

Fernando Paz Pellat  
Ruth Torres Alamilla  
Editores

Programa Mexicano del Carbono

Serie: Síntesis Nacionales

Estado Actual  
del Conocimiento  
del Ciclo del Carbono  
y sus Interacciones en México:  
Síntesis a 2017

Programa Mexicano del Carbono  
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada  
Universidad Autónoma de Baja California







## 4.39 Monitoreo físico, químico y biológico de arrecifes templados en Baja California

Beas-Luna Rodrigo<sup>1</sup>; Donham Emily M.<sup>2</sup>; Lummis Sarah<sup>2</sup>; Abadía-Cardoso Alicia<sup>1</sup>; Lorda Julio<sup>3</sup>; Torres-Moye Guillermo<sup>1</sup> y Kroeker Kristy J.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California. Carretera Transpeninsular Ensenada-Tijuana No. 3917, CP 22760, Ensenada, Baja California, México.

<sup>2</sup>University of California in Santa Cruz. 115 McAllister Way, CP 95060, Santa Cruz, California, USA.

<sup>3</sup>Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California. Carretera Transpeninsular Ensenada-Tijuana No. 3917, CP 22760, Ensenada, Baja California, México.

Autor para correspondencia: rbeas@uabc.edu.mx

### Resumen

Los gases invernadero han aumentado drásticamente en la atmósfera debido a las actividades humanas, resultando en la acidificación del océano como consecuencia del aumento en la concentración de CO<sub>2</sub>. Se ha demostrado que esta acidificación afecta principalmente el desempeño y sobrevivencia de organismos con estructuras de carbonato de calcio como los corales, bivalvos y moluscos. Además, estudios recientes reportan un cambio en el comportamiento de peces expuestos a valores bajos de pH, haciéndolos más susceptibles a la depredación. Debido a su complejidad, muy pocos trabajos han descrito mecanismos de respuesta a la acidificación a nivel de la comunidad en ecosistemas templados como los bosques de sargazo de *Macrocystis pyrifera*. Sin embargo, es indispensable entender la dinámica de los procesos físicos, químicos y biológicos ya que de esta depende la subsistencia de un ecosistema altamente productivo, en un escenario rápidamente cambiante. La respuesta a cambios fisicoquímicos en el mar de los bosques de sargazo en Baja California es especialmente interesante ya que se encuentran en el límite sur de su distribución. Por esta razón, se implementó un monitoreo físico, químico y biológico, que describe los patrones de respuesta de los bosques de sargazo de Baja California a múltiples factores ambientales. Este trabajo, es fundamental para entender mejor los efectos del cambio climático en ecosistemas marinos costeros y así desarrollar mejores herramientas de manejo.

**Palabras clave:** acidificación; cambio climático; bosque de sargazo; *Macrocystis pyrifera*.

### Abstract

Greenhouse gases have increased drastically in the atmosphere due to human activity, resulting in an acidification of the ocean. Numerous laboratory studies have demonstrated negative effects of acidification on the performance and survival of calcium carbonate shelled organisms, such as corals, bivalves and mollusks. Moreover, more recent studies report a shift in the behavior of fish exposed to lower pH, which could affect their susceptibility to predation. Due to the complexity of the potential effects, only a few studies have described the emergent effects of acidification at the community level in temperate ecosystems, such as the *Macrocystis pyrifera* kelp forests. To understand these effects, it is necessary to understand the dynamics between physical, chemical and biological processes because these highly productive ecosystems are already exposed to rapidly changing conditions. The response to changes in seawater physio-chemistry in Baja California kelp forests is especially interesting because they represent the southern limit of the distribution of giant kelp. Therefore, we implemented a physical, chemical and biological monitoring program that describes the ecological communities in Baja California kelp forests under exposure to multiple environmental factors. This work, is fundamental to better

understanding climate change effects on coastal marine ecosystems and to developing better management tools.

**Key words:** *acidification; climate change; kelp forest; *Macrocystis pyrifera*.*

## Introducción

Los disturbios ambientales como tormentas, aumento en la temperatura, hipoxia y acidificación del océano han incrementado en frecuencia e intensidad como consecuencia del cambio climático. Esto ha provocado mortalidades masivas de especies de importancia ecológica y comercial en el Pacífico Nororiental y, ha puesto en riesgo la estabilidad económica de las comunidades de pescadores que dependen de ellas (Micheli *et al.*, 2012; Hewson *et al.*, 2014). Para poder aminorar estos riesgos, es fundamental contar con una evaluación sistemática que facilite la capacidad de predecir los efectos en las poblaciones y su respuesta a las variaciones de los disturbios ambientales.

En Baja California, las pesquerías de pequeña escala (PPEs) del Pacífico Norte están dirigidas a recursos de alto valor económico como la langosta, el abulón, el erizo y el pepino de mar, entre otras. Todas estas especies están asociadas a los bosques submarinos estructurados por el sargazo gigante, *Macrocystis pyrifera* (Beas-Luna *et al.*, 2014). Estos bosques de sargazo son uno de los ecosistemas más diversos y productivos del planeta (Figura 1). A pesar de su productividad y resiliencia, se conoce muy poco de su capacidad de adaptación a los efectos del cambio climático. En particular, los bosques de sargazo de Baja California son de interés especial ya que se encuentran en el límite sur de la distribución de *M. pyrifera*, lo que representa condiciones climáticas considerablemente variables. Se ha comprobado que organismos que viven en condiciones extremas son más aptos para soportar cambios drásticos en las condiciones ambientales (Sagarin y Gaines, 2002; Sexton *et al.*, 2009) o podrían encontrarse muy cerca de sus límites termales (Boyd *et al.* 2016). Por lo tanto, generar datos físicos, químicos y biológicos de ecosistemas en su límite de distribución representa una gran oportunidad para conocer la capacidad de adaptación de los sistemas socio-ecológicos costeros. Uno de los efectos del cambio climático más preocupantes es la acidificación del océano causada por el incremento en la concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>; Gattuso y Buddemeier, 2000).

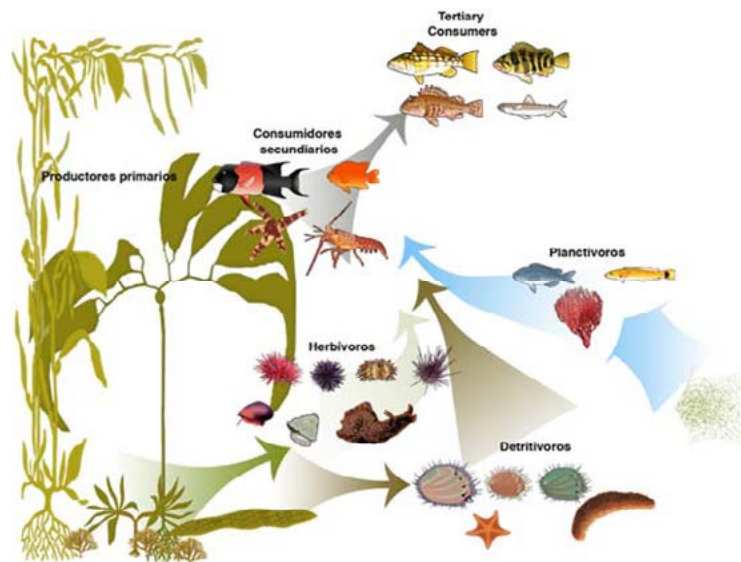


Figura 1. Bosque de sargazo en Baja California. Modificado de Carr y Reed (2015).

Todos los organismos marinos, desde productores primarios hasta depredadores tope, son susceptibles a los cambios en la química del carbono en el océano (Kroeker *et al.*, 2010) y pueden presentar respuestas como la reducción en la sobrevivencia, calcificación, crecimiento, desarrollo y abundancia (Kroeker *et al.*, 2013). Desafortunadamente, se conoce muy poco sobre los efectos que provocan transformaciones ecológicas en ecosistemas marinos tan complejos como los bosques de sargazo.

Los resultados obtenidos podrán ser utilizados para informar la capacidad de adaptación de sistemas socio-ecológicos y promover la estabilidad económica de las PPEs en el Pacífico Norte.

## Materiales y Métodos

Durante el año 2016, se realizó el programa de monitoreo físico, químico y biológico para caracterizar la variabilidad de los bosques de sargazo de *M. Pyrifera* en el límite sur de su distribución. El monitoreo se llevó a cabo en dos sitios: Gavilanes ( $27^{\circ}51'9.23''$  N,  $115^{\circ}4'40.14''$  W) y Piedra Blanca ( $27^{\circ}52'7.49''$  N,  $115^{\circ}2'40.20''$  W) ubicados en Punta Eugenia, Baja California, México (Figura 2).

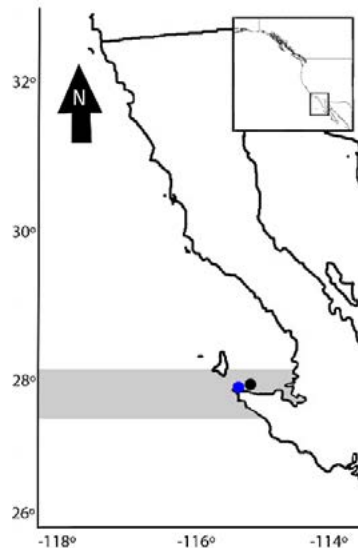


Figura 2. Límite sur de distribución de los bosques de sargazo en Baja California (área gris). Los puntos en el mapa, indican los sitios donde se instalaron los sensores oceanográficos y ubicaron los transectos de banda. El punto azul es Gavilanes y el negro es Piedra Blanca.

### Datos fisicoquímicos

Para coleccionar los datos fisicoquímicos se instalaron dos sensores oceanográficos SeaFET/SeapHOx V2.0 (Martz *et al.*, 2010), que se fijaron al fondo rocoso en el centro de los bosques de sargazo persistentes. El SeapHOx se instaló en Gavilanes, que además de registrar información para calcular pH y temperatura, también tiene un sensor de oxígeno y salinidad. El SeaFET se colocó en Piedra Blanca. Los sensores oceanográficos se programaron para coleccionar datos de temperatura, oxígeno, salinidad y pH cada 30 min. Se manipularon los ajustes del sistema vía un cable RS-232 con un adaptador contra agua de cabeza DB9 utilizando el software "TeraTerm" (Martz *et al.*, 2010; Bresnahan *et al.*, 2014).

Los sensores se instalaron en los dos sitios de muestreo en marzo de 2016. Los sitios se visitaron regularmente durante todo el año para dar mantenimiento a los sensores que incluye la recuperación del equipo, limpieza, cambio de baterías, recuperación de los datos y reinstalación del equipo.

Los datos obtenidos se procesaron, filtraron y analizaron utilizando scripts del software R (R Development Core Team, 2011) a partir de los algoritmos de Martz (Martz *et al.*, 2010; Bresnahan *et*

*al.*, 2014). Además, en cada visita se tomaron muestras de agua con una botella “Niskin” junto al sensor para calibrar la toma de los datos.

### *Datos biológicos*

Los datos biológicos se colectaron utilizando equipo de buceo autónomo SCUBA, a partir de tres transectos de banda de 30 x 2 m en los dos sitios de muestreo (Gavilanes y Piedra Blanca), donde se identificaron, contaron y midieron todas las especies de peces, invertebrados y algas. Estos transectos se realizaron en cada una de las visitas a los sitios para el mantenimiento de los sensores.

## **Resultados y Discusión**

En este esfuerzo de caracterización de las condiciones físicas, químicas y biológicas de los ecosistemas costeros en su límite sur de distribución, se encontró una gran variabilidad a pequeña escala.

Los datos obtenidos sugieren una alta variabilidad en el pH dentro y entre sitios (Figura 3a), con un valor máximo de pH de 8.3 y un mínimo de 7.7, con un patrón de variabilidad mayor a finales de la primavera y durante el verano (mayo, junio y julio). Se ha reportado que una variabilidad alta en el pH puede tener efectos negativos significativos en la sobrevivencia, calcificación, crecimiento, fotosíntesis y reproducción de organismos marinos (Kroeker *et al.*, 2010). El amplio rango de valores de pH que se encontraron en este estudio, sugiere un estrés considerable para los organismos que habitan estos arrecifes, especialmente porque está combinado con otros estresores como la temperatura, hipoxia y salinidad (Figura 3b, 3c y 3d). Estudios recientes indican una mejor adaptación a condiciones extremas de temperatura de los organismos en los límites de su distribución geográfica (Lester *et al.*, 2007). No obstante, también se ha sugerido que estos organismos podrían encontrarse muy cerca de sus límites de tolerancia termales (Boyd *et al.*, 2016). Actualmente, se conoce muy poco sobre los efectos del pH en organismos en los límites de su distribución y, aún menos, sobre la combinación de estresores múltiples. Por lo tanto, los resultados preliminares obtenidos en este estudio son fundamentales para encontrar patrones generales e informar programas de monitoreo y experimentos futuros enfocados a estos ecosistemas en respuesta al cambio climático.

La evaluación de las características químicas del agua de mar mostró que existen diferencias entre los dos sitios, especialmente en la temporada de verano (mayo–agosto). Curiosamente, los valores más bajos de pH se registraron en Gavilanes y los más altos en Piedra Blanca, ambos durante el mes de junio. Estas diferencias tan drásticas pueden estar influenciadas por la presencia de masas de agua con diferentes orígenes. Se ha demostrado que las masas de agua procedentes de eventos de surgencia costera presentan menor pH, temperatura y O<sub>2</sub> (Feely *et al.*, 2008), por lo tanto, es probable que los valores bajos de pH en Gavilanes se deban a un evento de esta naturaleza.

Desafortunadamente, sólo fue posible identificar un evento de este tipo en un sitio en la serie de tiempo actual, lo que hace imposible la comparación de patrones oceanográficos a diferentes escalas de tiempo y espacio, demostrando el valor que tendrá la continuidad de los monitoreos fisicoquímicos. Además, la caracterización de aguas costeras para poder identificar patrones oceanográficos regionales requiere de un análisis a meso escala.

En este estudio piloto, además de reportar la gran variabilidad de pH, también se registraron eventos de calentamiento drásticos de agua, con temperaturas de hasta 25 °C (Figura 3b). Además, se encontraron valores subóptimos de oxígeno disuelto en repetidas ocasiones en la serie de tiempo (Figura 3c) y un patrón claro en la disminución de la salinidad (Figura 3d).

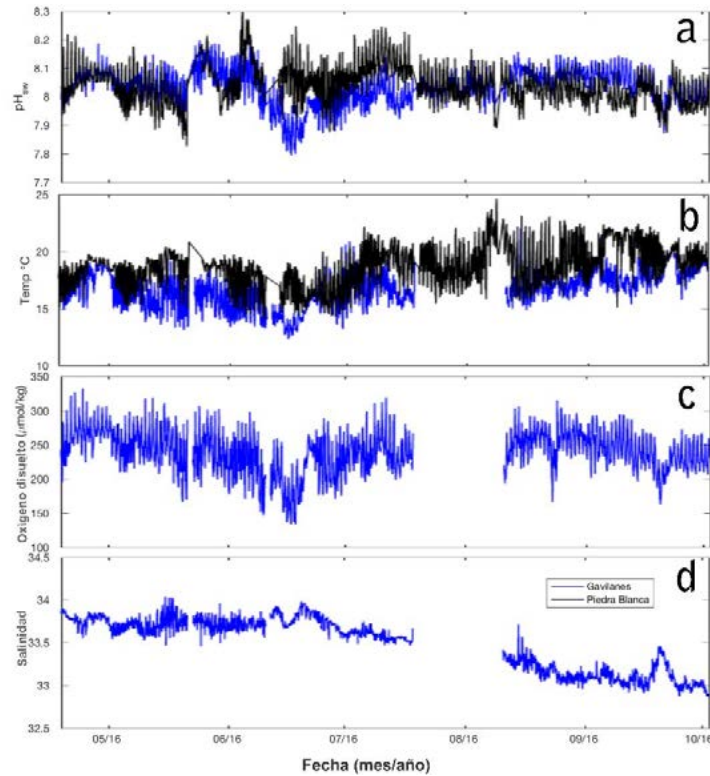


Figura 3. Series de tiempo la química de carbono del océano en Gavilanes (azul) y Piedra Blanca (negro).

El resultado del monitoreo biológico muestra una gran diversidad de respuestas. Algunas especies muestran un aumento en la abundancia y otras una disminución, posiblemente en respuesta a los cambios de los factores ambientales. Por ejemplo, en el transcurso de este estudio piloto, se registró una reducción significativa de especies de peces a finales de junio coincidiendo con los valores extremos de pH en ambos sitios (Figura 4). Estos resultados demuestran que es fundamental la integración de datos físicos, químicos y biológicos y evidencian la gran necesidad de llevar a cabo monitoreos continuos que nos permitan hacer comparaciones a diferentes escalas de tiempo y espacio para entender las respuestas del ecosistema marinos costeros de gran valor comercial como los bosques de sargazo.

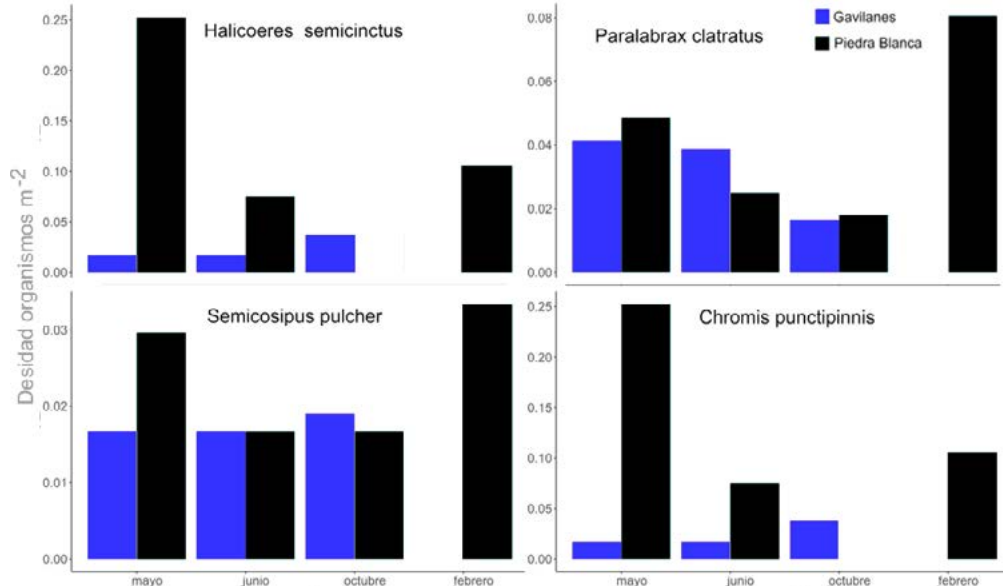


Figura 4. Ejemplo de la densidad de peces más representativos del sitio.



## Conclusiones

Los disturbios ambientales como tormentas, aumento en la temperatura, hipoxia y acidificación del océano, han incrementado en frecuencia e intensidad como consecuencia del cambio climático. Esto ha provocado mortalidades masivas de especies de importancia ecológica y comercial en el Pacífico Nororiental. En este estudio, se demostró el valor de desarrollar programas de monitoreo oceanográficos y ecológicos para entender la respuesta de ecosistemas costeros complejos y productivos a los efectos de cambio climático para mejor los programas de manejo y conservación.

## Agradecimientos

Se agradece profundamente a la Cooperativa de producción pesquera “La Purisima”. Especialmente a Sadoc y Enrique Canina por su apoyo logístico. Además, a todos los voluntarios que ayudaron con las actividades de buceo como Nur Arafeh, Hector Hernandez, Alan Olvera, Pamela Orta y Ainoa Vilalta. Se agradece a la Fundación de David y Lucile Packard y al programa de PRODEP NPTC UABC-PTC-549 por el financiamiento otorgado para este proyecto.

## Literatura citada

- Beas-Luna, R., M. Novak, M. H. Carr, M. T. Tinker and A. Black. 2014. An online database for informing ecological network models: <http://kelpforest.ucsc.edu>. *PLoS ONE* 9.
- Boyd, P. W., C. E. Cornwall, A. Davison, S. C. Doney, M. Fourquez, C. L. Hurd, I. D. Lima and A. McMinn. 2016. Biological responses to environmental heterogeneity under future ocean conditions. *Global Change Biology* 22:2633–2650.
- Bresnahan, P. J. Jr, T. R. Martz, Y. Takeshita, K. S. Johnson and M. LaShomb. 2014. Best practices for autonomous measurement of seawater pH with the Honeywell Durafet. *Methods in Oceanography* 9:44–60.
- Feely, R. A., C. L. Sabine, J. M. Hernandez-Ayon, D. Ianson and B. Hales. 2008. Evidence for Upwelling of Corrosive “Acidified” Water onto the Continental Shelf. *Science* 320:1490–1492.
- Gattuso, J. P. and R. W. Buddemeier. 2000. Ocean biogeochemistry: calcification and CO<sub>2</sub>. *Nature* 407:311–313.
- Hewson, I., J. B. Button, B. M. Gudenkauf, B. Miner, A. L. Newton, J. K. Gaydos, J. Wynne, C. L. Groves, G. Hendler, M. Murray, S. Fradkin, M. Breitbart, E. Fahsbender, K. D. Lafferty, A. M. Kilpatrick, C. M. Miner, P. Raimondi, L. Lahner, C. S. Friedman, S. Daniels, M. Haulena, J. Marliave, C. A. Burge, M. E. Eisenlord and C. D. Harvell. 2014. Densovirus associated with sea-star wasting disease and mass mortality. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111:17278–17283.
- Kroeker, K. J., R. L. Kordas, R. N. Crim and G. G. Singh. 2010. Meta-analysis reveals negative yet variable effects of ocean acidification on marine organisms. *Ecology Letters* 13:1419–1434.
- Kroeker, K. J., R. L. Kordas, R. Crim, I. E. Hendriks, L. Ramajo, G. S. Singh, C. M. Duarte and J. –P. Gattuso. 2013. Impacts of ocean acidification on marine organisms: quantifying sensitivities and interaction with warming. *Global Change Biology* 19:1884–1896.
- Lester, S. E., S. D. Gaines and B. P. Kinlan. 2007. Reproduction on the edge: large-scale patterns of individual performance in a marine invertebrate. *Ecology* 88:2229–2239.
- Martz, T. R., J. G. Connery and K. S. Johnson. 2010. Testing the Honeywell Durafet® for seawater pH applications. *Limnology and Oceanography: Methods* 8:172–184.
- Micheli, F., A. Saenz-Arroyo, A. Greenley, L. Vazquez, J. A. Espinoza Montes, M. Rossetto and G. A. De Leo. 2012. Evidence That Marine Reserves Enhance Resilience to Climatic Impacts (ed AP Klimley). *PloS ONE* 7:e40832–8.
- Sagarin, R. D. and S. D. Gaines. 2002. Geographical abundance distributions of coastal invertebrates: using one-dimensional ranges to test biogeographic hypotheses. *Journal of Biogeography* 29:985–997.
- Sexton, J. P., P. J. McIntyre and A. L. Angert. 2009. Evolution and ecology of species range limits. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 40:415–436.



ISBN: 978-607-96490-5-0



9 786079 649050

