

# Análisis ecológico y económico del trasplante de Erizo Rojo

PROYECTO DE MEJORA PESQUERA

PRONATURA Noroeste | Alfonso Medellín - Ortiz | febrero de 2023

## Puntos relevantes:

El sobrepastoreo por erizos es una de las causas de pérdida de cobertura algal en los arrecifes rocosos; para que los programas de recuperación de mantos de algas sean exitosos es necesario mantener densidades menores a 2 erizos  $m^{-2}$ , mientras que para que la pesquería de erizo se lleve a cabo es necesario mantener densidades naturales de al menos 2 erizos  $m^{-2}$ .

De acuerdo con información reciente, el trasplante de erizo rojo puede representar un incremento en el índice gonadosomático de los erizos transplantados comparado con los no transplantados. Sin embargo, debido a las naturalezas de la actividad y la información disponible existe el riesgo de que los beneficios a corto plazo del trasplante enmascaren efectos perjudiciales generados por la medida a largo plazo.

Dependiendo de las distancias de traslado, los tiempos de buceo y los costos asociados a la actividad (costos de avituallamiento, refacciones, etc.), los costos de extracción por kilogramo de erizo rojo incrementan conforme se incrementa la distancia que se viaje a los sitios de captura, si existen condiciones climáticas adversas, si se incrementa el tiempo de buceo, etc., además de incrementar el riesgo en las operaciones de captura. De esta manera, el ingreso que se obtiene a partir de la gonada tendrá que ser siempre mayor que el costo de extracción para que exista beneficio económico por la captura de erizo rojo. Otro factor a considerar es el costo que representa únicamente mover a los erizos, ya que el costo asociado a su captura y reubicación igual depende de las distancias, tiempos de buceo, etc., y pueden representar un déficit en el presupuesto operativo que puede o no recuperarse por la extracción posterior de los erizos reubicados.

Vale la pena considerar que, tanto los erizos capturados como los erizos reubicados están expuestos a la variabilidad ambiental, por lo que se pueden incurrir en más gastos en el corto y mediano plazo de los que pudieran ser costeados, incrementando la necesidad de capturar mayores volúmenes de erizo y el riesgo de accidentes por descompresión por parte de los buzos.

## Antecedentes

A nivel mundial existe interés en la mejora de los stocks de erizo (stock enhancement) como una opción para incrementar la producción y, en menor medida, recuperar stocks disminuidos (Agatsuma, 2020). Los principales métodos considerados para esta mejora son:

- Mejora del hábitat (construcción de hábitat, zonas de crianza y recuperación de mantos de macroalgas)
- Transplante/reubicación de poblaciones salvajes
- Siembra de juveniles (a través de cría en laboratorio)

En Japón, el principal consumidor de gonada de erizo, la ley de Mejora y Desarrollo de sitios de pesca costeros provee la base para la mejora de stocks de erizo mediante la construcción de arrecifes y la liberación de juveniles. Además, la mejora de los stocks es considerada como una de las estrategias de manejo más importante para su pesquería de erizo.

En México, la pesquería de erizo rojo ha sido objeto de diversas estrategias de manejo a través de su historia, implementando trasplantes de erizo rojo de manera aleatoria al menos desde el año 2012<sup>1</sup>. Hasta 2015, a través de un programa de la Secretaría de Pesca y Acuicultura de Baja California<sup>2</sup>, se implementa un protocolo para el trasplante de erizo rojo, sin embargo, no todos los participantes han generado la información necesaria y suficiente para evaluar la efectividad de la medida.

## Justificación para la actividad

A nivel mundial, el interés de la translocación de poblaciones salvajes se basa en el incremento del rendimiento gonadal: el incremento de peso de las gonadas en relación al peso total del erizo rojo. Este método se ha aplicado con éxito en Japón, California, Alaska, Irlanda, Reino Unido y Nueva Zelanda.

En México, se han trasplantado principalmente erizos de tallas mayores a 50 mm de sitios sin alimento hacia mantos de sargazo gigante, con el argumento de apoyo al éxito reproductivo. Se han registrado valores de índice gonadosomático entre 5.1 y 13% para erizos trasplantados, comparado con valores entre 4.4 y 14.3% para erizos no trasplantados (Hernández – Castillo, 2021). Sin embargo, estos resultados corresponden únicamente a una zona de captura de las más de 43 autorizadas para la pesquería.

## Análisis de la información ecológica

De acuerdo con la información disponible a la fecha, los impactos ecológicos de los programas de siembra de juveniles, así como los trasplantes de erizos, no han sido evaluados

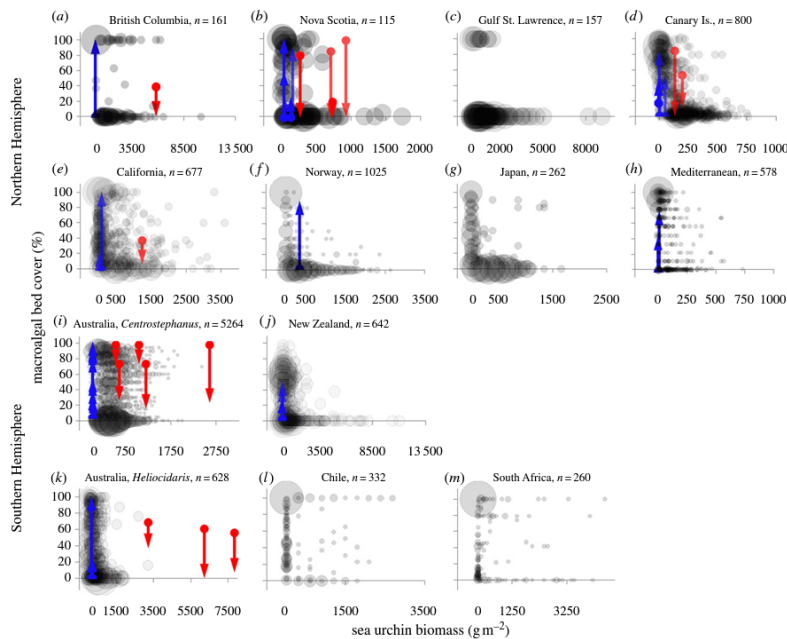
---

<sup>1</sup><https://www.gob.mx/inapesca/prensa/apoyara-inapesca-trasplante-de-erizo-rojo-en-baja-california-72107>

<sup>2</sup>[http://dceg.bajacalifornia.gob.mx/Sasip/documentos/archivos/SEP1720175783351663\\_2.pdf](http://dceg.bajacalifornia.gob.mx/Sasip/documentos/archivos/SEP1720175783351663_2.pdf)

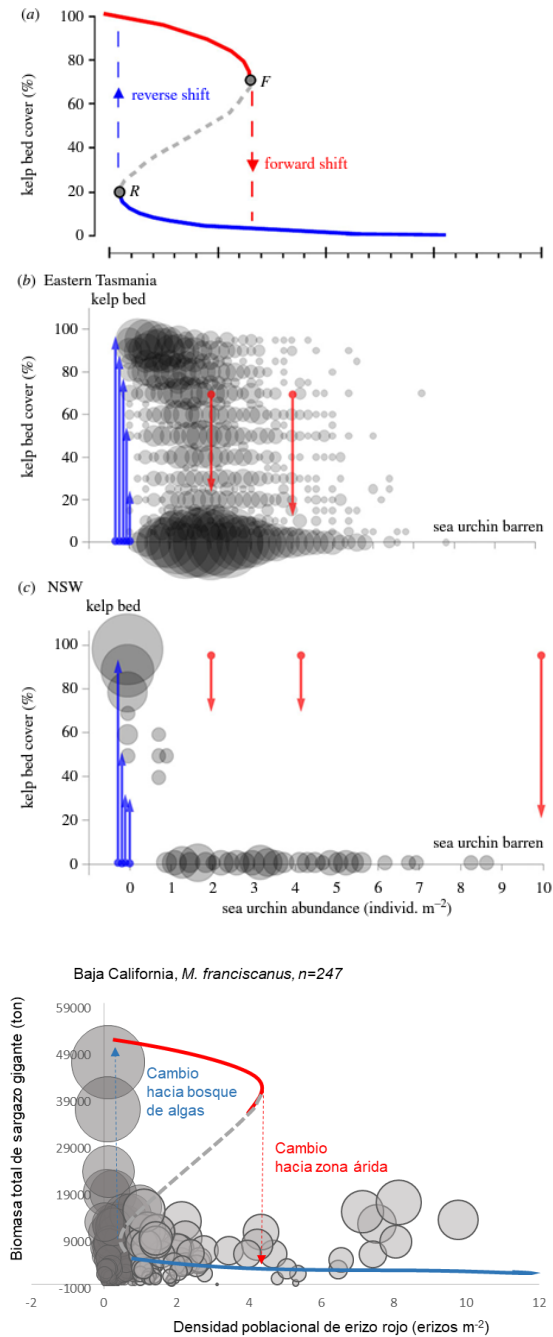
(Agatsuma, 2020). El efecto de altas densidades de erizos sobre las comunidades algales ha sido ampliamente documentado (Watanabe y Harrold, 1991 ; Steneck et al., 2002; Ling et al., 2009, Ling et al., 2015), provocando sobre pastoreo y la eventual formación de zonas aridas de erizo (urchin barrens).

De la misma forma, el papel de control “top-down” de los erizos sobre los arrecifes rocosos esta ampliamente documentado. Miller y colaboradores (2022) mencionan que de toda la literatura revisada en su analisis, es necesario remover a todos los erizos posibles para promover el crecimiento de magroalgas. Su analisis es consistente con la dinamica entre zonas aridas de erizo y bosques de macroalgas, que incluyen la remocion de erizos por tormentas, muertes por enfermedad o remocion manual (Ling et al., 2015; Fig. 1).



**Figura 1.** Dinámica del cambio de regimen entre mantos y bosques de algas y zonas aridas dominadas por erizos en 13 sistemas de arrecife rocoso del mundo. Tomado de Ling et al., 2015.

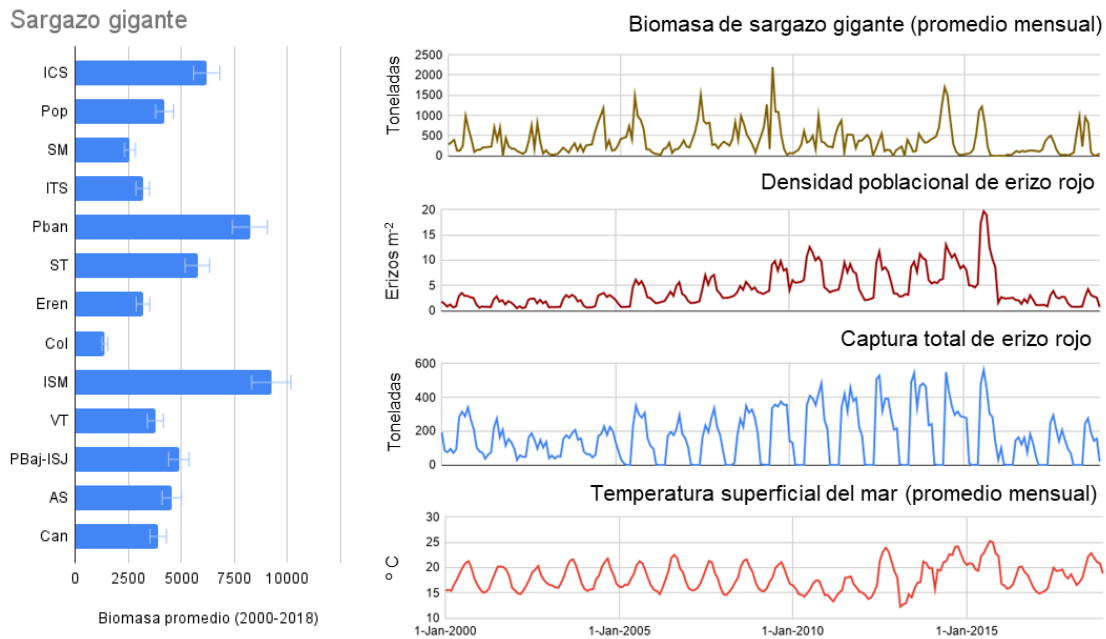
Con base en informacion reciente para Baja California, se puede observar un patron similar al observado por Ling y colaboradores (2015) entre la cobertura de algas (%) y la densidad de erizo y la biomasa de sargazo gigante y la densidad poblacional de erizo rojo en Baja California, donde para una serie de tiempo de 19 años de ambas variables para toda la region donde se captura erizo rojo, se observa que la biomasa total de sargazo gigante es alta mientras la densidad de erizos permanece por debajo de 1 erizo m<sup>-2</sup> (Fig. 2).



**Figura 2.** Cambio de regimen de mantos de algas a zonas aridas. Panels superior, modelo teorico y comparacion entre sitios de Ling y colaboradores (2015). Panel inferior, el caso de Baja California (elaboracion propia con informacion de Medellín – Ortiz et al., 2020, 2022).

Cabe señalar que a lo largo del tiempo se ha observado que además de los efectos del sobrepastoreo por herbívoros (principalmente erizos) sobre la variabilidad en la biomasa de sargazo gigante, los desarrollos costeros, contaminación del agua, sobre explotación directa e indirecta (sobre pesca de depredadores de herbívoros), pérdida de hábitat (Morris et al., 2020), así como las ondas de calor marinas (Arafeh-Dalmau et al., 2019), alteran la presencia y abundancia de macroalgas, modificando la comunidad de los mantos de sargazo. En Baja

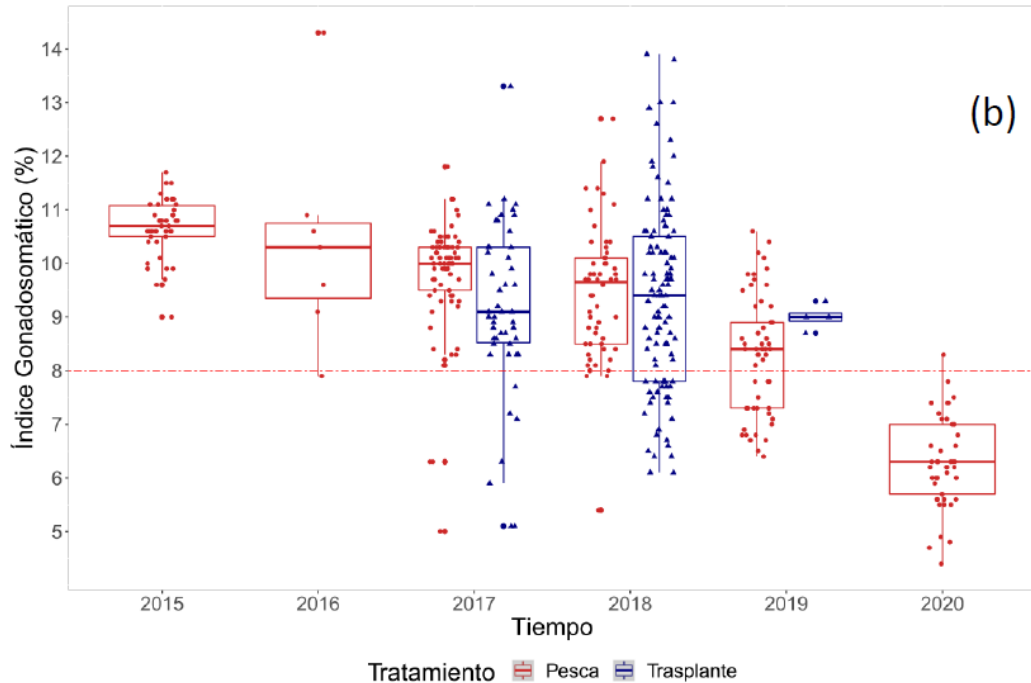
California se han observado variaciones en la biomasa de sargazo gigante que son atribuidas a condiciones ambientales, además de a la presencia o ausencia de altas densidades de erizo (Fig. 3).



**Figura 3.** Biomasa promedio de sargazo gigante en las diferentes zonas de captura de erizo rojo en Baja California (panel izquierdo) y series de tiempo de sargazo gigante, densidad, captura de erizo rojo y temperatura superficial para Baja California (panel derecho, todas modificadas de Medellín – Ortiz, 2022).

Las zonas aridas dominadas por erizo no soportan erizos de talla o con gondadas de valor comercial, pero podrían servir como fuente de juveniles para ser transplantados, o podrían servir como refugios naturales para que dichos juveniles no sean extraídos por la pesca (Ebert et al., 1999). Los autores mencionan que los contrapesos de estos beneficios son los posibles efectos negativos por sobrepastoreo en los sitios de transplante, así como las altas tasas de mortalidad por el transplante.

Recientemente, Hernández – Castillo (2021) llevó a cabo un estudio para evaluar las acciones de transplante de erizo rojo como estrategia de manejo de la pesquería en el Rosario, Baja California. La evaluación consistió en comparar, con base en la información recabada por una cooperativa pesquera, el índice gonadosomático de erizos transplantados y erizos no transplantados, además de realizar encuestas de percepción de los pescadores sobre el índice gonadosomático de erizos transplantados, disminución de tiempos y costos. De acuerdo con la cooperativa pesquera, para que la captura de erizo rojo les sea redituable, el índice gonadosomático de los erizos capturados no debe ser menor al 8%. Observó una aparente disminución en el índice gonadosomático para los erizos no transplantados (pesca) a diferencia de los erizos transplantados (Fig. 4).



**Figura 4.** Variación anual del índice gonadosomático para erizos trasplantados y no trasplantados. La línea horizontal punteada representa el índice gonadosomático de 8% (Tomada de Hernández – Castillo, 2021).

Además, de acuerdo con los resultados sobre la percepción de los 31 pescadores encuestados, el trasplante de erizo rojo les representan menor número de viajes y menor tiempo de buceo para alcanzar su cuota diaria de captura, además de considerar que el tiempo destinado para pescar erizo rojo es menor (Hernández – Castillo, 2021). Sin embargo, debido a que la información utilizada se encuentra limitada a un área geográfica con características ecológicas, oceanográficas y pesqueras distintas al resto de Baja California, así como la ausencia de información cuantitativa para la evaluación de los sitios previo y posterior a los trasplantes, no hay evidencia suficiente para evaluar la efectividad de los trasplantes como medida para el incremento del índice gonadosomático o el posible efecto de sobrepastoreo de los mantos de sargazo a donde los erizos son reubicados.

Con base en los resultados obtenidos por Hernández – Castillo (2021), así como la necesidad de revisar la efectividad de los trasplantes como medida de manejo de la pesquería de erizo rojo expresada por el sector, se convocaron a los académicos pertenecientes al Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la Universidad Autónoma de Baja California (IIO – UABC), así como del Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE), con antecedentes y experiencia en biología, ecología y pesquerías de macroalgas y erizos, con la finalidad de llevar a cabo una mesa de análisis sobre los trasplantes. De dicho análisis se desprende la preocupación por la carencia de información sobre los sitios previo a los trasplantes, así como la falta de seguimiento formal de la medida. Los integrantes estuvieron de acuerdo en que los beneficios a corto plazo del trasplante podrían disimular efectos perjudiciales de la medida a largo plazo, debido a los efectos de las ondas cálidas sobre los bosques de sargazo gigante, el sobrepastoreo por la

hiper agregacion de erizos, así como la perdida de habitat del erizo rojo frente a la invación del erizo morado.

De acuerdo con informacion recopilada por Agatsuma (2020), los impactos ecologicos de los programas de transplante o siembra de juveniles no han sido evaluados en Japon, aunque se tienen ejemplos donde causan declive en la biomasa algal asi como cambios en las interacciones con otros herviboros.

## Análisis de la información económica

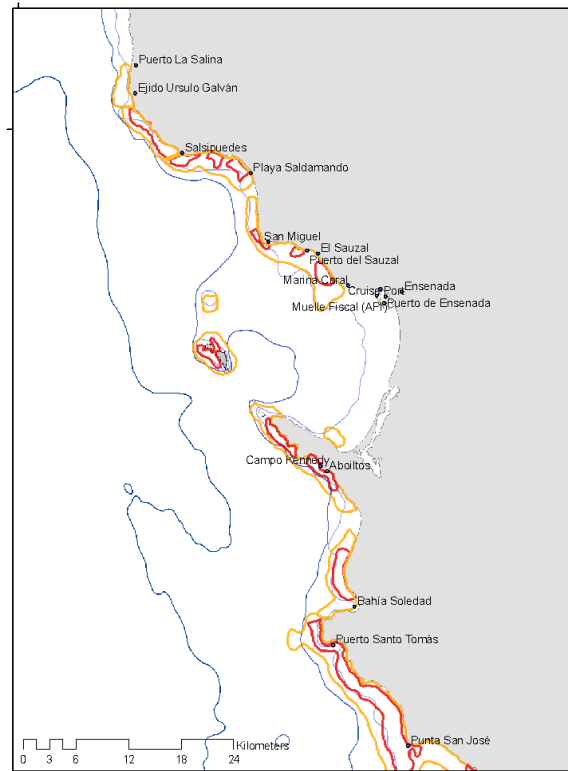
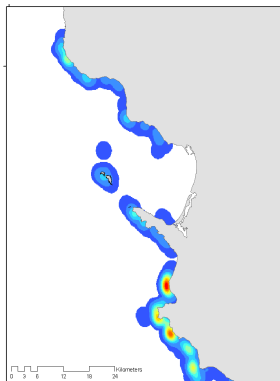
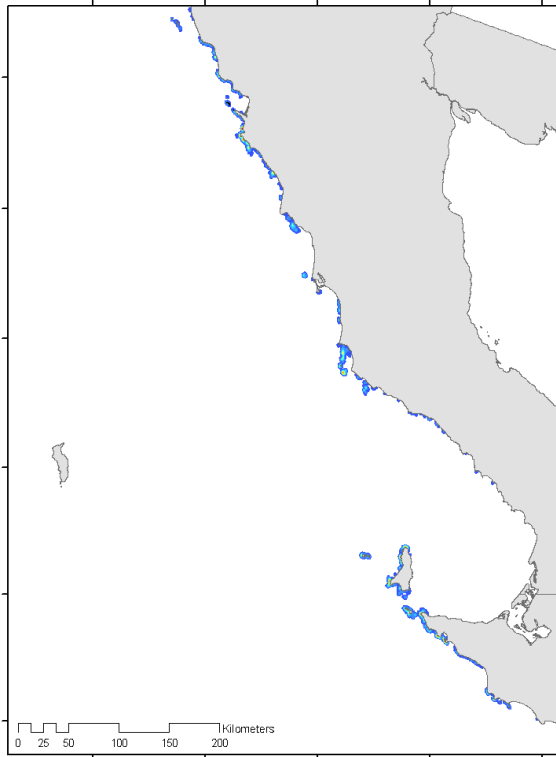
Con base en la informacion publicada en Medellin – Ortiz et al (2022), se midió la distancia al margen exterior de los mantos de sargazo gigante asociados a 43 sitios de desembarque distribuidos desde Popotla hasta Punta Prieta. No se incluye ningun sitio al sur de Punta Prieta y circundante a Isla de Cedros ya que no se encontró registro en bases de datos de la CONAPESCA de ningun sitio de desembarque para erizo rojo en esa región (Fig. 5). Para medición de la distancia se utilizó una herramienta digital que permite trazar rutas, por lo que se respetó la distancia que tendría que seguir una embarcación si su puerto base se encontraba dentro o fuera de bahias o existen salientes en la ruta a los mantos. Se midieron la distancia mínima, promedio y máxima de cada puerto a los margenes de mantos circundantes; además se calculó el consumo de gasolina de acuerdo a cada distancia recorrida de acuerdo al caballaje y eslora promedio de las embarcaciones permitidas. La velocidad máxima en nudos de cada embarcacion esta dada por su eslora, por lo que se utilizo la formula  $2.4 \times \sqrt{eslora}$  y se transformó a kilometros por hora multiplicando el resultado por 1.852. Además, se consideró el consumo del compresor para el buceo dentro de los caclulos de consumo de combustible. Toda la información utilizada para los calculos de costos se muestra en la tabla I.

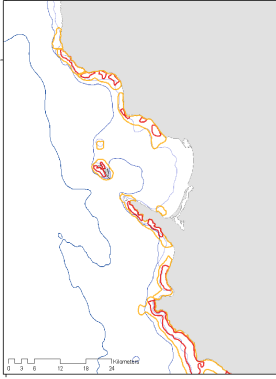
**Tabla I.** Detalle de información utilizada para los calculos de costos de acuerdo a la distancia y consumo de combustible en la pesquería de erizo rojo.

Marca	Caballaje (HP)	Consumo (LPH)	Eslora (m)	Velocidad máxima (knts)	Velocidad máxima (kmh)	Consumo compresor (LPH)
Yamaha	50	18.5	7	6.34	11.75	1.02
	70	27.5	8	6.78	12.57	
	90	34.4	9	7.2	13.33	
	115	36.6	10	7.5	14.05	
Honda	50	12.5		Velocidad máxima promedio	12.93	
	60	15				
	80	20		Precio gasolina magna (\$/L)	21.4	
	100	25		Promedio consumo con motor 80 hp (LPH)	25.71	
Suzuki	60	20.8				

	90	32.9
	115	39.7

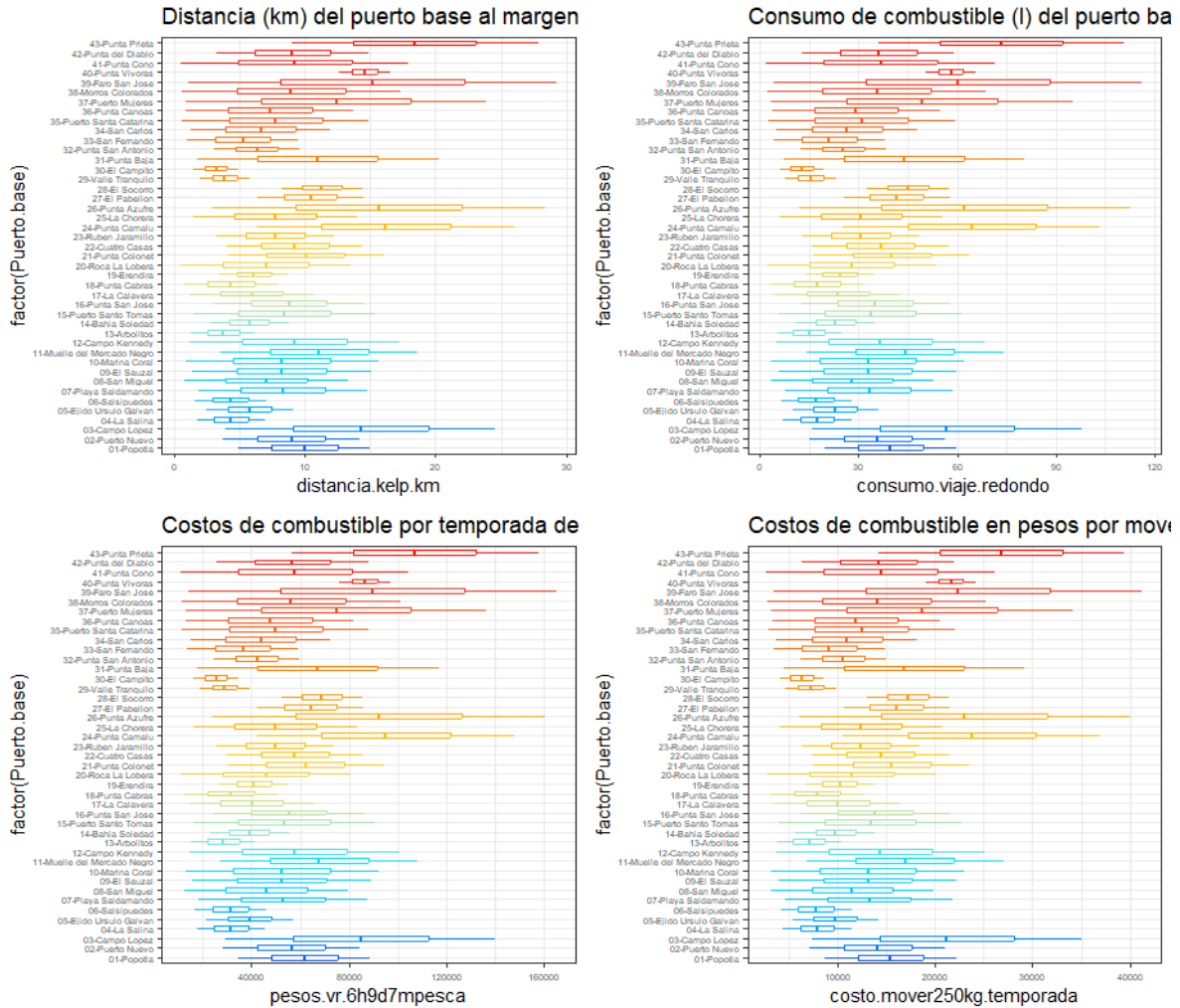






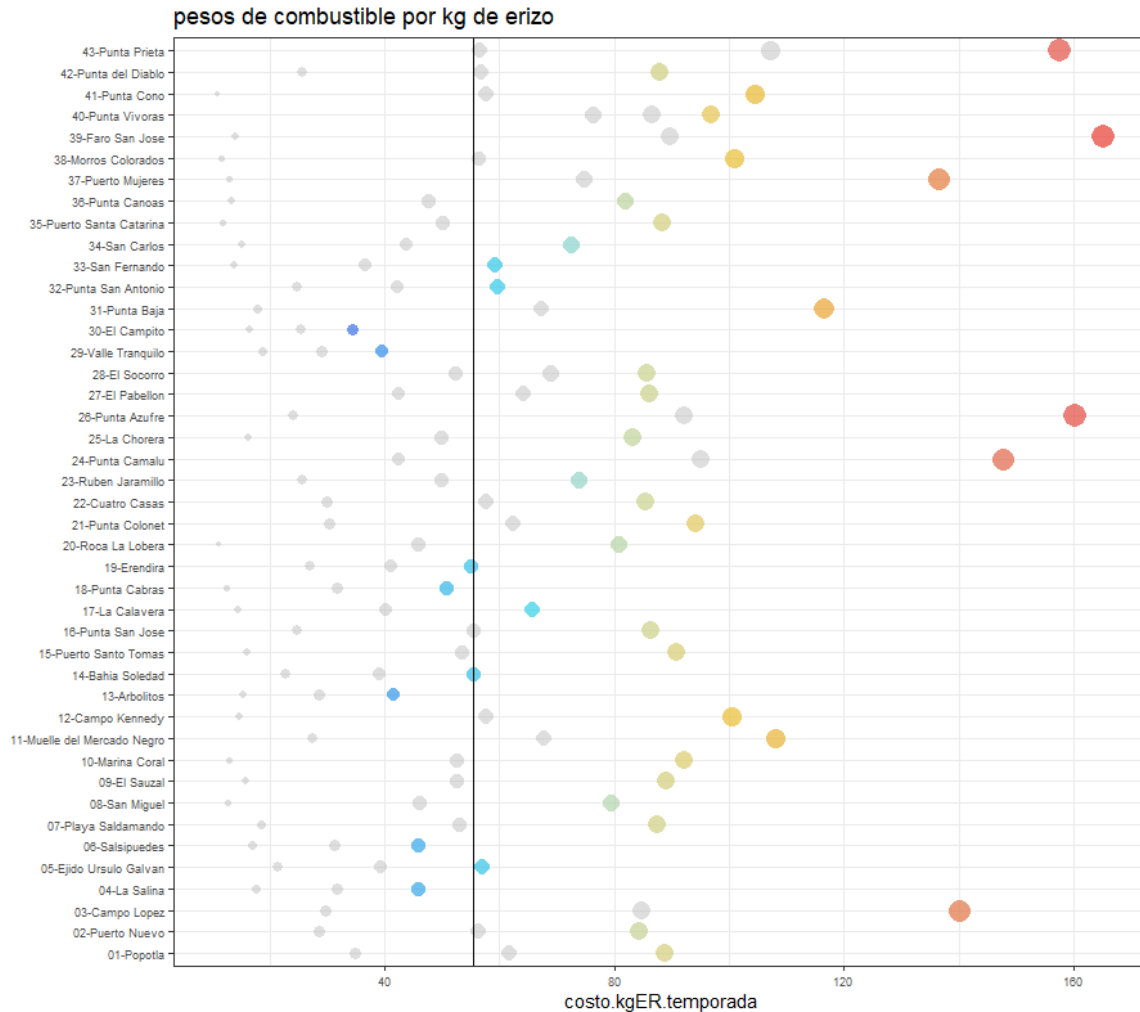
**Figura 5.** Distribución de mantos de sargazo gigante en Baja California (biomasa promedio entre enero 2000 y diciembre 2018; panel izquierdo). Acercamiento a Bahía Todos Santos (panel medio superior); delimitación de los mantos de sargazo en Bahía Todos Santos (panel superior derecho) y sitios de desembarque autorizados en la región de Ensenada (panel inferior izquierdo). Modificados de Medellín – Ortiz et al (2022).

Los resultados de este proceso de análisis indican que los sitios de desembarque de donde se recorre la menor distancia a los márgenes de los mantos de sargazo son San Miguel, Marina Coral, Punta Cabras, Roca La Lobera, Puerto Santa Catarina, Punta Canoas, Puerto Mujeres, Morros Colorados y Punta Coño, con distancias menores a 1 km. Así mismo, los sitios con las mayores distancias para recorrer fueron Campo Lopez, Muelle del Mercado Negro, Punta Camalú, Punta Azufre, Punta Baja, Puerto Mujeres, Faro San José, Punta Coño y Punta Prieta, con distancias máximas por arriba de 20 km (Fig. 6). Para calcular el costo en terminos de combustible de un viaje de pesca tomo la distancia medida x 2 (viaje redondo), así como 6 horas (promedio) de uso de compresor por 3 inmersiones diarias, por nueve dias al mes por siete meses, así el consumo de combustible y su costo se calcula para toda la temporada de pesca. Estos cálculos permiten estimar el costo asociado a la reubicación de 250 kg de erizo rojo cada temporada de pesca en terminos del combistible (Fig. 6).



**Figura 6.** Distancia desde el puerto base al margen de los mantos (panel superior izquierdo), consumo de comustible en litros (panel superior derecho), costos de combustible por temporada de captura (panel inferior izquierdo) y costos en terminos de pesos de comustible de mover 250 kg de erizo rojo por temporada de pesca (panel inferior derecho) para 43 sitios de desembarque en la costa oeste de Baja California (ordenados de Norte a Sur en direccion ascendente). Elaboración propia con información generada para este informe.

Además, estos calculos nos permiten apreciar los posibles costos de operación por la extracción de un kilogramo de erizo rojo en gasto de combustible, donde se observa un costo promedio por kilo de erizo rojo de 55.3 pesos; sin embargo, sitios como La Salina, Ejido Ursulo Galvan, Arbolitos, Bahía Soledad, Bahía Soledad, La Calavera, Punta Cabras, Eréndira, Valle Tranquilo, El Campito, Punta San Antonio y San Fernando, presentan valores máximos por debajo o alrededor del promedio de 55.3 pesos por kilo. En sitios como Campo Lopez, Punta Camalú, Punta Azufre, Punta Baja, Puerto Mujeres, Faro San José y Punta Prieta, el costo máximo de combustible por kilo de erizo rojo oscila entre 120 y 170 pesos (Fig. 7). Estos costos no incluyen el pago al capitán, cabo de vida y buzo, así como tampoco se incluyeron los costos fijos de las plantas de procesamiento, avituallamiento, reparaciones, etc.



**Figura 7.** Costo en pesos de combustible por extracción de un kilogramo de erizo rojo por temporada de pesca. Se resalta el valor máximo para cada sitio de desembarque; la línea vertical representa el promedio general (55.3 pesos por kilo). Elaboración propia con información generada para este informe.

## Conclusiones

El sobrepastoreo por erizos es una de las causas de pérdida de cobertura algal en los arrecifes rocosos; para que los programas de recuperación de mantos de algas sean exitosos es necesario mantener densidades menores a 2 erizos  $m^{-2}$ , mientras que para que la pesquería de erizo se lleve a cabo es necesario mantener densidades naturales de al menos 2 erizos  $m^{-2}$ .

De acuerdo con información reciente, el transplante de erizo rojo puede representar un incremento en el índice gonadosomático de los erizos transplantados comparado con los no transplantados. Sin embargo, debido a la naturaleza de la actividad y la información disponible existe el riesgo de que los beneficios a corto plazo del transplante enmascaren efectos perjudiciales generados por la medida a largo plazo.

Dependiendo de las distancias de traslado, los tiempos de buceo y los costos asociados a la actividad (costos de avituallamiento, refacciones, etc.), los costos de extracción por kilogramo de erizo rojo incrementan conforme se incrementa la distancia que se viaje a los sitios de captura, si existen condiciones climáticas adversas, si se incrementa el tiempo de buceo, etc., además de incrementar el riesgo en las operaciones de captura. De esta manera, el ingreso que se obtiene a partir de la gonada tendrá que ser siempre mayor que el costo de extracción para que exista beneficio económico por la captura de erizo rojo. Otro factor a considerar es el costo que representa únicamente mover a los erizos, ya que el costo asociado a su captura y reubicación igual depende de las distancias, tiempos de buceo, etc., y pueden representar un déficit en el presupuesto operativo que puede o no recuperarse por la extracción posterior de los erizos reubicados.

Vale la pena considerar que, tanto los erizos capturados como los erizos reubicados están expuestos a la variabilidad ambiental, por lo que se pueden incurrir en más gastos en el corto y mediano plazo de los que pudieran ser costeados, incrementando la necesidad de capturar mayores volúmenes de erizo y el riesgo de accidentes por descompresión por parte de los buzos.

## Referencias

- Agatsuma, Y. 2020. Stock enhancement of regular sea urchins. *Sea Urchins: Biology and Ecology*. Fourth Edition, Vol. 43. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819570-3.00017-2>
- Castorani, M. C. N., Reed, D. C., and Miller, R. J. 2018. Loss of foundation species: disturbance frequency outweighs severity in structuring kelp forest communities. *Ecology* 99, 2442–2454. doi: 10.1002/ecy.2485
- Dean, T.A., Schroeter, S.C. & Dixon, J.D. 1984. Effects of grazing by two species of sea urchins (*Strongylocentrotus franciscanus* and *Lytechinus anamesus*) on recruitment and survival of two species of kelp (*Macrocystis pyrifera* and *Pterygophora californica*). *Marine Biology*. 78, 301–313. <https://doi.org/10.1007/BF00393016>
- Ebert, T.A., J.D. Dixon, S.C. Schroeter, P.E. Kalvass, N.T. Richmond, W.A. Bradbury, D.A. Woodby. 1999. Growth and mortality of red sea urchins *Strongylocentrotus franciscanus* across a latitudinal gradient. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* Vol. 190: 189 – 209 <https://www.jstor.org/stable/24854639>
- Harrold C, D. C. Reed. 1985. Food availability, sea urchin (*Strongylocentrotus franciscanus*) grazing and kelp forest community structure. *Ecology* 66: 1160–1169
- Hernandez – Castillo, A. 2021. Evaluación de las acciones de “trasplante” de erizo rojo (*Mesocentrotus franciscanus*) como estrategia de manejo de la pesquería en el Rosario, Baja California, México. Tesis de Maestría. UABC. Agosto 2021.
- Kato, S., S. C. Schroeter. 1985. Biology of the Red Sea Urchin, *Strongylocentrotus franciscanus*, and its Fishery in California. *Marine Fisheries Review* 47 (3): 1 – 20
- Krumhansl K.A, Okamoto DK, Rassweiler A, Novak M, Bolton JJ, Cavanaugh KC, Connell SD, Johnson CR, Konar B, Ling SD, Micheli F, Norderhaug KM, Pérez-Matus A, Sousa-Pinto I,

- Reed DC, Salomon AK, Shears NT, Wernberg T, Anderson RJ, Barrett NS, Buschmann AH, Carr MH, Caselle JE, Derrien-Courtel S, Edgar GJ, Edwards M, Estes JA, Goodwin C, Kenner MC, Kushner DJ, Moy FE, Nunn J, Steneck RS, Vásquez J, Watson J, Witman JD, Byrnes JE. 2016. Global patterns of kelp forest change over the past half-century. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 113(48):13785-13790. doi: 10.1073/pnas.1606102113. Epub 2016 Nov 14. PMID: 27849580; PMCID: PMC5137772.
- Medellín – Ortiz, A., G. Montaña – Moctezuma, C. Alvarez-Flores, E. Santamaria-del-Angel. 2020. Retelling the History of the Red Sea Urchin Fishery in Mexico. *Front. Mar. Sci.* 7:167. doi: 10.3389/fmars.2020.00167.
- Medellín-Ortiz, A., G. Montaña-Moctezuma, C. Álvarez-Flores, E. Santamaría-del-Ángel, H. García-Nava, R. Beas-Luna, K. Cavanaugh. 2022. Understanding the impact of environmental variability and fisheries on the red sea urchin population in Baja California. *Frontiers in Marine Science*. Vol. 9. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2022.987242> doi:10.3389/fmars.2022.987242
- Miller, K.I., C.O. Blain, N.T. Shears. 2022. Sea Urchin Removal as a Tool for Macroalgal Restoration: A Review on Removing “the Spiny Enemies”. *Front. Mar. Sci.* 9:831001. Doi: 10.3389/fmars.2022.831001
- Morris, R.L., R. Hale, E.M.A. Strain, S.E. Reeves, A. Vergés, E.M. Marzinelli, C. Layton, V. Shelamhoff, T.D.J. Graham, M. Chevalier, S.E. Swearer. 2020. Key Principles for Managing Recovery of Kelp Forests through Restoration. *BioScience* 70(8): 688-698. <https://doi.org/10.1093/biosci/biaa058>
- Ling, S.D., R. E. Scheibling, A. Rassweiler, C. R. Johnson, N. Shears, S. D. Connell, A. K. Salomon, K. M. Norderhaug, A. Pérez-Matus, J. C. Hernández, S. Clemente, L. K. Blamey, B. Hereu, E. Ballesteros, E. Sala, J. Garrabou, E. Cebrian, M. Zabala, D. Fujita, L. E. Johnson. 2015. Global regime shift dynamics of catastrophic sea urchin overgrazing. *Phil. Trans. R. Soc. B*. 370:20130269. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2013.0269>
- Ling, S.D., C.R. Johnson, S.D. Frusher, K.R. Ridgway. 2009. Overfishing reduces resilience of kelp beds to climate-driven catastrophic phase shift. *PNAS*. Vol. 106 (52):22341-22345. [www.pnas/cgi/doi/10.1073/pnas.0907529106](http://www.pnas/cgi/doi/10.1073/pnas.0907529106)
- Steneck, R.S., M.H. Graham, B.J. Bourque, D. Corbett, J.M. Erlandson, J.A. Estes, M.J. Tegner. 2002. Kelp forest ecosystems: biodiversity, stability, resilience and future. *Environmental Conservation*, 29 (4): 436 – 459
- Watanabe, J.M., C. Harrold. 1991. Destructive grazing by sea urchins *Strongylocentrotus* spp. in a central California kelp forest: potential roles of recruitment, depth and predation. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 71: 125 – 141