

Fernando Paz Pellat
Alma Velázquez Rodríguez
Marlén Rojo Martínez
Editores

Programa Mexicano del Carbono

Serie: Síntesis Nacionales

Estado Actual
del Conocimiento
del Ciclo del Carbono
y sus Interacciones en México:
Síntesis a 2018

Programa Mexicano del Carbono
Instituto Tecnológico de Sonora



4.31 Producción primaria bruta en bosques submarinos de la región Bahía Todos Santos

Paz-Lacavex Andrea¹; Beas-Luna Rodrigo¹; Lorda Julio²; Cavanaugh Kyle³ y Bell Tom³

¹ Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California.

² Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California.

³ Departamento de Geografía, Universidad de California en Los Angeles

Autor para correspondencia: rbeas@uabc.edu.mx

Resumen

Los bosques de macroalgas proveen múltiples servicios ecosistémicos, entre ellos la captación y almacenamiento de CO₂ o “carbón azul”. En este trabajo se estimó la biomasa por medio de un algoritmo que integra imágenes de satélite multispectrales de los últimos 28 años con validaciones de biomasa *in situ* de los bosques de sargazo en la Bahía de Todos Santos (BTS). Nuestros datos sugieren que estos bosques submarinos son comparables con los bosques tropicales en la cantidad de C que secuestran (promedio anual de 8.54 gr C m⁻²). También, se encontró una variabilidad espacial con zonas persistentes capturando hasta 900 gr C m⁻² anuales. Esta primera aproximación de captura de C atmosférico de los bosques de macroalgas en BTS destaca el papel que tiene los ecosistemas marinos costeros en México en la mitigación de los efectos del cambio climático mediante la captura de CO₂ atmosférico.

Palabras clave: *bosques de macroalgas; carbón azul; manejo de ecosistemas costeros; percepción remota.*

Abstract

Kelp forest provide a great diversity of ecosystem services. In the present work we focus on "Blue Carbon" as the service of capturing atmospheric CO₂ through primary production. We estimated the biomass using an algorithm which integrates multispectral satellite images with *in situ* kelp biomass estimations from the last 28 year. We performed this study at Todos Santos Bay (BTS) in Baja California. Our data suggest kelp forest in this area are comparable with tropical rain forests in the amount of C they can capture (annual average 8.54 gr C m⁻²). In addition, we found an interesting spatial variability with persistent patches of kelp sequestering as much as 900 gr C m⁻² annually. In this first approximation, we highlight the roll of coastal marine ecosystems at BTS as important players in mitigation the effects of climate change through sequestration of atmospheric CO₂.

Key words: *kelp forests; blue carbon: coastal ecosystems management; remote sensing.*

Introducción

Los bosques de macroalgas, estructurados por *Macrocystis pyrifera*, son uno de los ecosistemas marinos costeros más productivos del planeta (Schiel y Foster, 2015). Estos bosques submarinos proveen una gran cantidad de servicios ecosistémicos que incluyen pesquerías, protección a la costa, hábitats de reproducción y especialmente relevante, contribuyen significativamente a la captación y almacenamiento de CO₂, lo que conocemos como “carbón azul” (Carr y Reed, 2015; Hoffman *et al.*, 2011). Se estima que, a nivel global, estos ecosistemas capturan aproximadamente 39 Tg C año⁻¹ (Reed y Brzezinski, 2009). Sin embargo, este tipo de estudios se realizan a gran escala, por lo que es

muy complicado utilizar esta información para un manejo adecuado de ecosistemas costeros a una escala local, especialmente en el contexto actual del cambio climático.

El reciente aumento en la frecuencia e intensidad de disturbios ambientales derivados del cambio climático afectan gravemente la estabilidad y equilibrio de los bosques de macroalgas (Byrnes *et al.*, 2011) y ponen en riesgo los servicios ecosistémicos que proveen a los humanos. Los bosques de macroalgas en Baja California, México no son la excepción. Desafortunadamente, se conoce muy poco sobre la dinámica, abundancia y estabilidad de los bosques submarinos en la región, ya que la gran mayoría del esfuerzo de investigación se frena en la frontera entre California y Baja California (Ramirez-Valdez *et al.*, 2017). Además, la poca información que existe no está disponible públicamente. Esta información incluye reportes de captura de empresas que históricamente explotaban *Macrocystis pyrifera* en la región, literatura gris y algunos documentos con datos de monitoreo o experimentos puntuales que no están digitalizados. Actualmente existen nuevas tecnologías, como la percepción remota, que se han utilizado para estimar la abundancia y variabilidad de la cobertura de los bosques submarinos en California (Cavanagh, 2011; Bell *et al.*, 2015). Con estas nuevas tecnologías y la integración de la información disponible es posible generar datos relevantes que nos permiten actualizar las estrategias de manejo existentes para los bosques de macroalgas en Baja California.

La producción de biomasa de *M. pyrifera* es tan alta que se compara con los bosques tropicales (Schiel y Foster, 2015). Esta alga parda crece hasta 60 cm por día, puede llegar hasta los 45 metros de longitud (Davis, 1991) y soportar los fuertes oleajes ya que cuenta con rizoides para sostenerse de fondos predominantemente rocosos. De los rizoides, salen hasta decenas de estipes, que a su vez dan lugar a las frondas pardas características de los mantos que se observan en la superficie del mar. La época de reclutamiento y aumento de biomasa es al finalizar el invierno y durante la primavera (Foster y Schiel, 1985). El desarrollo y crecimiento de estas algas es influenciado por diferentes factores ambientales (*i.e.* disponibilidad de luz y nutrientes, oleaje y temperatura), así como por factores biológicos (*i.e.* herbivorismo y procesos demográficos como dispersión, reclutamiento y competencia intraespecífica) (Graham *et al.*, 2007). Cuando las condiciones ambientales son las adecuadas, se estima que *M. pyrifera* puede llegar a tener un aumento de biomasa entre 2 y 4% diario y una tasa de recambio de mínimo siete veces al año (Reed *et al.*, 2008). Con esta gran producción de biomasa, los bosques de macroalgas de *M. pyrifera* juegan un papel muy importante en la captación de CO₂ atmosférico.

Wilmers *et al.* (2012) estimaron la captación de CO₂ atmosférico de bosques de macroalgas estructurados por *Laminaria* spp., *Eularia* spp. y *Nereocystis* spp. a partir de la producción primaria neta (PPN) calculada de entre 313 y 900 gramos de carbono por metro cuadrado por año (g C m⁻² año⁻¹). Este estudio, constituye el único que ha estimado la cantidad de carbono capturada en este tipo de ecosistemas, es decir, no existe una estimación de la cantidad de CO₂ que captan los bosques estructurados por *M. pyrifera*. Actualmente, existen estudios que han evaluado la dinámica de las poblaciones de *M. pyrifera* por medio de fotointerpretación de imágenes satelitales y captura de datos en campo en las costas de California (Cavanaugh, 2011; Cavanaugh *et al.*, 2013) y esta información puede ser utilizada para estimar el CO₂ captado.

Los bosques de macroalgas de la Bahía Todos Santos (BTS) tienen una gran importancia económica y cultural en el estado de Baja California. De acuerdo a la Carta Estatal Pesquera (Gob. Edo. B.C., 2015) los cinco productos que lideran el ingreso de la región son: abulón (históricamente), camarón, langosta, erizo y pulpo. Estos organismos se asocian a bosques de macroalgas de la Bahía Todos Santos. Para asegurarnos que los bosques sigan produciendo servicios ecosistémicos, es importante entender la variabilidad y biomasa histórica de *M. pyrifera* de estos bosques y así mejorar las acciones de manejo y conservación locales de esta zona.

El propósito principal de este trabajo es generar las primeras estimaciones de la captación de CO₂ atmosférico a partir de la producción primaria neta de *M. Pyrifera* mediante imágenes de satélite. En este trabajo, se propuso contestar: 1) ¿Cuál es la cantidad de CO₂ atmosférico que un bosque de macroalgas

puede captar? 2) ¿Cuál es la variabilidad de esta captación? y 3) ¿Cómo se distribuye la captura de carbono en la región BTS? Se pretende que esta información pueda ser integrada en la actualización de acciones de conservación y manejo de ecosistemas marinos costeros en esta región.

Materiales y Métodos

Área de estudio

La Bahía de Todos Santos (BTS) en Baja California se encuentra en el municipio de Ensenada, Baja California, México a 100 km al sur de la frontera con Estados Unidos. El centro de la bahía se ubica aproximadamente en 31.8° N, 116.7° W (Figura 1). Los ecosistemas costeros de BTS se caracterizan por agua fría y rica en nutrientes del sur de la corriente de California. Los arrecifes rocosos de BTS se encuentra dentro de los límites de distribución de los arrecifes templados dominados por bosques de macroalgas del sargazo gigante, *Macrocystis pyrifera*.

Identificación de bosques de macroalgas históricos y captura de C

Para la identificación de zonas con bosque de macroalgas histórico de BTS se utilizaron imágenes satelitales multiespectrales Landsat 5, 7 y 8, disponibles desde abril de 1989, hasta noviembre del 2017. Las imágenes corresponden a la escena que cubre la zona de BTS con número de identificación #039038. Estas imágenes cuentan con una extensión de 185 kilómetros de lado, una resolución de 30 metros por pixel, y un rango espectral de 0.45 - 2.35 micrómetros en las bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 7. Los satélites completan una elipse alrededor de la Tierra en 16 - 18 días, obteniendo imágenes del mismo sitio con esa frecuencia (GLCF, 2016). Las imágenes con condiciones meteorológicas adversas, como oleaje y nubosidades, se descartaron, por lo que se obtuvieron imágenes utilizables cada uno o dos meses.

Para llevar a cabo los cálculos de biomasa de *M. pyrifera* en BTS utilizamos un algoritmo para generar estimaciones de biomasa de *M. pyrifera* a partir de las tonalidades de radiación a través de datos *in situ* de densidad de *M. pyrifera*. (Cavanaugh *et al.*, 2011). Particularmente, se utilizó la firma espectral del dosel del bosque para cada pixel de 30x30 m. Se realizó la combinación de bandas de los satélites multiespectrales que coincidían con las tonalidades de radiación reflejadas por el bosque de macroalgas utilizando las bandas verdes (500 - 590 nm), rojo (610 - 680 nm), infra-rojo cercano (780 - 890 nm) e infra-rojo medio (1 580 - 1 730 nm). Solamente utilizamos los datos de los píxeles que presentaron macroalgas cinco o más veces a lo largo esta serie de tiempo de 1989 - 2017. Se encontraron 590 escenas útiles que cubrieran BTS entre el periodo mencionado.

Para transformar los datos de biomasa de peso húmedo de *M. pyrifera* a kilogramos de carbono por metro cuadrado por año se utilizaron las aproximaciones de Mann (1972) y Wilmers *et al.* (2012). Estos autores sugieren sólo el 10% de la biomasa húmeda de *M. pyrifera* es peso seco del cual el 26% es carbono (C).

A partir de esta equivalencia, calculamos la potencial captura de $g\ C\ m^{-2}$ y se graficaron en un mapa utilizando el *software* ArcMap 10.2 (Figuras 1 y 2). Además, se calculó el porcentaje de ocupación histórico por píxel, y su relación con el C capturado (Figura 3). En ambos casos, los valores se acotaron a seis categorías de acuerdo a los cortes naturales de los datos (utilizando la herramienta *Natural Breaks*) y se desplegaron como rampa de colores para su fácil interpretación.

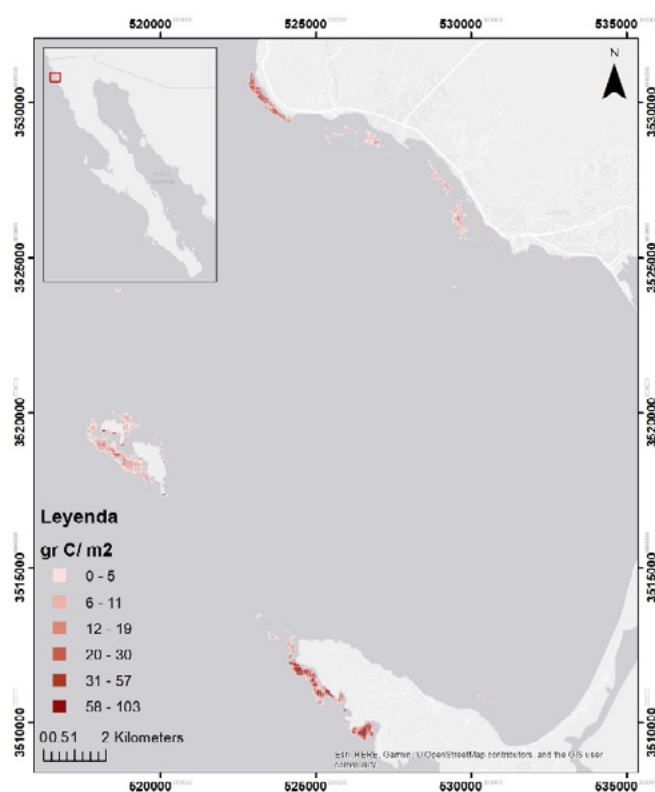


Figura 1. Mapa de Bahía Todos Santos en Baja California. Las zonas coloreadas indican la ubicación de los bosques de macroalgas. Las diferentes tonalidades representan kilogramo de Carbono promedio de los últimos 30 años por m^2 .

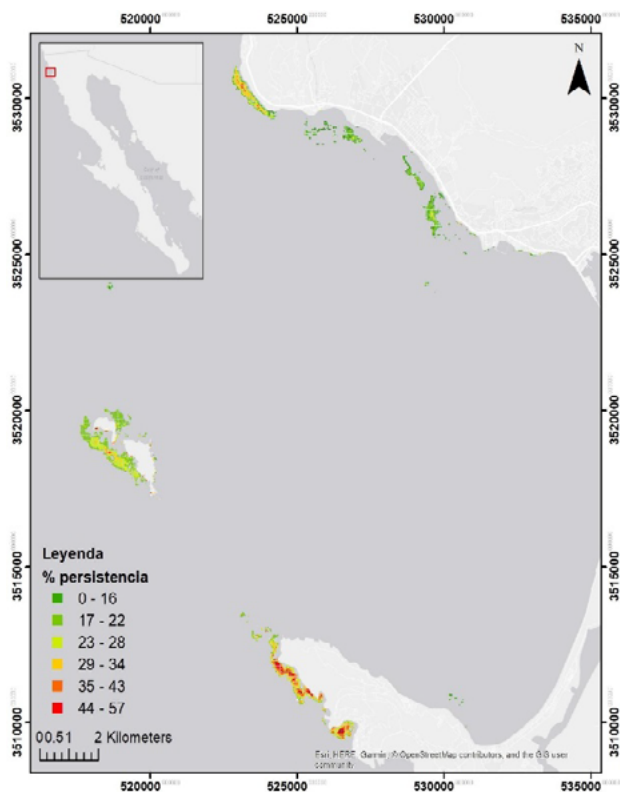


Figura 2. Mapa de persistencia histórica del bosque de macroalgas región Bahía Todos Santos.

Resultados y Discusiones

Identificación de bosques de macroalgas históricos y captura de C

Con el análisis de las imágenes satelitales, se encontró una superficie de 3.8 km^2 de dosel de bosques de macroalgas (4 184 píxeles) a partir de las 590 escenas de los últimos 28 años. Los valores promedio de C variaron entre 0.27 gr C m^{-2} y $103.02 \text{ gr C m}^{-2}$ para los bosques de macroalgas de *Macrocystis pyrifera* en la Bahía de Todos Santos. De acuerdo a la proporción de biomasa de macroalgas - C (1:0.026), se generó un mapa de promedio histórico para mostrar la variabilidad espacial de esta captura (Figura 1).

Se identificaron 5 zonas principales con bosques de macroalgas en la Bahía Todos Santos (Figura 1): Punta San Miguel, El Sauzal, Rincón de Ballenas, Isla Todos Santos y Punta Banda Sur. Nuestros datos indican que Punta Banda Sur y Punta San Miguel son los sitios con mayor cantidad histórica de C con un promedio de $14.4 \text{ gr C m}^{-2} \pm 11.73 \text{ DS}$ y $11.45 \text{ gr C m}^{-2} \pm 6.54 \text{ DS}$ respectivamente. Los promedios para Isla Todos Santos y Sauzal fueron intermedio con $5.74 \text{ gr C m}^{-2} \pm 7.27 \text{ DS}$ y $3.41 \text{ gr C m}^{-2} \pm 2.48 \text{ DS}$, respectivamente, y el menor de todos Rincón de Ballenas con $1.61 \text{ gr C m}^{-2} \pm 0.72 \text{ DS}$.

A lo largo del sitio de estudio, se observa que los píxeles de persistencia histórica se ubican en el centro de los parches de macroalgas (Figura 2). Estos sitios, llamados núcleo, cuentan con arriba de 150 m de largo perpendicular a la costa y se encuentran rodeados de zonas (píxeles) con persistencia descendente. Los núcleos de los bosques en la zona de BTS, tiene una persistencia promedio de 23.3%, con un mínimo de 9.7% y una máxima de 56.9% en los últimos 28 años. A partir de la proporción C-macroalgas, se encontró que aquellas zonas de alta captura de carbono corresponden a sitios

persistentes (coef. Corr. = 0.86). Considerando la variabilidad ambiental natural de estos ecosistemas, destacan Punta San Miguel y Punta Banda Sur, con 24.5% y 30.8% respectivamente.

Dinámica histórica de captura de C

Se calculo el promedio anual de C para toda la Bahía de Todos Santos (Figura 3). Se encontró una media histórica de 8,805.27 ton C año⁻¹ para la región BTS y un total de 274,680.7 ton de C captados en los últimos 28 años. Se encontró un aumento en la variabilidad en las estimaciones a partir del 2008. Esto podría estar asociado al aumento en la variabilidad ambiental interanual (IPCC, 2013). Por consiguiente, este patrón se ve reflejado en el aumento en la captación de en este sistema. La relevancia de esta observación radica en que, gracias a estas series de tiempo largas, se pueden identificar patrones interesantes a escalas de tiempo que con estudios puntuales no se podrían identificar.

En esta primera aproximación de captura de C atmosférico de los bosques de macroalgas en BTS se mostró su dinámica, distribución y relevancia. Sin embargo, se debe de tomar en cuenta las limitaciones de la misma. Por ejemplo, los resultados aquí presentados no consideran variables oceanográficas como turbidez del agua, tipo de sustrato, profundidad, intensidad del oleaje, ni surgencias. Tampoco considera la proporción de cuanto carbono que se captura es retenido, transportado a otros ecosistemas ni el liberado nuevamente a la atmósfera por procesos de descomposición de materia algal. Sin embargo, estas estimaciones son un acercamiento significativo en el entendimiento de la dinámica del ciclo de carbono en ecosistemas costeros tan productivos como los bosques de macroalgas.

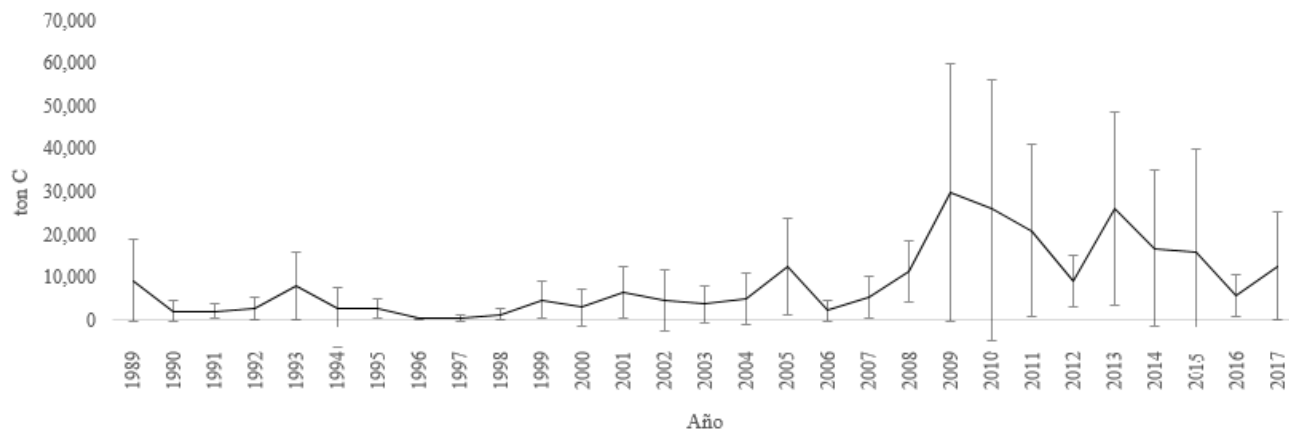


Figura 3. Promedio anual de C en un bosque de la Bahía Todos Santos 1989-2017

Conclusiones

En este estudio se estimó por primera vez la captación de C de los bosques de macroalgas de la Bahía Todos Santos en Baja California. Estimamos un promedio anual de 8.54 gr C m⁻². Estas estimaciones reafirman que los bosques de macroalgas son comparables con bosques tropicales en la cantidad de C capturan. Los resultados presentados indican una fuerte correlación entre la persistencia histórica y su capacidad de captar C atmosférico. Este ejercicio es una aproximación a las posibles aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica para la evaluación de la captura de C por ecosistemas costeros. La escala a la que fueron trabajados estos datos no considera variaciones a escala fina (menor a 30x30m). Se recomienda evaluar cada sitio independientemente con sus variables asociadas, así como aumentar los esfuerzos para cuantificar el sumidero de carbono que los ecosistemas de macroalgas representan. Uniendo estos valores con la información generada en este

estudio, se propone utilizar el mercado de Bonos de Carbono. Esto con el objetivo de implementar acciones de protección para los ecosistemas marinos costeros de la región BTS y salvaguardar los servicios ambientales que éstos proporcionan.

Agradecimientos

Agradecemos profundamente a Alicia Abadía por sus valiosos comentarios a este manuscrito. Especial agradecimiento a nuestras fuentes de financiamiento: UC-Mexus Conacyt Collaborative grants y al proyecto PRODEP UABC-PTC 669 otorgado a Julio Lorda Solorzano.

Literatura citada

- Bell, T. W., Cavanaugh, K. C., y Siegel, D. A. (2015). Remote monitoring of giant kelp biomass and physiological condition: An evaluation of the potential for the Hyperspectral Infrared Imager (HyspIRI) mission. *Remote Sensing of Environment*, 167, 218–228. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.05.003>
- Byrnes, J. E., Reed, D. C., Cardinale, B. J., Cavanaugh, K. C., Holbrook, S. J., y Schmitt, R. J. (2011). Climate-driven increases in storm frequency simplify kelp forest food webs. *Global Change Biology* 17, 2513–2524.
- Cavanaugh, K. C. (2011). Variability of Giant Kelp Forests in Southern California: Remote Assessment of Kelp Biomass and the Drivers of Kelp Forest Dynamics. University of California, Santa Barbara.
- Cavanaugh, K. C., Kendall, B. E., Siegel, D. A., Reed, D. C., Alberto, F., and Assis, J. (2013). Synchrony in dynamics of giant kelp forests is driven by both local recruitment and regional environmental controls. *Ecology* 94, 499–509. Davis, C. (1991) California Reefs. San Francisco, California: Chronicle Books.
- Carr, M. H., y Reed, D. C. (2015). Shallow rocky reefs and kelp forests. *Ecosystems of California*. University of California Press, Berkeley, California, EUA, 311-336.
- Davis, C. (1991) California Reefs. Chronicle Books. San Francisco, California.
- Foster, M. S. y Schiel, D. R. (1985) The ecology of giant kelp forests in California: a community profile. U.S. Fish Wildl. Serv. Biol. Rep. 85-7.2
- Global Land Cover Facility (2016) Landsat Imagery. College Park, Maryland. Recuperado de: <http://glcf.umd.edu/data/landsat/>. Consultado el día 17 de mayo de 2017.
- Gobierno del Estado de Baja California (2015) Carta Estatal Pesquera. Secretaría de Pesca de Baja California. Recuperado de <http://www.sepescabc.gob.mx/x/salaDePrensa/difusionAcciones/docs/CartaEstatalPesquera.pdf>. Consultado el 3 de marzo de 2017.
- Graham, M.H., Vázquez, J.A., Buschmann, A.H. (2007) Global ecology of the giant kelp *Macrocystis*: from ecotypes to ecosystems. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review*, 45, 39–88.
- Hofmann G.E., Smith J.E., Johnson K.S., Send U., Levin L.A., Micheli F. *et al.* (2011) High-Frequency Dynamics of Ocean pH: A Multi-Ecosystem Comparison. *PLoS ONE* 6(12): e28983. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0028983>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2013) Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom y New York, NY, EUA.
- Mann, K. H. (1972). Ecological energetics of the seaweed zone in a marine bay on the Atlantic coast of Canada. *Mar. Biol.*
- Ramírez-Valdez, A., Aburto-Oropeza, O., Arafeh Dalmau, N., Beas-Luna, R., Caselle, J. E., Castorani, M. C., y Leslie, H. M. (2017). Mexico-California Bi-National Initiative of Kelp Forest Ecosystems and Fisheries.
- Reed, D. C., Rassweiler, K. K. Arkema (2008) Biomass rather than growth determines net primary production by giant kelp. *Ecology* 89:2493-2505
- Schiel, D. R. y Foster, M. S. (2015) *The Biology and Ecology of Giant Kelp Forests*. University of California Press, 2015. doi:10.1525/california/9780520278868.001.0001
- Wilmers, C. C., Estes, J. A., Edwards, M., Laidre, K. L., Konar, B., Wilmers, C. C. y Konar, B. (2012). *Frontiers in Ecology and the Environment*. Research Communications. The Ecological Society of America. <https://doi.org/10.1890/110176>

