

Carbono azul en humedales intermareales de la costa del Pacífico de Canadá



Ejemplos de la Reserva Parque Nacional de la Cuenca del Pacífico y la Reserva de la Biosfera de Clayoquot de Canadá

La presente investigación corrió a cargo de **S. Chastain** y **K. E. Kohfeld**, de la Universidad Simon Fraser.

Con el apoyo de la **Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA)** en el marco del proyecto *Avances en la práctica científica para la formulación de políticas en materia de carbono azul en América del Norte* (Plan Operativo 2015-2016).

La investigación reciente ha centrado su atención en los elevados índices de acumulación de carbono en los ecosistemas costeros —entre los que destacan manglares, lechos de pasto marino y marismas— como vehículos para captar y almacenar (secuestrar) carbono —el llamado “carbono azul”— con fines de mitigación de los efectos del cambio climático. Con el paso del tiempo y en condiciones de niveles bajos de oxígeno, el material generado por plantas y animales muertos en las marismas se acumula, lo cual limita las emisiones de CO₂ del proceso normal de descomposición anaeróbica (McLeod *et al.*, 2011; Chmura *et al.*, 2003; Duarte *et al.*, 2013). Esta acumulación de materia orgánica puede aumentar significativamente la cantidad de carbono almacenado en los suelos y sedimentos de estos ecosistemas. A fin de incluir el carbono contenido en estos ecosistemas en los mecanismos de contabilidad correspondientes, es necesario llevar a cabo una cuantificación meticulosa de las reservas del elemento en los sumideros pertinentes (Coverdale *et al.*, 2014; Macreadie *et al.*, 2012; McLeod *et al.*, 2011; Mitsch *et al.*, 2012). Aunque las marismas costeras constituyen sólo una pequeña fracción de la superficie terrestre mundial, son capaces de almacenar, gracias a su elevada productividad, una cantidad relativamente grande de carbono en proporción a su superficie (McLeod *et al.*, 2011). Este potencial para almacenar carbono cobra cada vez mayor reconocimiento como un

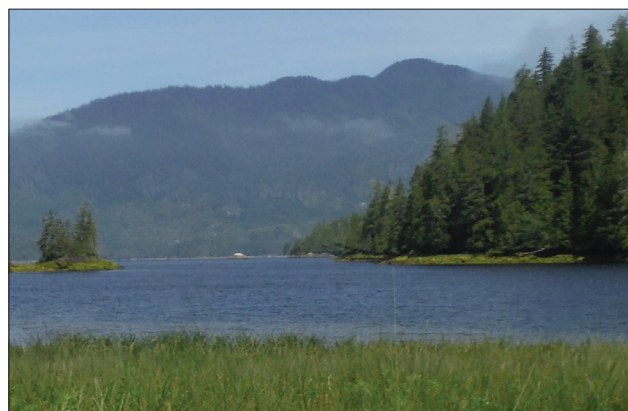


Foto: cortesía de Stephen Chastain

Parte sur de la caleta Kennedy (*Kennedy Cove South*), Columbia Británica.

valioso servicio ambiental que prestan las marismas salobres costeras (Coverdale *et al.*, 2014; Fourqurean *et al.*, 2012; McLeod *et al.*, 2011). No obstante, en los últimos 50 a 100 años, el planeta ha perdido entre una cuarta parte y la mitad de todos los ecosistemas costeros con vegetación (McLeod *et al.*, 2011), y se estima que las emisiones de carbono total resultantes de estas pérdidas corresponden a 19% del carbono total emitido a causa de la deforestación (Pendleton *et al.*, 2012). De un estudio de caso se desprenden estimaciones que indican que las marismas en Inglaterra almacenan hoy 70,000 toneladas de carbono al año menos que en 1950 (Beaumont *et al.*, 2014).

El presente estudio forma parte de una iniciativa que busca contribuir a la cuantificación de las reservas de carbono en el suelo y los índices de acumulación en ecosistemas de marismas a lo largo de la costa del Pacífico de Canadá. Las estimaciones sobre acumulación de carbono realizadas para las marismas en la región nororiental del océano Pacífico distan mucho, en cuanto a nivel de exhaustividad, de las efectuadas para otras partes del planeta, como el mar Mediterráneo, México y Australia. Aunque se han estudiado las marismas en la costa este de Canadá en latitudes similares, un sondeo sobre datos disponibles a escala mundial en relación con la acumulación de carbono en estos ecosistemas costeros incluyó apenas un único dato específico de la costa oeste de Canadá (Chmura *et al.*, 2003). Por ello es necesario recabar más información que brinde una estimación de alcance regional más exacta y representativa de las distintas influencias ambientales y antropogénicas experimentadas en la costa del Pacífico en Canadá (Chmura *et al.*, 2003; Ouyang y Lee, 2014).

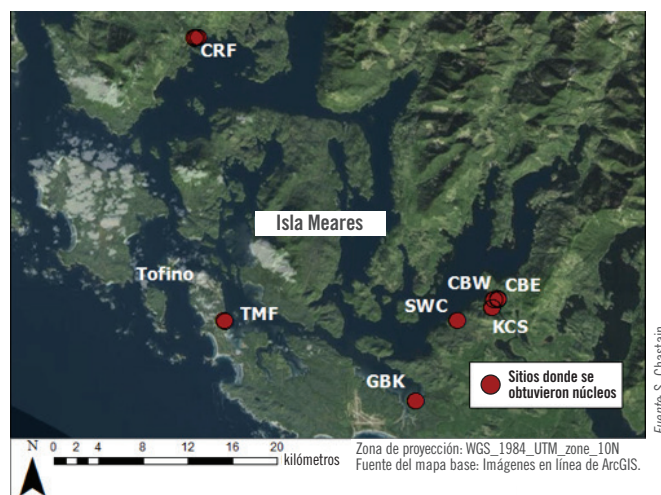
En el presente estudio se examinó, además, el posible impacto que la modificación ecocultural de los sistemas de marismas ha tenido en el almacenamiento de carbono. En algunos sitios ubicados a lo largo de la costa canadiense en el Pacífico, antes de la llegada de los europeos, las comunidades indígenas aprovechaban zonas cubiertas por marismas para la recolección y el cultivo intensivos de vegetales de rizomas (Deur, 2002). A fin de extender la superficie donde pudieran cultivarse las plantas deseadas, se construyeron sistemas de terrazas elevadas en zonas elevadas de las marismas. Los métodos de labranza y arado extensivos empleados garantizaban que los suelos estuvieran bien mezclados y se mantuvieran fértiles. La palabra en lengua indígena para este tipo de terrazas se traduce como “lugar de suelos creados por el hombre” (Deur, 2002). Estos huertos y construcciones de piedra llevan abandonados casi un siglo, aunque quedan evidencias de su existencia en los mantillos sumamente heterogéneos (Deur, 2000).

Resumen de la investigación

Se seleccionaron diversos sitios en el estrecho de Clayoquot, ensenada del océano Pacífico en la costa oeste de la isla de Vancouver, Columbia Británica, Canadá. El estrecho comprende tierras que gozan de diferentes tipos de designación como áreas protegidas. La superficie más extensa corresponde a la Reserva de la Biosfera de Clayoquot —incluida en la Lista del Patrimonio Mundial de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación,

la Ciencia y la Cultura (Unesco)—, que cubre 350,000 hectáreas, junto con la Reserva Parque Nacional de la Cuenca del Pacífico de Canadá e Isla Meares (*Pacific Rim National Park Reserve and Meares Island*), parque de la comunidad indígena tla-o-qui-aht (véase la figura 1). Para efectos de la presente investigación, se obtuvieron muestras de siete sitios de marismas en el estrecho: la bahía Cannery este (*Cannery Bay East*, CBE), la bahía Cannery oeste (*Cannery Bay West*, CBW), los bancos del río Cypress (*Cypress River Flats*, CRF), la bahía de Grice y el arroyo Kootowis (*Grice Bay-Kootowis Creek*, GBK), la parte sur de la caleta Kennedy (*Kennedy Cove South*, KCS), la caleta Shipwreck (*Shipwreck Cove*, SWC) y las llanuras mareales de Tofino (*Tofino Mud Flats*, TMF) (véase la figura 1).

Figura 1. Panorámica de las zonas de marismas muestreadas en el estrecho de Clayoquot



Dos razones motivaron la selección de estos sitios:

- Los sitios se mantienen relativamente imperturbados y se encuentran dentro de áreas protegidas, lo que permite cuantificar índices de acumulación de carbono en estrecha analogía con las condiciones naturales.
- La región contiene sitios donde las prácticas agrícolas de pueblos indígenas han alterado las marismas, y ello permite analizar los efectos de una antigua modificación ecocultural en la acumulación de carbono en estos sistemas.

Para obtener los núcleos a analizar de cada uno de los sitios objeto de estudio, se seleccionaron puntos que representarían una gama de niveles de salinidad resultantes de eventos de inundación en mareas alta, media y baja,

dado el posible impacto de las diferentes salinidades en el enterramiento de carbono (Chmura *et al.*, 2011; IPCC, 2013) (véase la figura 2). Se establecieron transectos lineales perpendiculares a la línea costera y, con la intención de obtener muestras de toda la vegetación marismosa desde el extremo mar adentro hasta la zona de mayor inundación, se recogieron núcleos en toda la gama de estratos representativos de las distintas elevaciones y tipos de vegetación (Fourqurean *et al.*, 2014a).

Así, se recolectaron 36 núcleos de sedimentos de zonas altas y bajas de los siete sitios de marisma en puntos ubicados a lo largo de los transectos (véase la figura 3). Se midieron las características del sedimento y el contenido de carbono en 34 de los 36 núcleos originalmente recolectados y, con los datos obtenidos, se estimaron las reservas de carbono y los índices de acumulación (Howard *et al.*, 2014). Asimismo, se describieron la textura del suelo y el color de cada núcleo, cuyas muestras se tomaron a una resolución de un centímetro para medir la densidad aparente en seco y la pérdida por calcinación, como indicador del contenido de material orgánico. Las reservas de carbono se extrapolaron utilizando dos métodos distintos a fin de escalar a megagramos por hectárea (Mg-C ha⁻¹) los valores del contenido carbónico estimados para los núcleos individuales. Los índices de acumulación de carbono se calcularon a partir de índices de acumulación en sedimentos establecidos para núcleos profundos de cuatro de los siete sitios con base en un análisis de datación radioisotópica con plomo-210 (²¹⁰Pb).

Por otra parte, se obtuvieron mediciones para las reservas y los índices de acumulación de carbono de seis núcleos

Figura 3. Vista aérea de un transecto



Foto: cortesía de Stephen Chastain

En este caso, el núcleo se extrajo de una de las esquinas de la cuadrícula de 50 x 50 cm y la vegetación es típica del estrato alto de la marisma.

de marismas altas de un sitio históricamente documentado como hortícola. Estos núcleos se compararon con estimaciones obtenidas para los otros 28 núcleos de sistemas de marismas ubicadas en el área de estudio con el propósito de examinar cómo las modificaciones en el suelo en la zona de marismas altas podrían haber repercutido en los índices de almacenamiento y acumulación de carbono.

Además de las reservas de carbono, para cada uno de los 34 núcleos se estimó la densidad de carbono en el suelo (DCS) —la masa de carbono en un centímetro cúbico de suelo obtenido a una profundidad dada—, calculada como el producto del contenido de carbono orgánico (%C_{org}) y la densidad aparente en seco (DAS):

$$DCS \left(\frac{gC_{org}}{cm^3} \right) = \left(\frac{\%C_{org}}{100} \right) \times DAS$$

Figura 2. Corte transversal de una marisma idealizada de Columbia Británica

Antes de la construcción de estructuras de piedra para la instalación de huertos



Nota: Los estratos vegetales característicos en esta ilustración se utilizan para separar las ubicaciones de los núcleos de marisma alta y baja.

Fuente: Deur, 2000



Equipo a cargo de la extracción de núcleos, estrecho de Clayoquot.

Por su parte, las reservas de carbono (g-C cm^{-2}) se estimaron con base en dos métodos: 1) mediante la suma de las reservas de carbono para cada intervalo de muestra de un centímetro de grosor con DCS calculada, en todo lo largo del núcleo, presuponiendo que la profundidad de rechazo (ubicada entre 5 y 100 cm) corresponde a la profundidad debajo de la cual ya no se acumula carbono (Fourqurean *et al.*, 2014b), y 2) estimando la DCS promedio para cada núcleo ($\text{DAS promedio} \times \%C_{\text{org}} \text{ promedio}$) y multiplicándola por la profundidad de rechazo. Las estimaciones de las reservas de carbono (g-C cm^{-2}) obtenidas con base en ambos métodos se convirtieron a Mg-C ha^{-1} para cada núcleo. Se estimó un promedio a escala de sitio utilizando todos los núcleos de cada sitio, y se calculó un promedio regional a partir de los promedios para cada sitio.

Por último, el índice de acumulación de carbono (IAC), expresado en términos de $\text{g-C m}^{-2} \text{ año}^{-1}$, se estimó como el producto del índice de acumulación sedimentaria (IAS) global (para todo el núcleo) y la densidad promedio de carbono en el suelo (DCS) obtenidos para los cuatro núcleos profundos sometidos a análisis de datación con ^{210}Pb (Crooks *et al.*, 2014):

$$IAC \left(\frac{\text{g C}}{\text{m}^2 \text{ año}} \right) = IAS \left(\frac{\text{cm}}{\text{año}} \right) \times DCS \left(\frac{\text{gC}}{\text{cm}^3} \right) * 10,000 \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{m}^2} \right)$$

Sin embargo, dado que muchos de los núcleos objeto de estudio presentaron compactación durante su recolección, se calculó un factor de corrección de compactación (Fourqurean *et al.*, 2014b):

$$\text{Factor de corrección de compactación} = \frac{\text{longitud de la muestra (cm)}}{\text{longitud de la penetración en el núcleo (cm)}}$$

A fin de estimar la profundidad no compactada debajo de la superficie, se aplicó el factor de corrección de compactación obtenido a cada incremento de un centímetro (Fourqurean *et al.*, 2014b):

$$\text{profundidad no compactada} = \frac{\text{profundidad del incremento de la submuestra (cm)} \times \text{factor de corrección}}$$

El IAS global se calculó para el núcleo completo, dividiendo la profundidad del núcleo no compactado entre la antigüedad de la porción más profunda del núcleo con actividad de ^{210}Pb :

$$IAS \left(\frac{\text{cm}}{\text{año}} \right) = \frac{\text{profundidad del núcleo no compactado (cm)}}{\text{antigüedad del punto más profundo del núcleo con } ^{210}\text{Pb (año)}}$$

Los resultados mostraron que la zona de acumulación de carbono —definida para fines del presente estudio como la profundidad del suelo descrita como mantillo o turba a través de la cual fue posible introducir el nucleador de percusión (Fourqurean *et al.*, 2014b)— osciló entre menos de 5 y 60 centímetros.

Las reservas de carbono promedio en los suelos de las marismas del estrecho de Clayoquot varían entre 35 y 113 Mg-C ha^{-1} , según estimaciones derivadas utilizando el método uno, y alcanzan valores de entre 56.4 y 173 Mg-C ha^{-1} con base en el método dos (véase la figura 4). El promedio regional asciende a $80.6 \pm 43.8 \text{ Mg-C ha}^{-1}$, calculado con el método uno, y $126 \pm 71.2 \text{ Mg-C ha}^{-1}$, con el método dos. Los valores obtenidos para las reservas de carbono a partir del método uno son comparables a los calculados con una metodología similar para Everett, Washington, Estados Unidos: $78.1 \text{ Mg-C ha}^{-1}$ (Crooks *et al.*, 2014). Con el método dos, las reservas de carbono resultan sistemáticamente más elevadas que las calculadas con el método uno y se aproximan más a las estimaciones de las reservas de carbono efectuadas para las marismas salobres de Florida: $201.5 \text{ Mg-C ha}^{-1}$ (RAE, 2016).

La densidad de carbono promedio fue de $0.033 \text{ g-C cm}^{-3}$, valor que resulta mayor que los publicados para marismas en sitios cercanos ubicados en Ucluelet, Canadá ($0.017 \text{ g-C cm}^{-3}$) (Chmura *et al.*, 2003), y Everett, Washington, Estados Unidos ($0.027 \text{ g-C cm}^{-3}$) (Crooks *et al.*, 2014).

Los índices de acumulación de carbono (IAC) en el estrecho de Clayoquot oscilan entre 75 y 264 g-C m⁻² año⁻¹, y el IAC promedio para el lugar es de 173 g-C m⁻² año⁻¹, menor que el promedio mundial de 245 g-C m⁻² año⁻¹ y que el valor de 315 g-C m⁻² año⁻¹ estimado para la región con rango de latitudes entre 48.4 y 58.4 °N (Ouyang y Lee, 2014). Al mismo tiempo, este IAC promedio para el estrecho de Clayoquot se ubica muy próximo al promedio de 174 g-C m⁻² año⁻¹ estimado para el Pacífico norte entre las latitudes de 28.4 y 38.4 °N, con base en ocho estudios realizados para la costa de California (Chmura *et al.*, 2003).

Numerosos factores pueden influir en las estimaciones realizadas como parte de la presente investigación sobre la densidad de carbono en el suelo, las reservas y los índices de acumulación del elemento, a saber: 1) la representatividad de los núcleos utilizados para cada marisma; 2) los efectos de la compactación durante el proceso de obtención de núcleos, y 3) la estimación de la mayor profundidad de acumulación de carbono.

En términos generales, la estrategia de muestreo se diseñó con la intención de obtener aproximadamente un número equivalente de núcleos de marismas altas y bajas para la región en conjunto. Con el método uno, el promedio de las reservas de carbono en los núcleos de marismas altas fue de 105 ± 40.1 Mg-C ha⁻¹ y de 53.6 ± 30.8 Mg-C ha⁻¹ para las marismas bajas. Estos datos sugieren que las zonas altas tienen el doble de capacidad para contener carbono en comparación con las zonas bajas. Esta diferencia significativa pone de relieve la variación en las reservas de carbono que se registra a pequeña escala en toda una marisma.



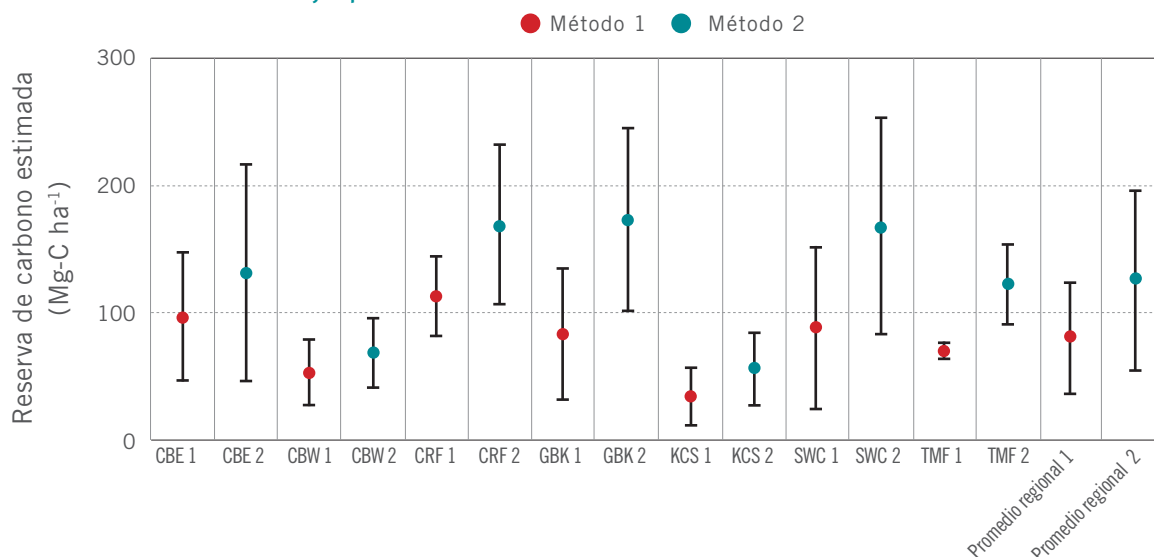
Foto: cortesía de Victoria Postlethwaite

Extracción de un núcleo, bahía Cannery este (Cannery Bay East).

Los resultados obtenidos apuntalan las observaciones de estudios realizados con anterioridad en los que el método de obtención de núcleos afecta tanto el grado de compactación como la profundidad de rechazo estimada. De nuestros 36 núcleos, en once se observó una compactación de 30 por ciento o más. Para calcular los índices de acumulación de carbono, y con fines de simplicidad, se presumió una compactación uniforme en el núcleo, aunque es probable que la compactación afecte los niveles superiores del suelo más que los inferiores, donde la densidad es naturalmente mayor.

Como se mencionó ya, la zona de acumulación de carbono varió entre menos de 5 y 60 cm. Asimismo, la mayor variación en la profundidad de rechazo registrada en un mismo sitio fue de 14 a 59 cm. Estas profundidades de acumulación de carbono resultan más superficiales que muchas de las que comúnmente se presentan en marismas, las cuales pueden alcanzar hasta tres metros o más de profundidad (Fourqurean *et al.*, 2014b). En estudios

Figura 4. Estimaciones de reservas de carbono para los sitios seleccionados en el estrecho de Clayoquot



previos se han presumido profundidades promedio de acumulación de carbono de entre 30 cm (Crooks *et al.*, 2014) y un metro (IPCC, 2013). Al extrapolar las estimaciones de las reservas de carbono a una profundidad de

acumulación supuesta aumenta la incertidumbre correspondiente, y en este caso, incluso suponer la profundidad de acumulación de 30 cm genera una estimación hasta cinco veces más elevada en las reservas de carbono.

Factores que afectan las reservas de carbono en el estrecho de Clayoquot

Las estimaciones de reservas de carbono e índices de acumulación obtenidas en el presente estudio resultan comparables con otras registradas para la región, aunque ligeramente menores que los valores mundiales para esta banda latitudinal. Aunque varios de los factores que determinan los índices de acumulación y las reservas de carbono en esta zona son comunes a todas las áreas, ciertos de ellos resultan específicos de la región.

Aumento en el nivel del mar y actividad tectónica: Se cree que el acelerado ritmo de aumento en el nivel del mar podría estar reduciendo la extensión de las marismas en todo el mundo; sin embargo, el ritmo de tal pérdida no ha sido a la fecha bien cuantificado (Howard *et al.*, 2014; McLeod *et al.*, 2011; Craft *et al.*, 2009). En el caso del estrecho de Clayoquot, el incremento del nivel del mar podría no ser un factor significativo debido a la actividad tectónica regional: de hecho, se estima que en Tofino, sitio cercano, el nivel medio del mar ha estado disminuyendo 1.7 mm al año en el último siglo (NOAA, 2013).

Tasa de flujos sedimentarios: La tasa de los flujos sedimentarios procedentes de corrientes arribeñas rara vez concuerda con la tasa de erosión en el extremo mar adentro de una marisma, y la extensión lateral de la misma es un factor dinámico que afecta su capacidad para almacenar carbono (Fagherazzi *et al.*, 2013). La extensión actual de las marismas en el estrecho de Clayoquot podría ser producto de una pulsación de sedimentos erosionados procedentes de corrientes arriba, específicamente como resultado del clareo de zonas forestales durante las actividades de tala que tuvieron lugar en el siglo XX.

Explotación de la tierra por comunidades indígenas: En registros históricos se documenta el aprovechamiento de los bancos del río Cypress por comunidades indígenas para el cultivo de anserina (*Potentilla anserina*). Aunque podría esperarse que las prácticas agrícolas favorecerían las reservas e índices de acumulación de carbono, el presente estudio sugiere que las reservas de carbono en este sitio no difirieron en términos estadísticos de cinco de los otros sitios estudiados; de hecho, se observó que los índices de acumulación fueron menores (161 contra 212-280 g-C m⁻² año⁻¹) que los registrados en dos sitios. Una explicación apunta a que la marisma en los bancos del río Cypress, objeto de modificaciones de índole cultural, no contaba con un sistema de terrazas elevadas con paredes de piedra en la base de la zona de marismas altas. Tales estructuras de piedra verticales representan una característica típica de las marismas cultivadas y podrían actuar en favor de la retención de materia orgánica edáfica en estos ecosistemas, pero su ausencia podría traducirse en un comportamiento del almacenamiento de carbono más parecido al observado en marismas no perturbadas. Otra explicación para la similitud registrada en las reservas e índices de acumulación de carbono de los bancos del río Cypress respecto de los otros sitios estudiados estriba en el hecho de que lo que fueron espacios anteriormente cultivados llevan abandonados ya todo un siglo. Así, el efecto en los índices de acumulación de carbono resultante de una antigua explotación de la tierra podría ser efímero e imperceptible transcurrido un lapso de cien años, como lo han sugerido otros investigadores (Bouchard y Kennedy, 1990; Deur, 2000).

Prioridades de investigación

Las mediciones de carbono en el suelo específicas para la región, efectuadas como parte del presente estudio, podrían convertirse en componente de una evaluación sobre hábitats que captan y almacenan carbono azul con métodos de estimación de nivel II, de acuerdo con las directrices del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 2013). Entre las tareas específicas a realizar podrían incluirse las siguientes:

- *Elaborar mapas de la superficie que cubren las marismas sobre la costa del Pacífico.* Muchas de las que se encuentran en el estrecho de Clayoquot son pequeñas, pero dado que los índices de acumulación de carbono promedian los $173 \text{ g-C m}^{-2} \text{ año}^{-1}$, es preciso realizar estimaciones del área combinada que ocupan estas marismas para poder entender el potencial de acumulación de carbono total.
- *Calcular los índices de acumulación de carbono de zonas de marismas bajas para compararlos con los de zonas altas.* Al combinarse con mapas de gran precisión, se obtendría un panorama mucho más completo del equilibrio de radiación de las marismas, sobre todo en el contexto de niveles del mar en proceso de cambio y de su efecto en las marismas bajas.
- *Efectuar un estudio arqueológico experimental sobre las características edáficas de los huertos instalados sobre marismas con la aplicación de técnicas de manejo tradicionales indígenas,* a fin de investigar los beneficios colaterales del mejoramiento del suelo de estos ecosistemas.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a Victoria Postlethwaite, Aimee McGowan y Celeste Barlow la invaluable asistencia que brindaron con el muestreo en campo, así como a Dan Harrison y la Sociedad Educativa Raincoast (*Raincoast Education Society*), Jen Pukonen y los empleados de Tofino Water Taxi por su tiempo y atención al apoyar la planeación y logística de los trabajos de campo. Extendemos nuestro agradecimiento, asimismo, a Jennifer Yakimishyn y Cliff Robinson por el apoyo en especie en traslados y en campo, que facilitó la recolección de datos en campo. Deseamos reconocer las contribuciones de los doctores Douglas Deur, Dana Lepofsky e Iain McKechnie por sugerir la adición de sitios ecoculturales al presente estudio y por compartir sus conocimientos y experiencia al respecto. Agradecemos al doctor Richard Atleo por facilitar y orientar las actividades de muestreo en territorio aousaht. Por último, vaya nuestro agradecimiento a Maureen Soon, del Departamento de Ciencias de la Tierra, los Océanos y la Atmósfera de la Universidad de Columbia Británica, por sus aportaciones; a Bryn Montgomery por su asistencia técnica con ArcMap 10.3, y a Yiga Phuntsok, Ellie Simpson, Hannah Jensen, Gemma MacFarland y Maija Gailis por su apoyo con el trabajo de laboratorio.

Referencias

- Beaumont, N. J., L. Jones, A. Garbutt, J. D. Hansom y M. Toberman (2014), "The value of carbon sequestration and storage in coastal habitats", *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, núm. 137, pp. 32-40.
- Bouchard, R. y D. Kennedy (1990), *Clayoquot Sound Indian land use*, informe preparado para MacMillan Bloedel Limited, Fletcher Challenge Canada y el Ministerio de Bosques de Columbia Británica (*British Columbia Ministry of Forests*), Victoria, Columbia Británica, pp. 377-543.
- Chmura, G. L., S. C. Anisfeld, D. R. Cahoon y J. C. Lynch (2003), "Global carbon sequestration in tidal, saline wetland soils", *Global Biogeochemical Cycles*, núm. 17(4), pp. 1-11, en: <<http://doi.org/10.1029/2002gb001917>>.
- Chmura, G. L., L. Kellman y G. R. Guntenspergen (2011), "The greenhouse gas flux and potential global warming feedbacks of a northern macrotidal and microtidal salt marsh", *Environmental Research Letters*, núm. 6(4), pp. 1-6, en: <<http://doi.org/10.1088/1748-9326/6/4/044016>>.
- Coverdale, T. C., C. P. Brisson, E. W. Young, S. F. Yin, J. P. Donnelly y M. D. Bertness (2014), "Indirect human impacts reverse centuries of carbon sequestration and salt marsh accretion", *PLOS ONE*, núm. 9(3), pp. 1-7, en: <<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0093296>>.
- Craft, C., J. Clough, J. Ehman, J. Samantha, R. Park, P. Pennings, H. Guo y M. Machmuller (2009), "Forecasting the effects of sea-level rise on tidal marsh ecosystem services", *Front Ecol Environ*, núm. 7, pp. 73-78, <<http://doi.org/10.1890/070219>>.
- Crooks, S., J. Rybczyk, K. O'Connell, D. L. Devier, K. Poppe y S. Emmett Mattox (2014), *Coastal blue carbon opportunity assessment for the Snohomish Estuary: The climate benefits of estuary restoration*, informe realizado por Environmental Science Associates, Universidad del Oeste de Washington, EarthCorps y Restore America's Estuaries, pp. 19-43, febrero de 2014; disponible en: <www.estuaries.org/coastal-blue-carbon-opportunity-assessment-for-the-snohomish-estuary-the-climate-benefits-of-estuary-restoration>.
- Deur, Douglas (2000), *A domesticated landscape: Native American plant cultivation on the Northwest Coast of North America*, disertación de doctorado inédita, Universidad Estatal de Luisiana, pp. 69-251.
- Deur, Douglas (2002), "Plant cultivation on the Northwest Coast: A reconsideration", *Journal of Cultural Geography*, núm. 19(2), pp. 9-35, en: <<http://doi.org/10.1080/08873630209478287>>.
- Duarte, C. M., I. J. Losada, I. E. Hendriks, I. Mazarrasa y N. Marbà (2013), "The role of coastal plant communities for climate change mitigation and adaptation", *Nature Climate Change*, núm. 3(11), pp. 961-968, en: <<http://doi.org/10.1038/nclimate1970>>.
- Fagherazzi, S., G. Mariotti, P. Wiberg y K. J. McGlathery (2013), "Marsh collapse does not require sea level rise", *Oceanography*, núm. 26(3), pp. 70-77, en: <<http://dx.doi.org/10.5670/oceanog.2013.47>>.
- Fourqurean, J. W., C. M. Duarte, H. Kennedy, N. Marbà, M. Holmer, M. A. Mateo, E. T. Apostolaki, G. A. Kendrick, D. Krause Jensen, K. J. McGlathery y O. Serrano (2012), "Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock", *Nature Geoscience*, núm. 5(7), pp. 505-509, <<http://doi.org/10.1038/ngeo1477>>.

Fourqurean, J., B. Johnson, J. B. Kauffman, H. Kennedy, C. Lovelock *et al.* (2014a), “Conceptualizing the project and developing a field measurement plan”, en: *Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows*, J. Howard, S. Hoyt, K. Isensee, E. Pidgeon y M. Telszewski (editores), Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la Unesco, Unión Mundial para la Naturaleza (UICN) y Conservation International, Arlington, Virginia, Estados Unidos, pp. 25-38.

Fourqurean, J., B. Johnson, J. B. Kauffman, H. Kennedy, C. Lovelock *et al.* (2014b), “Field sampling of soil carbon pools in coastal ecosystems”, en: *Coastal Blue Carbon: Methods for assessing...*, *op. cit.*, pp. 39-66.

Howard, J., S. Hoyt, K. Isensee, E. Pidgeon y M. Telszewski (eds.) (2014), *Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows*, Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la Unesco, Unión Mundial para la Naturaleza (UICN) y Conservation International, Arlington, Virginia, Estados Unidos, pp. 149-150.

IPCC (2013), “Coastal Wetlands”, en D. Alongi, A. Karim, H. Kennedy, G. Chen, G. Chmura, S. Crooks *et al.* (eds.), *2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, Suiza.

Macreadie, P. I., K. Allen, B. P. Kelaher, P. J. Ralph y C. G. Skilbeck (2012), “Paleoreconstruction of estuarine sediments reveal human-induced weakening of coastal carbon sinks”, *Global Change Biology*, núm. 18(3), pp. 891-901, en: <<http://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02582.x>>.

McLeod, E., G. L. Chmura, S. Bouillon, R. Salm, M. Björk, C. M. Duarte, C. E. Lovelock, W. H. Schlesinger y B. R. Silliman (2011), “A blueprint for blue carbon: Toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂”, *Frontiers in Ecology and the Environment*, núm. 9(10), pp. 552-560.

Mitsch, W. J., B. Bernal, A. M. Nahlik, Ü. Mander, L. Zhang, C. J. Anderson, S. E. Jørgensen y H. Brix (2012), “Wetlands, carbon, and climate change”, *Landscape Ecology*, núm. 28(4), pp. 583-597, en: <<http://doi.org/10.1007/s10980-012-9758-8>>.

NOAA (2013), “Mean Sea Level Trends 822-116, Tofino, Canada”, National Oceanic and Atmospheric Administration: Center for Operational Oceanographic Products and Services [Centro para Productos y Servicios Oceanográficos de Operaciones, Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos], en: <http://tidesandcurrents.noaa.gov/sltrends/sltrends_global_station.htm?stnid=822-116> (consulta realizada el 1 de noviembre de 2016).

Ouyang, X. y S. Y. Lee (2014), “Updated estimates of carbon accumulation rates in coastal marsh sediments”, *Biogeosciences*, núm. 11(18), pp. 5057-5071, en: <<http://doi.org/10.5194/bg-11-5057-2014>>.

Pendleton, L., D. C. Donato, B. C. Murray, S. Crooks, W. A. Jenkins, S. Sifleet, C. Craft, J. W. Fourqurean, J. B. Kauffman, N. Marba, P. Megonigal, E. Pidgeon, D. Herr, D. Gordon y A. Baldera (2012), “Estimating global ‘blue carbon’ emissions from conversion and degradation of vegetated coastal ecosystems”, *PLOS ONE*, núm. 7(9), pp. 1-7, en: <<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0043542>>.

RAE (2016), “Tampa Bay Blue Carbon Assessment- Summary of Findings”, informe preparado por Restore America’s Estuaries, Environmental Science Associates, Tampa Bay Estuary Program [Programa de Estuarios de la Bahía de Tampa] y Tampa Bay Watch [Vigilancia de la Bahía de Tampa], Tampa, Florida, Estados Unidos, pp. 18-31.