



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA.
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS.
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS.

Variabilidad ambiental y del ecosistema en la pesquería de Erizo Rojo en Baja California.

INFORME TÉCNICO.

ELABORADO POR: ALFONSO MEDELLÍN – ORTIZ.

POSGRADO EN OCEANOGRAFÍA COSTERA.

Resumen:

La pesquería de erizo rojo es una de las más importantes en Baja California y la única pesquería de erizo en México. El presente estudio se enfoca en comprender como la variabilidad ambiental local, regional y oceánica puede afectar a las poblaciones de erizo rojo. Se desarrollaron modelos generales lineales (GLM) para diferentes condiciones termales observadas: 1) Condiciones normales, 2) onda cálida y 3) post onda cálida; además se desarrollaron modelos para los sitios cuyas características termales fueron superiores, inferiores o promedio. Las variables utilizadas para estimar la densidad de erizo rojo fueron: capturas de erizo rojo, pez vieja, cabrilla sargacera y langosta roja, biomasa de sargazo gigante, temperatura superficial del mar, potencia del oleaje, índice de surgencias, índice multivariado de “El Niño” y el índice de la oscilación del giro del Pacífico Norte. Resultados previos mostraron que los sitios con mayor densidad de erizo rojo fueron ITS, PBan y PBaj; las capturas de pez vieja fueron mayores en PBan y PBaj, mientras que las capturas de cabrilla sargacera fueron mayores en Can. La captura de langosta fue mayor en la región de PBaj – ISJ – AS. Observamos que la variabilidad ambiental local, así como la disponibilidad de alimento y abundancia de depredadores fue de

mayor importancia para los cambios en la densidad de erizo rojo, comparado con las variables de escala regional (índice de surgencias) o de escala oceánica (MEI y NPGO). También observamos que la importancia de estas variables cambia dependiendo de la escala espacio – temporal considerada, lo que significa que las condiciones “normales o promedio” están reguladas por variables distintas comparadas con condiciones ambientales extremas como El Niño o La Mancha.

Objetivo:

Determinar como la variabilidad ambiental local, regional y oceánica afecta a las poblaciones de erizo rojo.

Métodos:

Variables biológicas

Erizo rojo (densidad poblacional):

Se implementó un Análisis virtual de Población basado en Tallas (LVPA, por sus siglas en inglés), utilizando información pesquera diaria por permisionario de 2000 a 2018, la estructura de tallas de las capturas de muestreos en plantas para 14 sitios de captura. Además, se estimó la mortalidad natural utilizando la Ecuación de Pauly (1980), que incluye parámetros ambientales (temperatura) y biológicos (tasa de crecimiento intrínseco y longitud infinita).



Serie de tiempo de temperatura superficial en 14 sitios de captura de erizo rojo. Se indican los periodos de cada condición termal temporal y espacial.

Estos parámetros fueron utilizados para estimar el tamaño de la población en número de organismos para los 14 sitios de manera mensual y anualizada.

La superficie de cada polígono de pesca autorizado para la captura de erizo fue delimitada utilizando las profundidades entre 5 y 30 m, así como el porcentaje de sustrato adecuado estimado por Palleiro y colaboradores (2013), se estimó el área disponible por polígono para la presencia de erizo rojo. Con esta información y los tamaños poblacionales de cada sitio, se calculó la densidad de erizo por metro cuadrado.

Biomasa de sargazo gigante:

Estimada mensualmente a través de imágenes de satélite Landsat con resolución de 30 m, con los métodos descritos en Cavanaugh et al. (2011) y Bell et al. (2018). Se delimitaron los mantos en dos zonas dependiendo de su nivel de biomasa: bordes (biomasa <800 ton/Ha) y núcleos (biomasa >800 ton/Ha).

Pez vieja, cabrilla sargacera y langosta roja:

Se utilizaron los datos de captura diarios por permisionario de cada especie para estimar la biomasa correspondiente utilizando la ecuación de diferencia del modelo de Shaefer:

$$B_{t+1} = B_t + rB_t \left(1 - \frac{B_t}{K}\right) - C_t$$

donde B es la biomasa del stock al tiempo t, r es la tasa intrínseca de crecimiento poblacional, K es el parámetro que corresponde al tamaño del stock en equilibrio y C es la captura al tiempo t que se supone es proporcional al tamaño del stock y al esfuerzo pesquero (Hilborn y Walters, 1992).

La información de capturas de pez vieja y cabrilla sargacera fue georreferenciada utilizando lo descrito por Claisse et al. (2012) quienes describen mayor abundancia de pez vieja en los bordes de los mantos, mientras que cabrilla se encuentra mayormente dentro de la zona media y núcleo del manto. La captura de cada permisionario se ubicó en los mantos que rodean los sitios de desembarque. Las capturas de langosta fueron referenciadas con base en los polígonos de pesca autorizados; ya que las trampas no son colocadas dentro de los mantos o a grandes profundidades, las zonas de mantos o mayores a 300 m de profundidad fueron excluidas.

Variables ambientales

Variables locales:

Temperatura superficial por sitio (SST) mensual de 2000 a 2018 obtenida a través de imágenes multi sensor de 4km por pixel. Las imágenes fueron procesadas en SEDAS (7) siguiendo los criterios de Karu et al. (2015) y Karu et al. (2012).

Altura significativa, periodo y dirección del oleaje, a través del modelo WW3 que produjo datos para la región por cada 3 hrs (García – Nava et al.). La altura significativa y el periodo del oleaje fueron utilizados para calcular la potencia del oleaje (CgE):



$$CgE = \frac{\rho g^2}{64\pi} TeHs^2 ; Te = \alpha Tp$$

donde ρ es la densidad del agua de mar (≈ 1024), g es la aceleración de la gravedad ($\approx 9.8 \text{ m s}^{-1}$), Hs es la altura significativa de la ola por sitio, Te es el periodo de la energía del oleaje con constante $\alpha = 0.88$ y Tp es el periodo del oleaje para cada sitio.

Variables regionales:

Índice de surgencias (upw), obtenido para la región a través de la División de Investigación Ambiental de la NOAA. Se utilizó el índice tradicional de Bakun (1973, 1975) para dos nodos: 33 y 30° N por ser las estaciones más cercanas a la zona de estudio.

Variables oceánicas:

Índice Multivariado de “El Niño” (MEI), obtenido mensual del Laboratorio de Investigación del Sistema Terrestre de NOAA.

Índice de la Oscilación del Giro del Pacífico Norte (NPGO), obtenido mensual del KNMI Climate Explorer.

Todas las variables fueron incluidas en los modelos como anomalías estandarizadas.

El modelo general lineal implementado fue:

$$\begin{aligned} rsu_{ijk} = & \beta_0 + \beta_1 kelp.biomass_{ijk} + \beta_2 Urchin.ct_{ijk} \\ & + \beta_3 Calsh.ct_{ijk} + \beta_4 Kelpsbs.ct_{ijk} \\ & + \beta_5 Lobst.ct_{ijk} + \beta_6 SST_{ijk} \\ & + \beta_7 CgE_{ijk} + \beta_8 Upw_{ijk} + \beta_9 MEI_{ijk} \\ & + \beta_{10} NPGO_{ijk} + \epsilon_{ijk} \end{aligned}$$

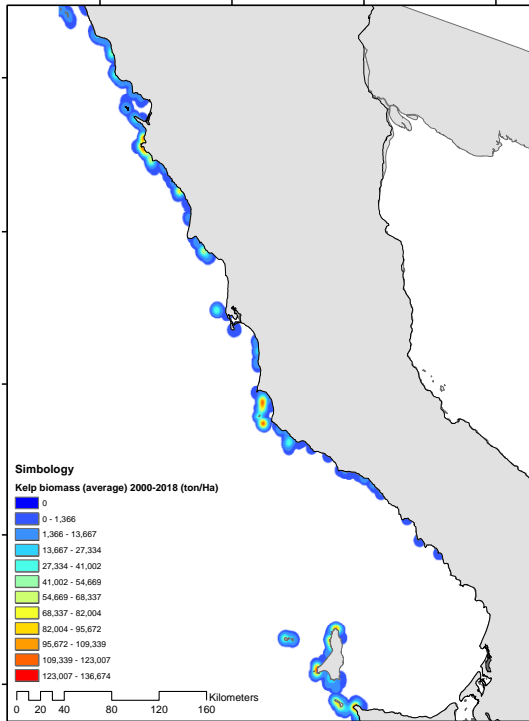
donde rsu es la densidad poblacional de erizo rojo para el mes i año j para el sitio k , ϵ_i es el error aleatorio bajo los efectos de $Urchin.ct$, $Calsh.ct$, $Kelpsbs.ct$,

$Lobst.ct$, SST , CgE , Upw , MEI y $NPGO$ para el mes i año j para el sitio k , respectivamente; $\beta_0 \dots \beta_{10}$ son parámetros a ser estimados.

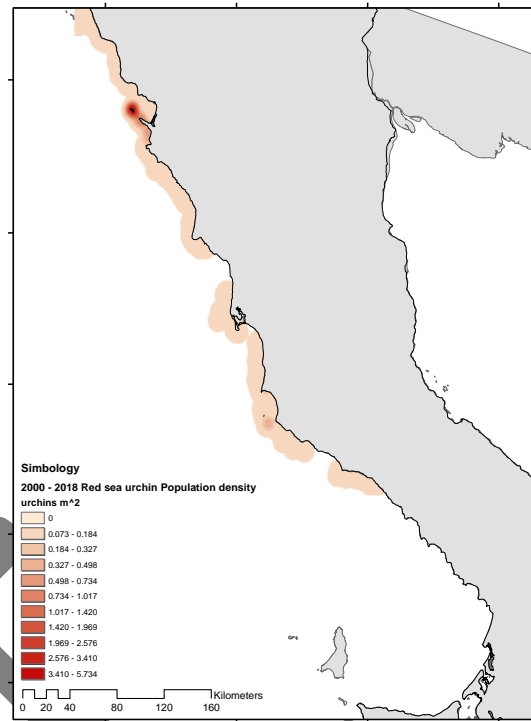
Además, analizamos la causalidad de las variables que tuvieron un efecto sobre la densidad poblacional de erizo rojo utilizando el paquete “Causallmact” (Brodersen et al., 2015; Brodersen y Hauser, 2020). Esta aproximación permite inferir el impacto causal que una “intervención” ejerce sobre un resultado medido en un periodo de tiempo, prediciendo la respuesta contra factual en un control sintético que hubiera ocurrido sin dicha intervención (Brodersen et al., 2015). Las variables estadísticamente significativas en los GLM fueron consideradas como “intervención” para evaluar su efecto en la densidad poblacional de erizo rojo.

Resultados:

La biomasa anual promedio de sargazo gigante para el periodo de 2000 a 2018 fue de 4,695 ton; los sitios de mayor biomasa fueron ITS – Pban, ST, ISM y PBaj – AS. La biomasa promedio de los bordes de los mantos oscilo entre 270 y 680 ton/Ha, mientras que la biomasa en los núcleos oscilo entre 800 y 1,300 ton/Ha.



Biomasa promedio de sargazo gigante para el periodo 2000 a 2018.



Densidad poblacional de erizo rojo para el periodo 2000 a 2018

Resultados previos reportaron a ITS – PBan y PBaj como los sitios con mayor densidad poblacional de erizo rojo (Medellin – Ortiz et al., 2020). Para la captura de pez vieja, PBan y PBaj obtuvieron las mayores capturas, mientras que la captura de cabrilla fue mayor en Can, con capturas altas también en PBaj – AS. La captura de langosta roja fue mayor en PBaj – ISJ – AS.

Las anomalías estandarizadas de biomasa de sargazo fueron positivas durante 8 años, sin observarse ningún patrón identificable, con la mayor anomalía negativa durante 2016. Cuatro de 14 sitios mantuvieron anomalías positivas de biomasa de sargazo para todo el periodo: ICS, PBan, ST and ISM.

La anomalía de densidad de población de erizo rojo mostro una tendencia positiva para el periodo entre 2009 y 2015, con anomalías negativas para los periodos de 2000 – 2008 y 2016 – 2018. ITS, PBan y AS fueron los únicos sitios que mantuvieron anomalías positivas de densidad poblacional de erizo rojo para el periodo de 2000 a 2018.

No se observó un patrón en las anomalías de captura de pez vieja y cabrilla, con SM-Col y PBaj-AS manteniendo anomalías positivas de

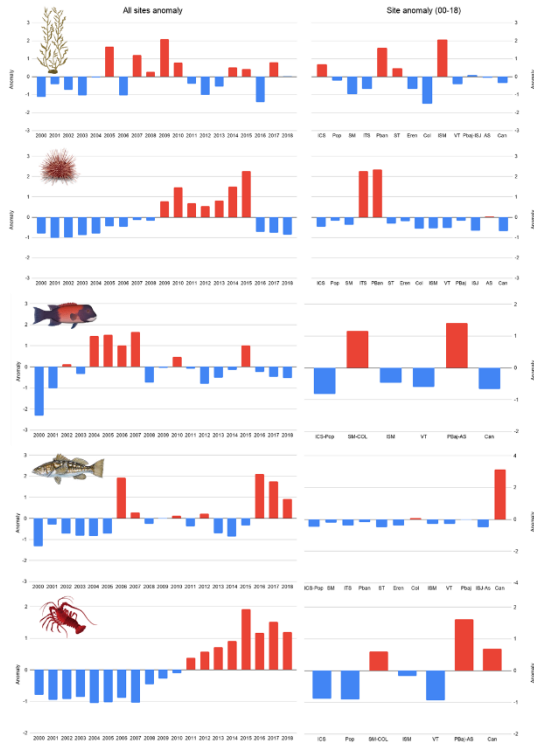


captura de pez vieja y Can con anomalías positivas de captura de cabrilla. Se observó un patrón claro en las anomalías de captura de langosta, con anomalías negativas de 2000 a 2010 y anomalías positivas de 2011 a 2018; SM-Col, PBaj-AS y Can mantuvieron anomalías positivas durante todo el periodo.

el periodo 2007 – 2018. Sin embargo, 2010 y 2016 registraron las anomalías positivas más altas del periodo. Solo 4 sitios mostraron anomalías positivas para todo el periodo: PBan, ISM, PBaj e ISJ-AS.

El valor promedio del índice de surgencias para el periodo oscilo entre 105.5 y 143.3 $m^{-3} * 100 m$ de línea de costa; las mayores anomalías positivas fueron durante 2007 y 2012, mientras que las mayores anomalías negativas ocurrieron durante 2004, 2014 y 2015. Se observó un patrón regional con los sitios más al norte (cercanos al nodo 33) estando más expuestos a anomalías positivas de surgencias, mientras que los sitios hacia el sur (cercanos al nodo 30) expuestos a anomalías de surgencia negativas.

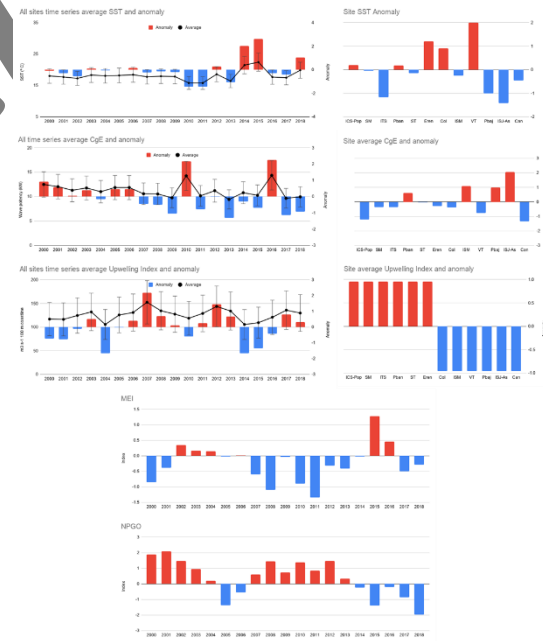
Se observaron dos periodos de anomalías positivas en el MEI durante 2002 – 2004 y 2015 – 2016, mientras que el NPGO mostro anomalías negativas durante el periodo de 2014 – 2018.



Anomalías estandarizadas anuales y por sitio de las variables biológicas.

Se observó alta variabilidad ambiental durante el periodo utilizado. La TSM promedio anual fluctuó entre 16.7 y 22.4° C, con los valores más altos durante 2-14 – 2015. Los sitios con anomalías térmicas positivas durante todo el periodo fueron ICS-Pop, SM, PBan, Eren, Col y VT.

La potencia de oleaje promedio (CgE) para todo el periodo osciló entre 9.4 y 14.3 $km m^{-1}$, con anomalías positivas para el periodo entre 2000 y 2006 (exceptuando 2004 con anomalía negativa), con anomalías negativas para

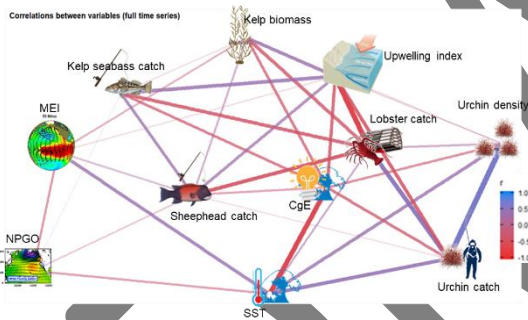


Anomalías estandarizadas anuales y por sitio de las variables ambientales.



Modelos con condiciones temporales específicas:

Se implementaron cuatro modelos considerando diferentes condiciones observadas en el tiempo: condiciones durante toda la serie de tiempo (2000 – 2018), condiciones previas a la onda cálida (2000 – 2011), condiciones durante la onda cálida (2012 – 2015), condiciones post onda cálida (2016 – 2018). Observamos que la correlación entre variables y su importancia relativa para explicar la variabilidad observada en la anomalía de densidad de poblacional de erizo rojo fue diferente, dependiendo de las condiciones en el tiempo. La única variable que permaneció como importante para todos los modelos fue la captura de erizo rojo.



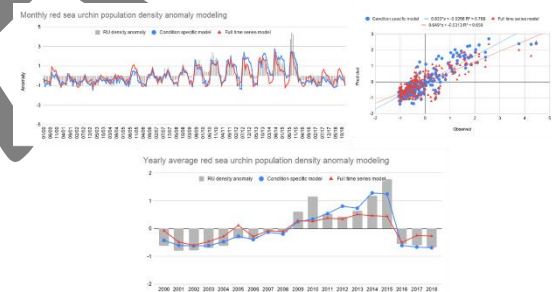
Correlaciones entre variables para toda la serie de tiempo (2000 – 2018)

Para el modelo de toda la serie de tiempo (GLM₀₀₋₁₈) las variables significativas fueron la biomasa de sargazo, captura de langosta, potencia del oleaje, índice de surgencias y NPGO. Para el modelo pre onda cálida (GLM₀₀₋₁₁) las variables significativas fueron la biomasa de sargazo, la captura de pez vieja, cabrilla y langosta, SST y el índice de surgencias. Para el modelo durante la onda cálida (GLM₁₂₋₁₅) las variables significativas fueron la biomasa de sargazo, SST, MEI y NPGO. Para el modelo post onda cálida

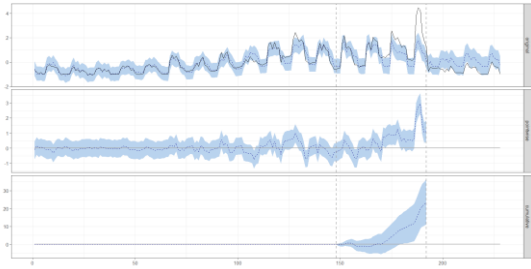
(GLM₁₆₋₁₈) únicamente la captura de erizo rojo y el MEI fueron significativas.

Utilizando correlaciones cruzadas, se determinó que el efecto que tienen las diferentes variables sobre la densidad poblacional de erizo rojo presenta un desfase de tiempo, que va desde 2 meses a dos años, dependiendo de la intensidad y duración de los eventos.

Habiendo observado la variación en la importancia relativa de las variables dependiendo de las condiciones, se modeló la densidad poblacional de erizo rojo utilizando los modelos de la serie de tiempo completa (GLM₀₀₋₁₈), los modelos con condiciones específicas (GLM₀₀₋₁₁|GLM₁₂₋₁₅|GLM₁₆₋₁₈) y se compararon ambos ajustes. Se observó que ambas aproximaciones fueron significativamente diferentes (ARSS, $F_{2,0.05} = 34.04$, $p < 0.001$), obteniendo un mejor ajuste con el modelo con condiciones específicas ($r^2 = 0.78$).



El análisis de causalidad indico que las variables utilizadas en los GLM tuvieron un efecto causal positivo o negativo sobre la anomalía de densidad de erizo rojo, con una baja probabilidad que los resultados observados sean producto del azar.



Análisis de causalidad para el GLM12-15. Anomalía de densidad de erizo rojo (-), valores contra factuales (···) e intervalos de confianza al 95% (sombreado); eje horizontal en meses de enero 2000 a diciembre 2018. Las líneas punteadas verticales indican el periodo de la "intervención".

DRAFT