
- Norman, M. D. (2000). *Cephalopods, a world guide: Pacific Ocean, Indian Ocean, Red Sea, Atlantic Ocean, Caribbean, Arctic, Antarctic*. (ConchBooks (Ed.); 2nd ed.). IKAN Unterwasserarchiv.
- Proyectos de Mejora de Pesquerías. (2021). Recuperado el 20 de julio de 2021, de <https://www.msc.org/es/msc.org/area-empresas/pesquerias/paises-en-desarrollo-y->

pequena-escala/proyectos-de-mejora-de-pesquerias

- Sobrino, I., Rueda, L., Tugores, M. P., Burgos, C., Cojan, M., & Pierce, G. J. (2020). Abundance prediction and influence of environmental parameters in the abundance of Octopus (*Octopus vulgaris* Cuvier, 1797) in the Gulf of Cadiz. *Fisheries Research*, 221. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2019.105382>
- Torreblanca Ramírez, E. (2008). *Bases para el manejo de la pesquería del pulpo (Octopus bimaculatus, Verril 1883) en la Reserva de la Biosfera Bahía de los Angeles, canales de ballenas y salsipuedes, Baja California, México*. Universidad Autónoma de Baja California.
- Vargas-Yáñez, M., Moya, F., García-Martínez, M., Rey, J., González, M., & Zunino, P. (2009). Relationships between *Octopus vulgaris* landings and environmental factors in the northern Alboran Sea (Southwestern Mediterranean). *Fisheries Research*, 99(3), 159–167. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2009.05.013>
- Wells, M. J., Wells, J., Giese, A. C., & Pearse, J. S. (1977). Cephalopoda: Octopoda. *Reproduction of Marine Invertebrates*, 4, 291–336.