



Manglares de Celestún, Yuc. Autor: S. Morales 2010

DOCTORADO EN CIENCIAS DEL MAR

HUMEDALES: Son ecosistemas de transición entre los ambientes acuáticos y terrestres, con fuertes interacciones entre los componentes hidrológico, suelos y organismos. Se caracterizan por tener de forma permanente o estacional, suelos cubiertos por agua (<6m), en los cuales los procesos anaeróbicos son dominantes (Ramsar, 1977). Estas particularidades fuerzan a la biota, especialmente a las plantas con raíces, a exhibir adaptaciones para tolerar la inundación (Keddy, 2000). Son ecosistemas dependientes de la precipitación, vulnerables a la desecación y cambios en la calidad del agua, pero tienen valor potencial para programas de mitigación de reducción de emisiones por deforestación y degradación (REDD⁺) (Lawler et al., 2008).



Manglares de Chelem, Yuc. Autor: S. Morales 2010

Fig. 1. Neumatóforos, adaptaciones en las raíces del mangle negro *Avicennia germinans* (L.)L.

HUMEDALES COSTEROS DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN ALMACENES DE CARBONO, CONECTIVIDAD Y RESPUESTA ANTE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

M.C. Sara Ma. Morales Ojeda

La evaluación cuantitativa de carbono entre ecosistemas y la atmósfera es uno de los temas críticos en política ambiental (IPCC, 2003; Ramankutty, 2007). Los ambientes naturales contienen grandes depósitos de carbono fijados por la vegetación y sedimentos a través de procesos naturales como la descomposición y fotosíntesis (Herr et al., 2011). La degradación de estos ecosistemas por las actividades humanas ocasionaría la liberación de carbono en sus formas de CO₂ y otros gases de efecto invernadero como metano (resultado de la respiración durante la descomposición de materia orgánica en suelos anóxicos) y óxido nitroso (subproducto del proceso de desnitrificación), que contribuyen al cambio climático.

En este trabajo se plantea como objetivo general determinar la variación en el almacenamiento de C en los humedales costeros de la región cárstica de Yucatán específicamente en las localidades de Progreso y Celestún, tomando en cuenta la conectividad, los cambios ocasionados por el uso del suelo y proyecciones ante posibles escenarios del cambio climático.

En la Península de Yucatán los humedales están fuertemente conectados con las lagunas costeras, pastos marinos y corales a través de las aguas subterráneas. Esto hace de la costa yucateca un laboratorio natural que permite estudiar la capacidad de almacenaje de carbono que tiene los diferentes tipos de humedales costeros bajo condiciones contrastantes (e.g. Conservados vs degradados), el papel que tiene la conectividad tierra-mar, así como la sensibilidad de cada tipo ante los posibles efectos del cambio climático en lo relativo a cambios en la temperatura, variación en el patrón de lluvias y cambio de uso de suelo.

CARBONO: Elemento básico en la formación de moléculas orgánicas (carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos, entre otros). Su ciclo biogeoquímico, abarca procesos que se realizan entre la biosfera de la tierra (componente biótico), la atmósfera, la hidrosfera y geósfera (componentes abióticos). El C puede estar en diferentes especies químicas, siendo las más importantes para la regulación del clima en la tierra el CO₂ (dióxido de carbono) y el CH₄ (metano). Ambos gases se relacionan con procesos importantes para sustentar la vida.

En el ciclo del carbono los principales procesos de transformación bajo condiciones aeróbicas son la fotosíntesis (en el agua y parte del suelo aeróbico), y la respiración (suelo anaeróbico) (Fig.2). En estos procesos el H₂O es el mejor de los donadores de electrones para la fotosíntesis y el oxígeno el aceptor terminal en la respiración

Los humedales remueven CO₂ de la atmósfera vía fotosíntesis, regresan una parte a través de la respiración y oxidación, acumulando el resto en biomasa viva (aérea y subterránea) y en la fracción orgánica del suelo.

Debido a la naturaleza anóxica de los humedales, los procesos anaeróbicos son menos eficientes en términos de transferencia de energía, debido a la proximidad con los procesos aeróbicos. Dos de los principales procesos anaeróbicos son la fermentación y la metanogénesis (producción de metano, gas de efecto invernadero).

HUMEDALES Y ALMACENES DE CARBONO

En México, la extensión de humedales se estima entre 2 y 4.5 millones de ha. que representan el 0.6% de los humedales del mundo (Olmsted, 1993; Dugan, 1993; SNF, 2002). Aproximadamente 1,250,000 ha. corresponden a humedales costeros con vegetación hidrófila, dentro de la que se agrupa a manglares, popales, tulares, petenes y vegetación de galería, entre otras (Berlanga-Robles et al.,2009).

Los humedales actúan como fuente, sumidero y transformadores de materiales químicos y biológicos, se destaca su función como sumideros de carbono y estabilizadores climáticos en una escala global (Mitsch y Gosselink, 2000). Otras funciones son estabilizar los suministros de agua, contribución en la depuración de aguas contaminadas, protección de litorales y recarga de los mantos freáticos.

Los tipos de humedales varían ampliamente debido a las diferencias regionales y locales de suelo, topografía, clima, hidrología, química del agua, vegetación y otros factores incluyendo la perturbación humana (Tiner, 1999).

De acuerdo a la clasificación de humedales de Cowardin (1979), en Yucatán se presentan al menos 5 tipos de humedales: Lacustre (aguadas, cenotes abiertos), subterráneos (cuevas, cavernas), palustre (asociado a pantanos

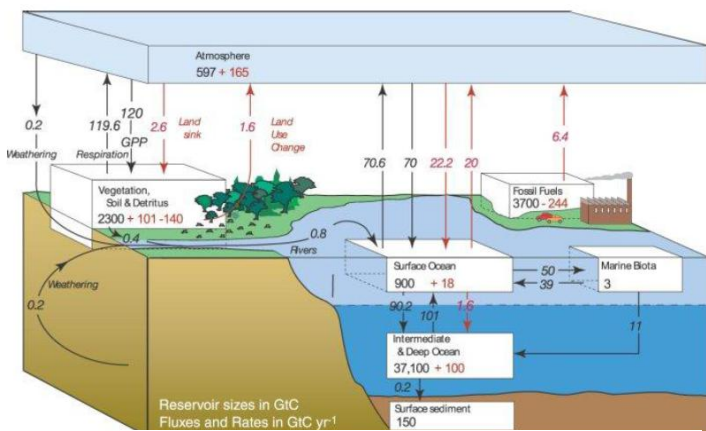


Fig. 2. Ciclo o del carbono (Tomado de IPCC, 2007)

marismas y ciénegas), estuarino (marismas de marea y manglares) y marino (lagunas costeras, costa, pastos marinos y algas, arrecifes de coral). Los subtipos se presentan en la tabla 1.

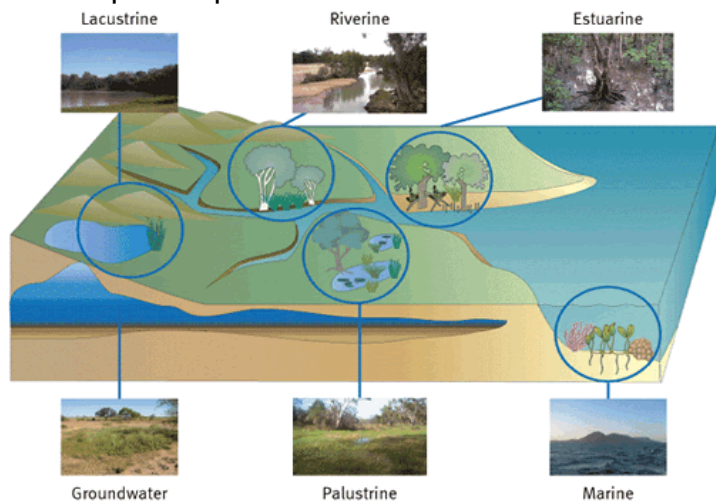


Fig. 3. Clasificación general de los tipos de humedales

Tabla 1. Humedales del estado de Yucatán Fuente: Mapa de Humedales de la costa de Yucatán de acuerdo a Cowardin, 1979 (POETCY, 2007).

TIPO	Ha
Estuarino Intermareal Asociación Mixta	13,474.76
Estuarino Intermareal Llanura Costera Inundable	18,824.30
Estuarino Intermareal Llanura Costera Modificada	6,568.08
Estuarino Intermareal Manglar	35,511.50
Estuarino Intermareal Manglar Muerto/Sucesión	822.19
Estuarino Intermareal Peten	5,595.95
Estuarino Intermareal Selva Inundable	3,949.54
Estuarino Intermareal Vegetación Acuática	7,764.24
Estuarino Intermareal Vegetación Emergente Alto L	1,036.31
Estuarino Intermareal Vegetación Emergente Bajo L	16,135.44
Estuarino Submareal Agua Abierta	7,117.98
Estuarino Submareal Vegetación Acuática	3,786.76
Marino Intermareal Manglar	34,553.96
Marino Intermareal Playa	523.38
Marino Intermareal Vegetación Acuática	151.23
Marino Submareal Agua Abierta	237,210.89
Marino Submareal Vegetación Acuática	105,116.20
Palustre Agua Abierta (Cenote)	4.15
Palustre Peten	17.08
Palustre Selva Inundable	36,800.75
Palustre Vegetación Emergente	7,792.85

Palustre Vegetación Emergente (Aguada)	14.63
Palustre Selva Inundable/Vegetación Emergente	24.58
Puerto de Abrigo	221.76
Sin clasificación	9,533.46
Suelo sin Vegetación	715.80
Tierra Alta Desarrollo Granja Camaronera	78.07
COBERTURA TOTAL DE HUMEDALES	563,345.84

ALMACEN DE CARBON ORGÁNICO:

Toda aquella materia orgánica que se encuentra en los componentes bióticos de los ecosistemas, expresado en términos de peso por unidad de área. En las plantas los almacenes de carbono resultan de la producción primaria, es decir es la biomasa o materia orgánica producida vía fotosíntesis. La biomasa esta almacenada en forma aérea (troncos, ramas, hojas), subterránea (raíces). Otra forma de almacén es la necromasa (hojas y troncos muertos), el detrito y materia orgánica contenida en suelos y sedimentos (Honorio y Becker, 2010). La capacidad de almacenaje es variable y depende principalmente de las características fisiológicas de las especies vegetales y configuración del paisaje (Roulet, 2000, Crooks et al., 2011).

Se estima que los humedales costeros almacenan entre 12% y 50% del carbón global, (Mitsch y Gosselink, 2007; Ferrati et al., 2005; Houghton et al., 2001; Shangain y Melack 1998; IPCC, 1996). Paradójicamente, las marismas, manglares y pastos marinos, son los ecosistemas más amenazados por actividades humanas y el cambio de uso de suelo.

La mayor parte del carbono en forma de biomasa subterránea es acumulada dentro del suelo pero parte se recicla en las lagunas costeras. Algunos factores que determinan la cantidad de C almacenado es la fertilidad de los suelos, zonas geológicas, inclusive la densidad de la madera de las especies vegetales.

Hasta ahora se considera que los humedales mas eficientes en la captura de carbono por m² son las turberas de los trópicos. No obstante, los marismas salobres y los pantanos con manglares ocupan superficies mayores, y aunque su tasa de acumulación es menor, poseen en total mas carbono que las turberas por lo que pueden ser mas importantes y determinantes en lo que respecta al ciclo global del carbón y cambio climático (Chmura et al., 2003; Duarte et al., 2005).

De acuerdo a Murray et al., (2011), los pastos marinos acumulan entre 0.4-18 tCO₂e/ha (unidades en toneladas equivalentes de CO₂ por hectárea) y las marismas saladas en promedio 12-60 tCO₂e/ha. Los manglares pueden acumular 237-563 tCO₂e/ha (Spalding, 2010).

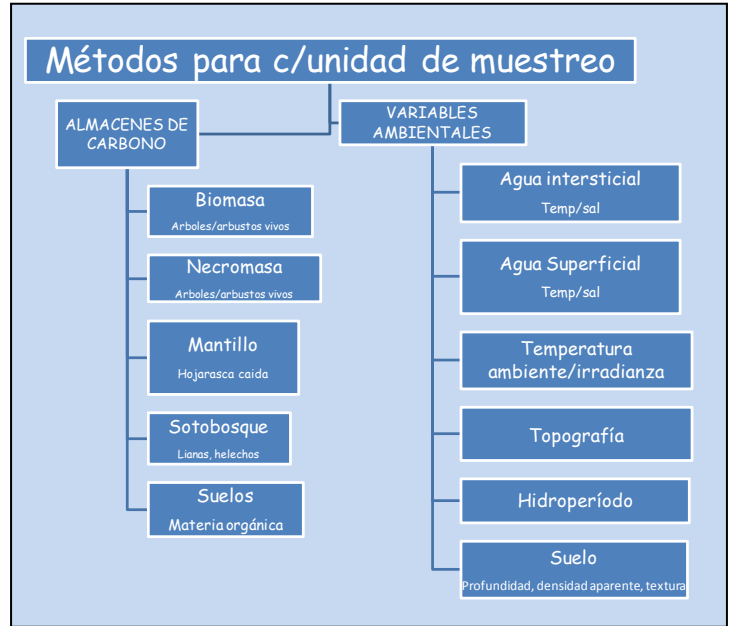
El carbón orgánico de los suelos es el mayor almacén de carbono de los hábitats costeros. Las bajas tasas de descomposición, el gradiente de salinidad y el hidroperiodo afectan el flujo superficial del CO₂ y del C orgánico disuelto durante la descomposición de los residuos de plantas (Olsen et al., 1996 en Moreno et al., 2002). En los sistemas de manglar entre el 50 y 90% del almacén total de carbón está en el suelo, mientras que en los pastos marinos y marismas suele ser mayor al 90%.

En función de la información obtenida se postula que en los humedales costeros cársticos de Yucatán las concentraciones de carbono orgánico almacenadas en cada compartimento (suelo, vegetación) responden a características particulares de estructura de vegetación, temperatura, ambiente, precipitación, pendiente, tipo y profundidad de suelo, nivel de inundación, salinidad del agua, pero en todos la capacidad para almacenar carbono es disminuida por uso de suelo.

El objetivo de esta fase de investigación es cuantificar el carbono almacenado en los componentes de los diferentes tipos de humedales costeros y su asociación con las variables que definen los escenarios ambientales.

Para llevarlo a cabo será necesario realizar mediciones en parcelas circulares concéntricas, siguiendo los métodos propuestos por Donato et al (2011) y Kaufman y Donato (2012). En la fig 4. se indican algunas de las variables a medir.

Fig.4.a) Componentes de la vegetación en los que se medirá el carbono b) Variables ambientales asociadas que serán medidas.



CONECTIVIDAD: es el grado en que el paisaje facilita los flujos ecológicos (intercambio de materia y energía entre elementos bióticos y abióticos) a través de las zonas de hábitat distribuidas a lo largo de un territorio. (Bracken y Croke).



Un enfoque poco abordado pero trascendental en el estudio del carbono es la conectividad, ya que los humedales pueden ser sumideros de carbono recibir suministros de materia orgánica y nutrientes generados tierra adentro, o exportarlos hacia el mar.

Como respuesta a los fenómenos de fragmentación de los ecosistemas surge la preocupación de mantener la conectividad ecológica entre los sistemas naturales con el fin de conservar los procesos ecológicos en el paisaje (Regier, 1993; Montes, 1995) y afrontar los posibles efectos de la variación climática (Holdgate, 1996; Knuffer, 1995). Por esta razón, numerosas estrategias y directivas nacionales e internacionales consideran los aspectos funcionales de los ecosistemas, especialmente la conectividad ecológica (Estrategia Global de Biodiversidad de 1992, Estrategia Paneuropea de diversidad biológica y paisajística de 1995, Estrategia de biodiversidad de la Comunidad Europea de 1998).

Los ecólogos han utilizado el concepto de conectividad como una propiedad crítica en la persistencia de las poblaciones espacialmente estructuradas (Metzger y Decamps, 1997). La conectividad estructural del paisaje es determinada por la distribución espacial de los tipos de hábitats, depende de la continuidad, de la distancia entre los elementos del paisaje y del tamaño de las brechas entre fragmentos (Theobald, 2006).

Se postula la hipótesis que la conectividad biogeoquímica estimada por las fracciones de isótopos de C se asocia a la conectividad del paisaje en los diferentes tipos de humedales costeros en Yucatán.

El objetivo es determinar la conectividad entre humedales costeros cársticos de Celestún y Progreso, en relación al gradiente tierra-mar identificando las fuentes principales de materia orgánica en los diferentes tipos de humedales utilizando isótopos estables de C como marcadores.

Para determinar la conectividad del paisaje se calculará el Índice de Conectividad Integral (IIC) que representa el grado de vinculación en el paisaje utilizando el programa Conefor Sensinode 2.2 (Saura y Pascua-Hortal, 2007).

Para determinar la conectividad biogeoquímica se medirán isótopos estables del carbono, esta técnica se utilizará para trazar transferencias de materia orgánica y entre en los ambientes acuáticos. Se espera determinar diferencias entre las relaciones isotópicas que indiquen el origen terrestre, oceánico o costero del carbono contenido en los compartimentos estudiados (Koppelman et al., 2008). A través de los estudios isotópicos también se podrán identificar cambios ambientales entre un sitio impactado como Progreso y uno conservado como Celestún.

CAMBIO CLIMATICO Y ALMCENES DE CARBONO

Los humedales desempeñan un papel muy importante en el ciclo global del C, ya que tiene una gran capacidad para remover CO₂ de la atmosfera vía fotosíntesis y acumularla en forma de biomasa viva (aérea y subterránea) y también en la fracción orgánica del suelo.

Sin embargo, las mediciones del almacenamiento de C en un ecosistema por si solas revelan poco acerca de cómo el Carbono ha cambiado en el pasado o como cambiará en el futuro. El efecto del clima y/o el uso de la tierra pueden predecirse solamente a través del uso de modelos dinámicos precisos, siendo la modelación meteorológica efectiva para analizar y predecir el efecto de las prácticas de manejo de la tierra sobre los niveles de C del suelo (McMullen, C. y Hayden, T. 2009).

Los modelos climáticos regionales proveen escenarios de cambio climático de alta resolución. Estos dan mayor detalle de la posible distribución del clima en comparación con los modelos globales y pueden ayudar a identificar cambios en los eventos climáticos extremos del futuro; además de ser de gran ayuda para estudios de impacto y vulnerabilidad.

LOS HUMEDALES FAVORECEN LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO.

Debido a su función en el ciclo de nutrientes y capacidad para acumular agua, son capaces de estabilizar el microclima y funcionar como un almacén global de carbono (Barbier et al., 2011).



Autor: Pattie Rodeli Dia Mundial de los humedales, 2010

De acuerdo la evaluación de desempeño de los modelos para reproducir el clima observado a través de correlaciones, los modelos que mejor se ajustan al país y a la península de Yucatán son el HADLEY (Instituto Hadley, Reino Unido) y el MIROC-HIRES (Modelo para investigaciones interdisciplinaria en clima, Japón) (Conde et al., 2011).

ESCENARIOS CLIMÁTICOS

De acuerdo con el IPCC, son una representación posible y simplificada del clima futuro basada en un conjunto de relaciones climatológicas que ha sido construida expresamente para investigar las posibles consecuencias del cambio climático antropogénico, y que en muchas ocasiones sirve como materia prima para modelos de impacto. Parten de un conjunto de suposiciones sobre la evolución de los forzantes tales como población tecnología, economía, uso de suelo, agricultura y energía a nivel global y regional. Existen dos grandes familias los **A** que describen un alto crecimiento económico y los **B** un crecimiento moderado. Las letras van seguidas por el número **1** que denota globalización con economías convergentes en su desarrollo o **2** desarrollo regional (IPCC-WGI, 2007).

Se espera que el cambio climático se traduzca en cambios de la temperatura en aire y agua, circulación oceánica y atmosférica, incremento del nivel del mar, e intensificación de huracanes (Trenberth y Shea, 2006). La cantidad de materia orgánica transportada de tierra hacia el mar también será afectada, ya que la escorrentía es sensitiva a la interacción entre precipitación, temperatura, evaporación (Poff et al., 2002), periodo, frecuencia y magnitud de la precipitación (IPCC, 2007). Los efectos de los impactos mencionados pueden ser magnificados por la interferencia del hombre en los procesos costeros.

Existen factores naturales y antropogénicos que afectan a los elementos climáticos que actúan a escala regional y global. Dentro de los regionales destaca el cambio en el uso del suelo (por ejemplo, la deforestación), que conlleva a la modificación del albedo, la rugosidad de la superficie y la humedad que retiene el suelo (Magaña, et al., 2007).

En el caso específico de los humedales, algunas investigaciones indican que existen paradojas, mientras se estima que las marismas serán afectadas en mayor medida por el cambio climático (Mckee et al., 2004), los manglares serán favorecidos (Erwin, 2009).

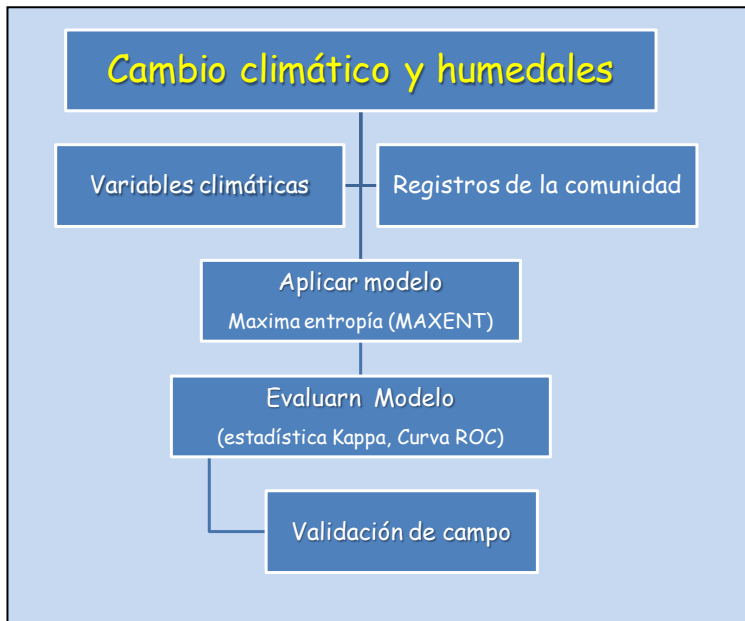
En Florida se han hecho predicciones que pronostican que el 5% de la ciudad estará sumergida ante un incremento de 0.6m siendo el primer contacto los humedales de franja, para el 2040 se habrán perdido áreas significativas de humedales. Sin embargo, estos modelos no toman en cuenta la respuesta biológica que puede resultar en una mayor acreción

Basado en lo anterior, en esta fase de la investigación se postula como hipótesis que las modificaciones en el régimen de temperatura y precipitación estimada en los escenarios de cambio climático ocasionarán cambios en la vegetación y en las concentraciones de carbono almacenadas en los diferentes tipos de humedales costeros de zonas cársticas.

El objetivo consiste en evaluar los almacenes de carbono a partir de la distribución potencial de los humedales ante las características de temperatura y precipitación de los escenarios probables de cambio climático y de uso de suelo en la costa norte de Yucatán.

Los métodos para lograr los objetivos se indican en la fig. 5. Posteriormente se correrán modelos autómatas celulares y cadenas de Markov para proyectar los escenarios de uso de suelo basados en factores identificados como causas, tendencias de habitantes a conservar las actividades económicas actuales y nuevas; políticas de manejo así como patrones de uso de suelo en los últimos 10 o más años.

Fig.5. Esquema de los métodos a realizar la fase 3 de la investigación



Se espera que a través de los enfoques abordados en este trabajo sea posible evidenciar el papel de cada tipo de humedal como elemento clave en la estabilidad climática, a través de su papel como almacenador de carbono.

La presente investigación se realiza bajo la dirección de Dr. Jorge Herrera Silveira (Departamento de recursos del mar, Cinvestav-IPN) y Dr. Roger Orellana Lanza (Departamento

de recursos naturales, CICY). Con el apoyo técnico de la Dra. Celene Espadas Manrique.

REFERENCIAS

- ✚ Bracken, L.J., y Croke, J. 2007. The concept of hydrological connectivity and its contribution to understanding runoff-dominated geomorphic systems. *Hydrological processes* 21: 1749-1763
- ✚ Berlanga-Robles, C. A., Ruiz-Luna, A., De la Lanza-Espino, G. 2008. Esquema de clasificación de los humedales de México. *Investigaciones geográficas, boletín del instituto de geografía*. 66:25-46.
- ✚ Chmura, G.L, Anisfeld, S.C, Cahoon, D.R., y Lynch, J.C. .2003. Global carbon sequestration in tidal, saline wetland soils. *Glob Biogeochem Cycles* 17:1111. doi:10.1029/2002GB001917
- ✚ Conde, C., Estrada, F., Martínez, B., Sánchez, O. y Gay, C. 2011. Regional climate change scenarios for Mexico. *Atmósfera* 24, 125-140.
- ✚ Cowardin, I. M.; Carter V.; Golet, F. C., y Laroe, E. T. 1979. Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States. Crooks, S., D. Herr, J. Tamelander, D. Laffoley, y J. Vandever. 2011. "Mitigating Climate Change through Restoration and Management of Coastal Wetlands and Near-shore Marine Ecosystems: Challenges and Opportunities." *Environment Department Paper 121, World Bank, Washington, DC*
- ✚ Crooks, Stephen, Dorothee Herr, Jerker Tamelander, Dan Laffoley, and Juston Vandever. *Mitigating Climate Change through Restoration and Management of Coastal Wetlands and Near-shore Marine Ecosystems*. Environmental Department Paper 121, Washington, DC: World Bank, 2011, 59
- ✚ Donato, D. C., Kauffman, J. B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M. y Kanninen, M. 2011. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*, advance online publication.
- ✚ Duarte C.M, Middelburg J.J., y Caraco, N. 2005. Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle. *Biogeosciences* 2:1-8
- ✚ Dugan, P. 1993. *Wetlands in danger. A World Conservation Atlas*, Oxford University Press, New York.
- ✚ Erwin K.L. 2009. Wetlands and global climate change: the role of wetland restoration in a changing world. *Wetlands ecological management* 17:71-84
- ✚ Ferrati, R. y Canziani, G. A. 2005 An analysis of water level dynamics in Esteros del Ibera wetland. *Ecological modeling* 186: 17-27

- ✚ Herr, D. Pidgeon, E. and Laffoley, D. (eds.). 2011. Blue Carbon Policy Framework: Based on the first workshop of the International Blue Carbon Policy Working Group. Gland, Switzerland: IUCN and Arlington, USA: CI. vi+39pp
- ✚ Holdgate, M., 1996. The ecological Significance of Biological Diversity. *Ambio*, 25(6) 409 – 416.
- ✚ Honorio, E.N., y Baker, T. R. Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana/ Universidad de Leeds. Lima, 54 p.
- ✚ Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguer, M. P., van der Linden J., y Xiaosu, D. Eds., 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis: Contributions of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 881 pp
- ✚ IPCC. Intergovernmental panes of climate change. National greenhouse Gas Inventories Programme 2003 Good practice guidance for land use land use change and forestry institute for Global environmental strategies, Hayama 1-275
- ✚ IPCC Intergovernmental panes of climate change .2007: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.
- ✚ Kauffman, J.B. y Donato, D.C. 2012 Protocols for the measurement, monitoring and reporting of structure, biomass and carbon stocks in mangrove forests. Working Paper 86. CIFOR, Bogor, Indonesia.
- ✚ Knifer J.A., 1995. Landscape ecology and biogeography. *Progress in Physical Geography*, 19 (1): 18-34.
- Koppelman, R; Böttger-Schnack, R; Möbius, J y Horst, W. 2008. Trophic relationships of zooplankton in the eastern Mediterranean based on stable isotopes measurements. *Journal of Plankton Research* . Volumen0, número 0 . Págs 1-18
- ✚ Mitsch, W.J., y Gosselink, J.G. 2007. Wetlands. 4a Ed., Jhon Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.
- ✚ Magaña Rueda, V.O. 2007. Instrumentación de medidas de adaptación al cambio climático en humedales costeros del Golfo de México. Reporte técnico. 100pp.
- ✚ McKee, K.L, Mendelsohn, I.A, Materne, M.D .2004. Acute salt marsh dieback in the Mississippi River deltaic plain: a drought-induced phenomenon? *Global Ecology and Biogeography*, 13, 65–73.
- ✚ McMullen, C. y Hayden, T. 2009. The UNEP year book 2009. New science and developments in our changing environment. Division of Early Warning and Assessment (DEWA) United Nations Environment Programme. Disponible en línea <http://www.unep.org/yearbook>
- ✚ Metzger, J. P., y Decamps, H. 1997. The Structural Connectivity Threshold: an Hypothesis in Conservation Biology at the Landscape Scale. *Acta Oecologica-International Journal of Ecology* 18: 1-12.
- ✚ Montes, C., 1995. La gestión de los humedales españoles protegidos: conservación vs. confusión. *El Campo*, 132: 101-128.
- ✚ Murray, B. C., Pendleton, L., Jenkins, W. A. and Siflee, S. 2011 Green payments for blue carbon economic incentives for protecting threatened coastal habitats. Institute for Environment, Duke University, Durham, North Carolina, 42 pp
- ✚ Olmsted, I. 1993. Wetlands of Mexico, en Whigham, D. F., D. Dykyjová y S. Hejný (eds.), *Wetlands of The World I: Inventory, Ecology and Management, Handbook of Vegetation Science*, Kluwer, Dordrecht, pp. 637-678 Ruiz-Luna, A., J. Acosta
- ✚ Olsen, M.W., Frye, R.J., y Glenn, E.P. 1996. Effect of salinity and plant species on CO2 flux and leaching of dissolved organic carbon during decomposition of plant residue. *Plant and soil*. 179:183-188.
- ✚ Orellana-Lanza, R., Espadas, C., Conde, C. y Gay, C. 2009. Atlas. Escenarios de Cambio Climático en la Península de Yucatán. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Mérida, Yucatán, México
- ✚ Poff, N. L., Brinson, M. M. y Day, J. W. Jr. 2002. Aquatic ecosystems & global climate change: Potential impacts on inland freshwater and coastal wetland ecosystems in the United States. Pew Center on Global Climate Change
- ✚ Regier, H.A., 1993. The notion of natural and cultural integrity. En: S. Woodley; J. Kay y G. Francis (Eds.), *Ecological integrity and the management of ecosystems*. St. Lucie Press.
- ✚ Ramankutty N., Gibbs H.K. Achard, F., Defries, R., Foley J.A. y Houghton R.A. 2007 Challenges to estimating carbon emissions from tropical deforestation *global change biology* 13. 51-66
- ✚ Regier, H.A., 1993. The notion of natural and cultural integrity. En: S. Woodley; J. Kay y G. Francis (Eds.), *Ecological integrity and the management of ecosystems*. St. Lucie Press.

- ✚ Roulet, N.T. 2000. Peatlands, carbon storage, greenhouse gases, and the Kyoto protocol: prospects and significance for Canada. *Wetlands* 20: 605-615.
- ✚ Sahagian, D. y Melack, J. (eds) 1998. Global wetland distribution and functional characterisation: Trace gases and the hydrologic cycle. Report from the Joint IGBP/GAIM- DIS-BAHC-IGAC-LUCC wetlands workshop, Santa Barbara, USA, May 1996 IGBP/GAIM, University of New Hampshire, USA.
- ✚ Saura, S. y Pascual-Hortal, L. 2007. A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: comparison with existing indices and application to a case study. *Landscape and Urban Planning* 83 (2-3): 91-103
- ✚ Spalding M, Kainuma, M and Collins, L. (2010) World atlas of mangroves. UNEP-WCMC, Cambridge, 336 pp.
- ✚ Theobald, D.M. 2006. Exploring the functional connectivity of landscapes using landscape networks. In: Crooks, K.R. and M.A. Sanjayan (eds.). *Connectivity Conservation: Maintaining Connections for Nature*. Cambridge University Press.
- ✚ Tiner, R.W. 1999. *Wetland indicators, A guide to Identification, Delineation, Classification, and Mapping*, Lewis Publishers, Boca Raton
- ✚ Trenberth, K. E. y Shea, D. J. 2006. Atlantic hurricanes and natural variability in 2005, *Geophysical Research. Letters*, 33, L12704, doi:10.1029/2006GL026894
- ✚ WRI, UICN, PNUMA. 1992. *Estrategia global para la biodiversidad*. WRI, Washington, D.C. UICN, Gland y PNUMA, Nairobi.