

10 razones por las cuales la

# Geomorfología de los Humedales

es importante



**Wetlands** in **Drylands**  
RESEARCH NETWORK



Climate Change Consortium of Wales  
*Consortiwm Newid Hinsawdd Cymru*

10 razones por las cuales la

# Geomorfología de los Humedales

es importante

preparado por **Stephen Tooth, Fred Ellery, Michael Grenfell, Andrew Thomas, Donovan Kotze y Tim Ralph**

con aportes de **Wetlands in Drylands Research Network**

adaptado del folleto

**“10 razones por las cuales la Geomorfología es importante”,**

producido por **Stephen Tooth y Heather Viles**

para la **BSG, British Society for Geomorphology**

folleto producido luego de la reunión inaugural de la

**Wetlands in Drylands Research Network** (Parys, Sudáfrica, Noviembre de 2014)

reunión organizada a través de

**Royal Society's South Africa-UK Scientific Seminars Scheme,**

financiada en el Reino Unido por el **BIS, Department for Business Innovation and Skills**

y en Sudáfrica por la **NRF, National Research Foundation**

patrocinio para la producción del folleto provista por

**C3W, Climate Change Consortium of Wales**

reconocimientos a los fotógrafos provistos en las leyendas de las figuras

Figuras de **Fred Ellery** de Rhodes University y

**Antony Smith** de Aberystwyth University

Diseño por **Chris Simpson** de Fulcrum Graphics Agosto de 2015

traducido por **Alejandra Soledad Bueno** en Junio de 2019 Argentina

como parte de un taller financiado por el programa **British Council Higher Education Links Grants**

taller organizado por **Stephen Tooth, Hywel Griffiths y Gabriel Kaless**



Climate Change Consortium of Wales  
Consortiwm Newid Hinsawdd Cymru

## ¿Qué es la geomorfología?

El cambio ambiental es actualmente uno de los temas de interés global más importantes, habiendo movilizado rápidamente agendas científicas, sociales y políticas. En un contexto de clara evidencia de calentamiento global, un vigoroso debate rodea la naturaleza y los probables impactos de los futuros cambios climáticos a escalas locales y regionales, así como también cómo las sociedades manejarán dichos cambios. El cambio climático posa enormes amenazas al bienestar humano a través de impactos en muchos aspectos ambientales, incluyendo la pérdida de biodiversidad, la disminución de la calidad del agua y del suelo y la diseminación de enfermedades. Dado que los ecosistemas y sus procesos ambientales asociados dependen de la heterogeneidad en la estructura física de la superficie de la Tierra, también es importante entender cómo los accidentes geográficos y paisajes circundantes responderán al cambio climático.

La geomorfología es la ciencia que estudia el origen y desarrollo de las formas terrestres y paisajes tales como montañas, valles, cauces de ríos, humedales y estuarios. Los estudios geomorfológicos incluyen el análisis de las formas de los accidentes geográficos, la cuantificación de los procesos en la superficie y cerca de ella (p.ej. agua corriente, aguas subterráneas, viento) que los moldean, y la caracterización de los cambios en las formas del terreno y los paisajes que ocurren en respuesta a factores como la actividad tectónica, el cambio climático, fluctuaciones en el nivel del mar y las actividades humanas. Las investigaciones deben ser dirigidas hacia el entendimiento de los procesos y los cambios actuales en la forma de la superficie terrestre, o hacia la anticipación de procesos y cambios futuros.

Los humedales son componentes clave de muchos paisajes alrededor del mundo, y cada vez más, son considerados como proveedores de un amplio rango de beneficios directos e indirectos ("servicios ecosistémicos") que contribuyen al bienestar humano. Estos beneficios pueden incluir el fortalecimiento de la biodiversidad, el mejoramiento de la calidad del agua, la provisión de alimentos y oportunidades recreacionales y, por lo tanto, influyen las actividades humanas dentro y alrededor de los humedales. Entender cómo están estructurados los humedales del mundo, cómo funcionan y como pueden cambiar es entonces una parte clave para comprender completamente el sistema terrestre y facilitar una mejor gestión ambiental. No obstante, muchas preguntas acerca de los humedales y nuestras interacciones con ellos continúan sin respuestas:

- ¿Dónde se encuentran más comúnmente los humedales y cómo se forman?
- ¿Los humedales cambian a lo largo del tiempo?, si es así, ¿por qué y cómo?
- ¿Qué antigüedad tienen los humedales del mundo?
- ¿Qué tan sensibles son los humedales al cambio ambiental y a los impactos humanos?
- ¿Cómo podemos administrar mejor los humedales para asegurar un "buen uso" o manejo sustentable de sus servicios ecosistémicos?

Como este folleto demostrará, la geomorfología puede hacer una contribución crítica para responder estas y muchas otras preguntas acerca de los humedales.

Deriva del griego

### geomorfología

geo- "Tierra"

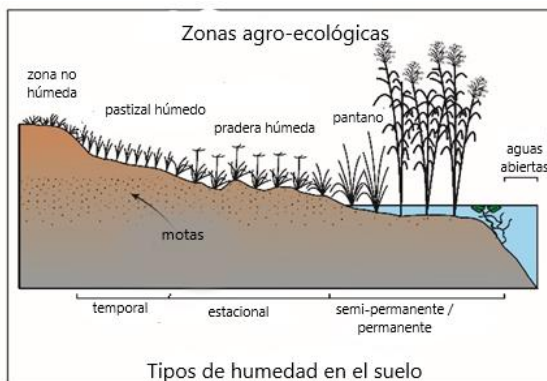
morphe – "forma"

logos – "estudio"

Un "humedal" puede definirse de varias maneras, pero el término es generalmente tomado para incorporar una variedad de accidentes costeros y terrestres (ver el recuadro en página 5). Excluyendo los lagos, ríos y accidentes costeros marinos, se considera que los humedales se forman típicamente en entornos que son transicionales entre completamente terrestres y completamente acuáticos (Figura 1). En estos entornos, el suelo está saturado o las inundaciones ocurren a poca profundidad (comúnmente menos de 1m) de manera tal que el suelo está estacional o permanentemente necesitado de oxígeno. Ya que todas las plantas necesitan oxígeno en la zona de las raíces, muchas plantas vasculares de humedales (pastos, juncias, arbustos, árboles) están adaptadas a bombear oxígeno desde las partes aéreas hacia la zona de las raíces. Con estas adaptaciones, y dado el abundante suministro de agua, los humedales están entre los ecosistemas más diversos y biológicamente productivos (epicentros ecológicos), hospedando una amplia variedad de especies de plantas y animales. Sin embargo, dado que las plantas de los humedales absorben grandes cantidades de carbono de la atmósfera y la incorporan en la biomasa, su tejido tiene típicamente un bajo contenido de nutrientes y comúnmente no son ni sabrosas ni nutritivas. Por lo tanto, a pesar de que los humedales pueden esconder biodiversidad, no necesariamente mantienen una biomasa animal alta.

Alrededor de las márgenes de los humedales, las variaciones en la humedad del suelo típicamente resultan en una distintiva zonificación de la vegetación (Figura 1), la cual refleja las tolerancias de las diferentes especies de plantas. La saturación permanente tiende a inhibir la completa descomposición de plantas muertas, por lo tanto, el suelo se puede volver rico en contenido de materia orgánica, posiblemente formando turba. La alternancia entre mucha o poca humedad estacional o temporal comúnmente incentiva la descomposición de plantas muertas, entonces el contenido orgánico tiende a ser menor y en su lugar se produce una textura moteada en el suelo (p.ej. motas de color amarillo, marrón y rojo) que resulta de las fluctuaciones en el contenido de oxígeno del suelo (Figura 1).

Mundialmente, muchos humedales se forman en amplios valles o en laderas bajas, y experimentan un flujo de agua lento y poco profundo. A pesar de que algunos de estos humedales pueden estar atravesados y drenados por cauces de ríos, la combinación de una alta biomasa de plantas, baja biomasa de animales y un lento flujo de agua significa que comúnmente actúan como almacenes a largo plazo de sedimento y suelos. Tales sedimentos y suelos pueden ser mayormente inorgánicos, consistiendo principalmente de arcilla, limo y partículas de arena, pero como se menciona más arriba, también pueden incluir un gran componente de materia orgánica que consiste en restos vegetales parcialmente descompuestos.



**Figura 1.** Alrededor de muchos humedales, las variaciones en la profundidad y duración de la humedad del suelo típicamente conducen a una zonificación de vegetación. La textura moteada del suelo refleja los procesos hidro químicos relacionados con las variaciones en humedad y contenido de oxígeno (Fuente: Kotze, D.C. et al. 1994. The Development of a Wetland Soils Classification System for KwaZulu/Natal. WRC Report N° 501/4/94.32pp.).

## Humedal

Área que es periódica o continuamente inundada por agua poco profunda o tiene suelos saturados, y donde crecen plantas y otras actividades biológicas están adaptadas a las condiciones húmedas.

La Convención Ramsar de Humedales es un tratado intergubernamental que provee el marco para la acción nacional y cooperación internacional para la conservación y el buen uso de los humedales y sus recursos. Dado el énfasis histórico en proteger los hábitats de los humedales para aves acuáticas, la Convención usa una muy amplia definición de humedales que incluye a todos los lagos y ríos, acuíferos subterráneos, pantanos y ciénagas, pastizales húmedos, turberas, oasis, estuarios, deltas y marismas, manglares y otras áreas costeras, arrecifes de coral, y todos los sitios hechos por el hombre como estanques piscícolas, arrozales, reservorios y salares. Otras definiciones de humedales son más estrictas y excluyen las características subterráneas, marinas y costeras, cuerpos de agua abiertos (ríos, lagos) y muchos sitios artificiales. Incluso entonces, una amplia variedad de otros términos locales y regionales pueden ser usados para describir humedales (p.ej. billabong, bog, muskeg, vlei, dambo), mientras que muchos términos más comunes (p.ej. ciénaga, pantanos) son raramente usados de forma estandarizada.

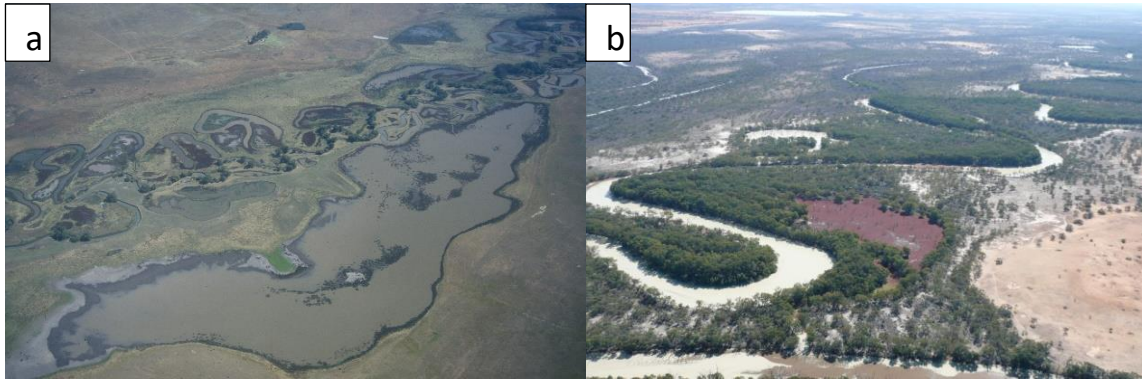
### ¿Por qué es importante la geomorfología de los humedales?

Para tener una comprensión integral del rol y la importancia de los humedales en el sistema de la Tierra y para apoyar su efectiva gestión, es vital entender los factores que controlan la formación de humedales y su desarrollo.

Mucha investigación previa acerca de los humedales ha asumido que la hidrología es el factor primordial que controla su formación, particularmente ya que el grado de humedad altera las características del suelo, lo cual a su vez influencia la distribución de la vegetación y una estructura del ecosistema más amplia. (Figura 1). Sin embargo, aún quedan preguntas claves acerca de las características físicas del paisaje que se combinan con la hidrología local o regional para promover la humedad característica. Por ejemplo, ¿cuáles son los procesos geomorfológicos que llevan a la creación de amplios valles con pendientes suaves en los cuales se encuentran muchos humedales?

Además, mucha investigación previa sobre los humedales ha tendido a enfocarse en gran medida

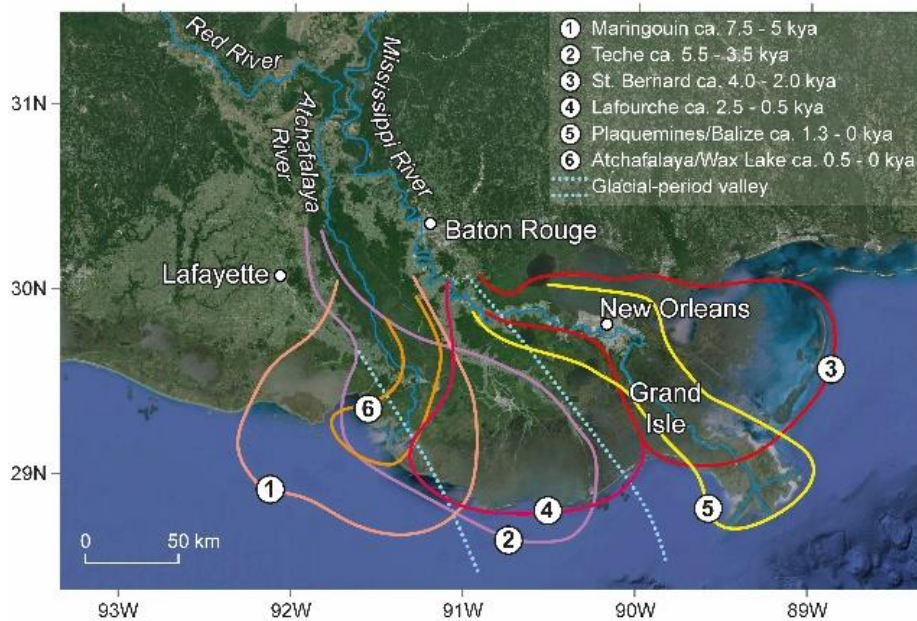
en escalas de tiempo relevantes a procesos ecológicos, como tasas de establecimiento de vegetación o el ciclo de vida de aves y peces. El énfasis es por lo tanto típicamente sobre los cambios en escalas temporales estacionales, anuales o multianuales, y los cambios de largo plazo en los humedales son comúnmente menos considerados. Los estudios de procesos a corto plazo forman una parte esencial de la investigación acerca de los humedales, pero para un entendimiento integral de los mismos, una perspectiva de largo plazo es también requerida. Durante muchas décadas, siglos, milenios o más, el paisaje físico que aloja y rodea a los humedales puede desarrollarse como resultado de cambios erosivos y deposicionales continuos, comúnmente llevando a cambios en la hidrología local y regional. Preguntas clave pueden ser formuladas. Por ejemplo, ¿qué tan dinámicos son los cauces, diques y otros accidentes geográficos dentro humedales en terrenos inundables (Figura 2)? ¿Cómo afecta este dinamismo al caudal de agua, distribución del sedimento y respuestas ecológicas durante estas escalas de tiempo más largas?



**Figura 2.** ¿Qué tan dinámicos son esos ríos meandriiformes en estos humedales de llanuras aluviales? a) el Río Klip al este de la Provincia del Estado Libre, Sudáfrica (Foto: Stephen Tooth); b) el Río Darling en el oeste de Nueva Gales del Sur, Australia (Foto: Tim Ralph).

El manejo efectivo de los humedales necesita considerar estas y otras preguntas geomorfológicas para entender cómo los accidentes geográficos y paisajes humedales se han desarrollado en el pasado, cómo funcionan en el presente, y cómo probablemente cambiarán en el futuro. Esto es particularmente importante cuando estructuras para controlar el caudal o la erosión son construidas en humedales, o donde otras actividades humanas como la agricultura o el asentamiento ocurren dentro

o alrededor de los humedales. A menos que la geomorfología sea considerada, la estructura y funcionamiento de los humedales, la estabilidad de la infraestructura y la sostenibilidad de las actividades humanas pueden verse amenazadas. En casos extremos, como cuando donde los ajustes del río y el terreno inundable llevan a cambios a escala regional en los patrones de inundación del humedal, (Figura 3), incluso vidas pueden estar en riesgo.

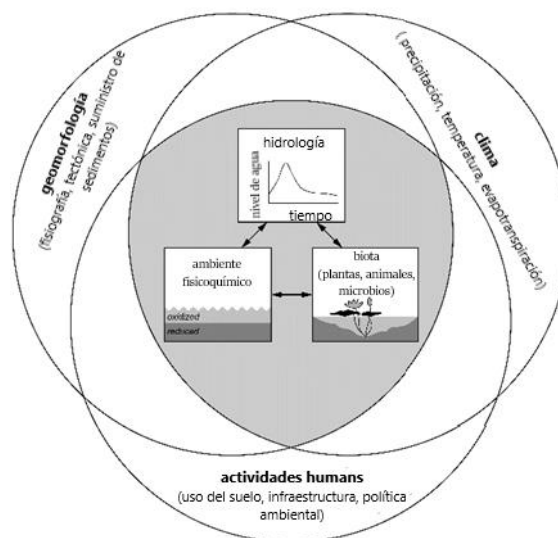


**Figura 3.** Los paisajes en humedales pueden sufrir grandes cambios a lo largo del tiempo, como se muestra en las posiciones cambiantes del delta del río Mississippi cuando éste entra en el Golfo de México. Grandes cambios en la posición del delta han ocurrido a lo largo de los últimos 7500 años (puntos 1-6), con la ciudad de Nueva Orleans ocupando un delta que estuvo activo hasta hace 1000 años (punto 3). Continuas inversiones son necesarias para asegurar que el actual curso del Río Mississippi no se desvíe dentro, o significativamente lejos de la ciudad. (Fuente: rediseñado a partir de Roberts, H.H. 1997. Dynamic changes of the Holocene Mississippi River delta plain: the delta cycle. *Journal of Coastal Research*, 13: 605-627; Blum, M.D. and Roberts, H.H. 20125, The Mississippi delta region: past, present, and future. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 40: 655-683).

## ¿Por qué es necesario este folleto?

A pesar de la demostrable importancia de la geomorfología para estudios de humedales, hasta ahora las contribuciones de la disciplina han tendido a ser limitadas. Hidrólogos y ecólogos han tendido a enfocarse en los procesos e interacciones locales y de corto plazo entre la hidrología, suelos y biota (Figura 4), esencialmente minimizando o ignorando el área más grande y los factores geomorfológicos y climáticos de largo plazo que moldean los humedales. Los geomorfólogos han tendido a ignorar los humedales, tal vez porque son difíciles de caracterizar y clasificar. Como consecuencia, los fundamentos geomorfológicos de la ciencia de humedales no son ampliamente apreciados o entendidos por los científicos, funcionarios públicos, administradores de tierras o el público en general. Esto es a pesar de crecientes presiones por información para informar decisiones acerca de la conservación de humedales, rehabilitación y construcción artificial, especialmente en una era caracterizada por un rápido cambio ambiental, una creciente población y actividades humanas en aumento dentro y alrededor de los humedales (Figura 4).

El objetivo de este folleto es ilustrar una selección de principios claves para sustentar una perspectiva geomorfológica de los humedales del mundo. Inspirándonos en la iniciativa de la BSG, British Society for Geomorphology, para promover el conocimiento de la geomorfología, resaltamos los diez puntos clave que todos deberían saber acerca de la geomorfología de los humedales. Anticipamos que el folleto será especialmente relevante para investigadores de humedales y administradores, pero también puede ser de interés para otros científicos y un público más amplio. El foco inicial de los diez puntos es acerca de los humedales que quedan en un estado predominantemente natural o casi natural, pero también se consideran aquellos humedales que han sido impactados por actividades humanas. Estos diez puntos no son exhaustivos, sino que simplemente proveen una ilustración de porque la geomorfología es una parte importante del desarrollo de un enfoque integral para la ciencia de los humedales y su manejo. El folleto concluye dando fuentes para información adicional.



**Figura 4.** Los procesos locales, de corto plazo (una década o menos) en humedales surgen de las interacciones entre la geomorfología, el clima y posiblemente las actividades humanas, todas ellas tienden a operar sobre áreas más grandes y escalas de tiempo más largas. Un ejemplo de tales procesos es cuando el crecimiento vigoroso de plantas en humedales ayuda a ralentizar los flujos superficiales, promoviendo por ende la deposición de sedimento y la captación de los nutrientes asociados y contaminantes. Con el tiempo, estos procesos pueden retroalimentar la influencia de la geomorfología y el clima en el paisaje más amplio, por ejemplo, al influenciar la transferencia de agua, sedimentos y nutrientes corriente abajo, o al promover el enfriamiento por evaporación. Algunas actividades pueden tener una influencia clave en los humedales, pero a través de la prestación de servicios ecosistémicos, los humedales también influyen las actividades humanas dentro y alrededor de los humedales, incluyendo la provisión de lugares favorables para la cultivación y otras formas de uso de recursos (Fuente: modificado de Mitsch, W.J. and Gosselink, J.G. 2007. Wetlands (4th ed.). John Wiley and Sons, New York).

## Los 10 puntos clave que todos deberían saber acerca de la geomorfología de los humedales

Los diez puntos que todos deberían conocer – las diez razones por las que la geomorfología de los humedales es importante- están sintetizados en la Tabla 1, tanto de manera resumida como extendida.

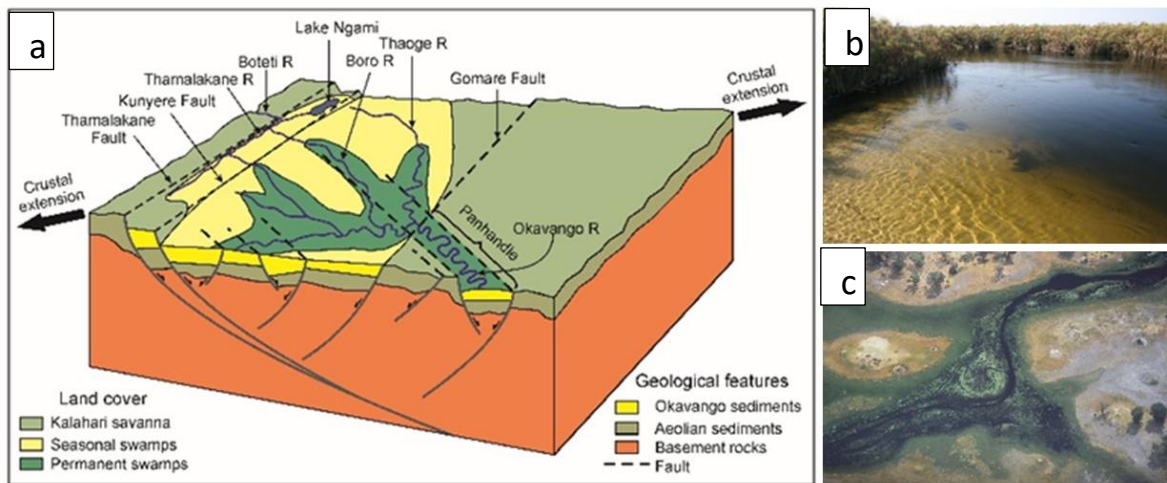
**Tabla 1.** Resumen de los diez puntos clave

<b>1 Los humedales son moldeados por movimientos de masa.</b>	Las estructuras físicas de los humedales están formadas por procesos geomorfológicos que involucran el movimiento de masa (roca, sedimento, agua, materia orgánica) a través de la superficie terrestre.
<b>2 Los humedales se pueden formar en una variedad de paisajes y condiciones climáticas, incluyendo ambientes áridos.</b>	Los humedales se pueden formar en un amplio rango de paisajes y entornos climáticos, incluyendo regiones húmedas donde el agua superficial es abundante (alta precipitación con baja evapotranspiración) y regiones áridas donde hay déficits netos de agua superficial (baja precipitación con alta evapotranspiración)
<b>3 Los procesos en los humedales resultan de las interacciones en el sistema de la Tierra.</b>	Los procesos de los humedales resultan de interacciones a escalas locales, regionales y globales entre la atmósfera, hidrósfera, geosfera y biosfera.
<b>4 Los humedales de la Tierra son naturalmente dinámicos.</b>	Los humedales no son estáticos y constantes, sino que son dinámicos y se desarrollan a través del tiempo en respuesta a condiciones externas cambiantes (tectónicas, geológicas, climáticas, nivel del mar)
<b>5 Las dinámicas de los humedales puede ser compleja.</b>	Además de las condiciones externas cambiantes, el desarrollo de los humedales puede también ser impulsado por condiciones ecológicas cambiantes (p.ej. sucesión de la vegetación, actividades animales) o ajustes geomorfológicos internos (p.ej. abandono del cauce, desarrollo de cárcavas)
<b>6 Los humedales son archivos del cambio climático pasado.</b>	Los humedales contienen historias de su desarrollo que podrían ser potencialmente descifradas y reconstruidas a partir del estudio de sus accidentes geográficos asociados, sedimentos y restos biológicos.
<b>7 El cambio ambiental global está influenciando a los humedales.</b>	El continuo cambio ambiental global, el cual incluye el calentamiento atmosférico y el aumento en el nivel del mar, está actualmente impulsando cambios en la estructura y funcionamiento de los humedales, incluyendo una creciente erosión costera, desecación, y desarrollo de cárcavas.
<b>8 Las actividades humanas están influenciando a los humedales.</b>	Cada vez más, los efectos directos e indirectos de actividades humanas (p.ej. uso del suelo, infraestructura, gestión ambiental) están también impulsando cambios en la estructura y funcionamiento de los humedales.
<b>9 Los humedales pueden ser vulnerables a los geoamenazas, pero también pueden amortiguar al paisaje en general de sus impactos.</b>	Tanto el cambio ambiental global como las actividades humanas están incrementando la magnitud y frecuencia de geoamenazas en los humedales (p.ej. crecidas torrenciales, marejadas), los cuales ocurren donde y cuando la estabilidad de la superficie es afectada y se experimentan impactos socioeconómicos adversos.
<b>10 El uso sustentable de los humedales necesita conocimiento geomorfológico.</b>	La geomorfología puede desempeñar un rol clave en el manejo de los humedales, incluyendo su conservación, restauración, y construcción artificial, por ende, ayudando a proteger y mejorar la prestación de servicios ecosistémicos por parte del humedal.

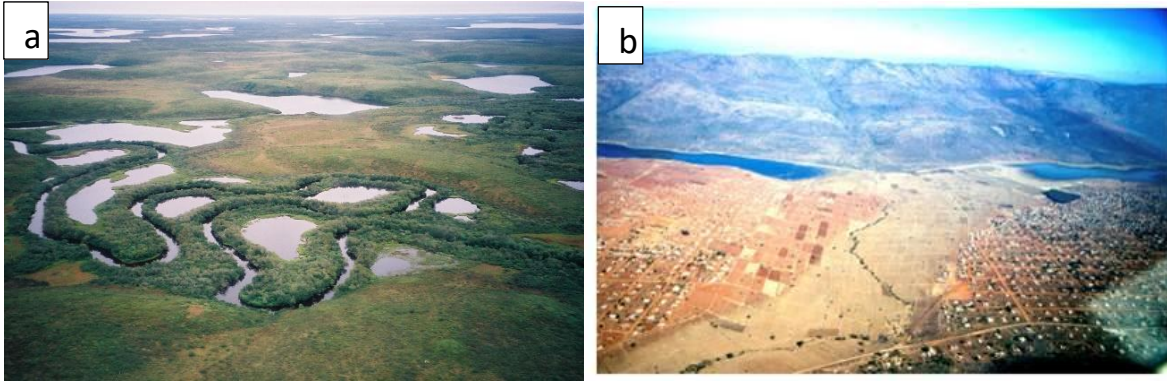


**Las estructuras físicas de los humedales están formadas por procesos geomorfológicos que involucran el movimiento de masa (roca, sedimento, agua, materia orgánica) a través de la superficie terrestre.** El movimiento de masa asociado con la configuración de los humedales puede involucrar actividad tectónica (elevación, hundimiento), y la meteorización, erosión, transporte y deposición de materiales superficiales por agua superficial, aguas subterráneas, gravedad, hielo y viento. El movimiento de masa es predominantemente hacia abajo (de elevaciones más altas hacia las más bajas), como por ejemplo a través del movimiento ladera abajo de sedimentos, a pesar de que este también puede ser hacia arriba (desde elevaciones más bajas a las más altas), como por ejemplo debido a la elevación tectónica. La mayoría de los humedales se forman en aquellas partes de la superficie terrestre donde el flujo de aguas superficiales y subterráneas es concentrado y/o el drenaje es impedido como resultado de movimientos de masa. Por ejemplo, algunos de los humedales más grandes del mundo se han formado donde la subsidencia tectónica ha creado depresiones en la superficie terrestre, proporcionando focos para agua y suministro de sedimentos por grandes ríos (Figura 5). Muchos otros humedales se

han formado dentro de depresiones más pequeñas resultantes de la abrasión desigual del lecho rocoso por antiguas capas de hielo y glaciares, o que están relacionadas a derrumbamientos, abanicos de tributarios, actividad de aguas subterráneas, y erosión eólica y deposición (Figura 6). Consecuentemente, es vital considerar a los humedales en el contexto del paisaje más amplio dentro del cual ocurren, particularmente la cuenca local. Dentro de los paisajes humedales, los accidentes geográficos individuales pueden ser clasificadas como primordialmente deposicionales ("construccional"), con acumulaciones de masa que crean características como cauces de ríos, diques o barras, o como erosivos ("degradación"), con masa siendo removida para crear características tales como cárcavas. Excepto donde una degradación severa ocurre, la mayoría de los humedales tienden a acumular masa a lo largo del tiempo, llevando a la formación de gruesas pilas de sedimento (Figura 5a). En muchos casos, estos sedimentos acumulados pueden almacenar grandes cantidades de carbono (punto clave 3) y también representan importantes archivos del cambio ambiental pasado (punto clave 6).



**Figura 5.** El Delta del Okavango, ubicado en el Desierto del Kalahari en Botswana, es un complejo de humedales globalmente importante que consiste en pantanos estacionales y permanentes: a) la estructura física general del complejo es principalmente controlada por subsidencia tectónica que ocurre como resultado de la fractura de esta parte de la corteza terrestre. El río Okavango y sus afluentes proveen a esta grieta con agua y sedimentos, llevando a la acumulación de sedimentos (Sedimentos del Okavango) que tienen cientos de metros de espesor (Fuente: rediseñado y adaptado de McCarthy, T.S. and Ellery, W.N. 1998. The Okavango Delta. Transactions of the Royal Society of South Africa, 53: 157-182); dentro de los pantanos b) permanentes y c) estacionales, el flujo de agua, movimiento de sedimentos, crecimiento de vegetación y actividad animal crean un rango de relieves deposicionales y erosivos que incluyen cauces de ríos, depresiones laterales, lagos poco profundos e islas (Fotos: Stephen Tooth).



**Figura 6.** Vistas aéreas oblicuas de humedales en dos paisajes contrastantes: a) la margen noroeste del Escudo Canadiense cerca de Inuvik, mostrando los numerosos humedales que se han formado a lo largo de los valles fluviales (fluyendo de derecha a izquierda) y en el terreno erosionado por el hielo (Foto: Tristram Irvine-Fynn); b) depresiones poco profundas inundadas a lo largo del valle de los ríos Nyl y Mogalakwena al norte de Sudáfrica (el flujo en el valle es de izquierda a derecha). Tales depresiones son creadas por los aportes de sedimento de los afluentes. En este caso, el Dorpspruit (fluyendo desde el borde inferior izquierdo hasta media distancia) ha provisto abundante sedimento, obstruyendo los flujos estacionales a lo largo de los ríos Nyl y Mogalakwena. Numerosas casas y caminos proveen escala e ilustran las actividades humanas que ocurren muy cerca de estos humedales (Foto: Spike McCarthy).

### ¿Sabías qué...

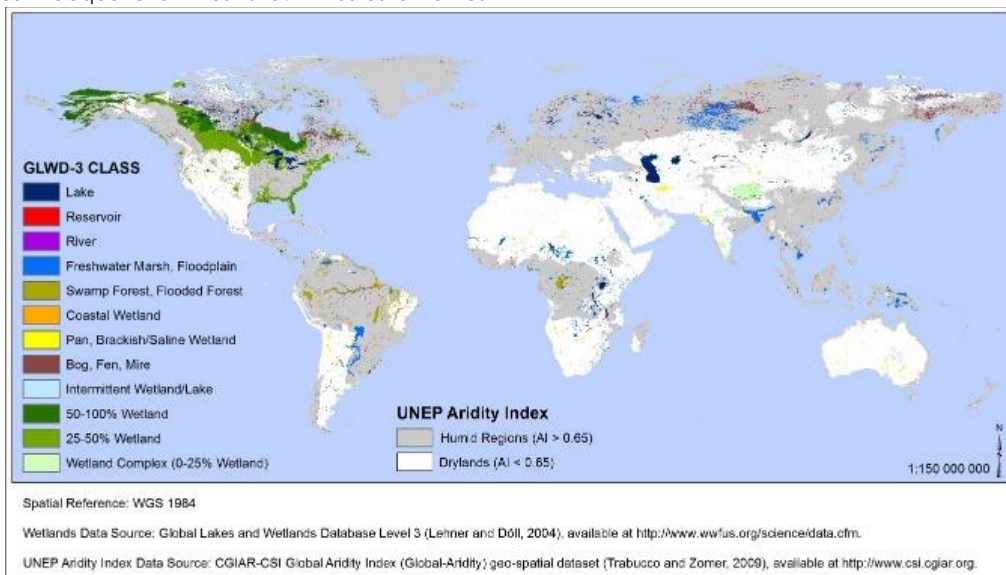
Además del Delta del Okavango (Figura 5), otros grandes humedales alrededor del mundo ocupan depresiones tectónicas creadas por el hundimiento de la corteza terrestre. Al suroeste de los Estados Unidos, la apertura y fractura de la corteza terrestre a lo largo de fallas paralelas ha creado la provincia geográfica de Basin and Range, siendo las cuencas provistas de agua y sedimento desde elevados bloques de fallas vecinos. El hundimiento tiende a ser más rápido que la tasa de llenado por agua y sedimento, entonces las depresiones persisten e

incluso se profundizan con el pasar del tiempo. A -85,5 m bajo el nivel del mar, la cuenca Badwater en Death Valley, California, es el punto más bajo del hemisferio oeste y se caracteriza por playas (salinas) que se inundan ocasionalmente, lo que ayuda a mantener humedales incluso en el clima seco. Otras grandes depresiones tectónicas con playas incluyen el lago Eyre, Australia (-15 m bnm), la depresión Qattara, Egipto, (-133 m bnm), y la depresión Turfan, China (-154 m bnm) (Fuente: USGS / National Parks).







**Los humedales se pueden formar en un amplio rango de paisajes y entornos climáticos, incluyendo regiones húmedas donde el agua superficial es abundante (alta precipitación con baja evapotranspiración) y regiones áridas donde hay déficits netos de agua superficial (baja precipitación con alta evapotranspiración).**

La figura 7 muestra que la más amplia distribución de humedales está en las latitudes medias a altas, partes templadas y boreales del hemisferio norte, pero los humedales también están ampliamente distribuidos en los trópicos de latitudes más bajas. En estas regiones húmedas algunos humedales pueden ser sostenidos únicamente por la precipitación local o escorrentía superficial, o agua subterránea (por ejemplo, lodazales elevados, humedales de alta montaña) pero los caudales de ríos también pueden ser importantes factores determinantes de la hidrología de los humedales, formando humedales ribereños, pantanos y ciénagas. A pesar de los déficits netos de agua superficial, los humedales pueden también encontrarse en muchas regiones de tierras secas (Figura 7) incluyendo algunos de los complejos de humedales más grandes del mundo, tales como el Okavango en Botswana (Figura 5) y los Pantanos Macquarie en Australia. En estos entornos

hiper áridos, áridos, semiáridos, subhúmedos y secos, moderados a grandes humedales generalmente pueden sólo existir donde los caudales de río se combinan con factores que localmente promueven un balance positivo de agua en la superficie, incluyendo el hundimiento tectónico y estanqueidad por sedimentos transportados por afluentes o el viento (punto clave 1). En estos humedales en tierras áridas, los balances positivos de agua pueden persistir durante todo el año, pero más comúnmente son fenómenos estacionales o efímeros, que ocurren posiblemente sólo una vez cada pocos años después de lluvias superiores al promedio y escorrentía. Por ejemplo, en el Delta del Okavango, las áreas inundadas se expanden y contraen anualmente, resultando en un patrón de pantanos permanentes y estacionales (figura 5). Debido a la gran diversidad de humedales en todo el mundo y las diferentes definiciones (ver recuadro en pág. 5), no hay una clasificación universalmente aceptada de humedales; muchos países y regiones han desarrollado sus propias clasificaciones de acuerdo con la diversidad de humedales dentro de sus territorios, algunos de los cuales se basan en una combinación de características geomorfológicas e hidrológicas.



**Figura 7.** La distribución mundial de humedales y otros cuerpos de agua en relación con las regiones húmedas y los ambientes áridos. Excluyendo los ríos, lagos, embalses y humedales marinos en alta mar, la cobertura total de humedales se estima en alrededor del 6-8% de la superficie terrestre (Fuente: mapa producido por Michael Grenfell usando: i) Wetlands Data Source: Base de datos mundial de lagos y humedales Nivel 3 (Lehner, B. and Döll, P. 2004. Development and validation of a global database of lakes, reservoirs and wetlands. Journal of Hydrology, 296: 1-22), disponible en: <http://www.wwf.us.org/science/data.cfm>; ii) UNEP Aridity Index Data Source: CGIAR-CSA (Global Aridity) geospatial dataset (Trabucco, A. and Zomer, RJ 2009. Global Aridity Index (Global-Aridity) and Global Potential Evapo-Transpiration (Global-PET) Geospatial Database (CIGAR Consortium for Spatial Information), disponible en: <http://www.csi.cgiar.org>).

	Llanura de inundación		Filtración en ladera conectada a una corriente
	Fondo de valle con cauce		Filtración en ladera no conectada a una corriente
	Fondo de valle sin cauce		Depresión

**Figura 8.** Clasificación que ilustra la gama de tipos hidrogeomorfos de humedales en el sur de África. El sistema de clasificación se relaciona principalmente con la forma en que el agua llega y fluye a través del

humedal, según lo controlado por las interacciones entre factores tales como la actividad tectónica, la geología, el tamaño de la cuenca, la posición del paisaje, las relaciones del canal troncal-tributario y la fuente, volumen y fiabilidad del suministro de agua y sedimentos. Esta clasificación ilustra un subconjunto de la gama de tipos de humedales hidrogeomorfos que se producen a nivel mundial (Fuente: rediseñado de Ollis, DJ et al. 2013. Classification System for Wetlands

and Other Aquatic Ecosystems in South Africa. User manual: Inland Systems. SANBI Biodiversity Series 22. South African Biodiversity Institute, Pretoria).

### ¿Sabías qué...

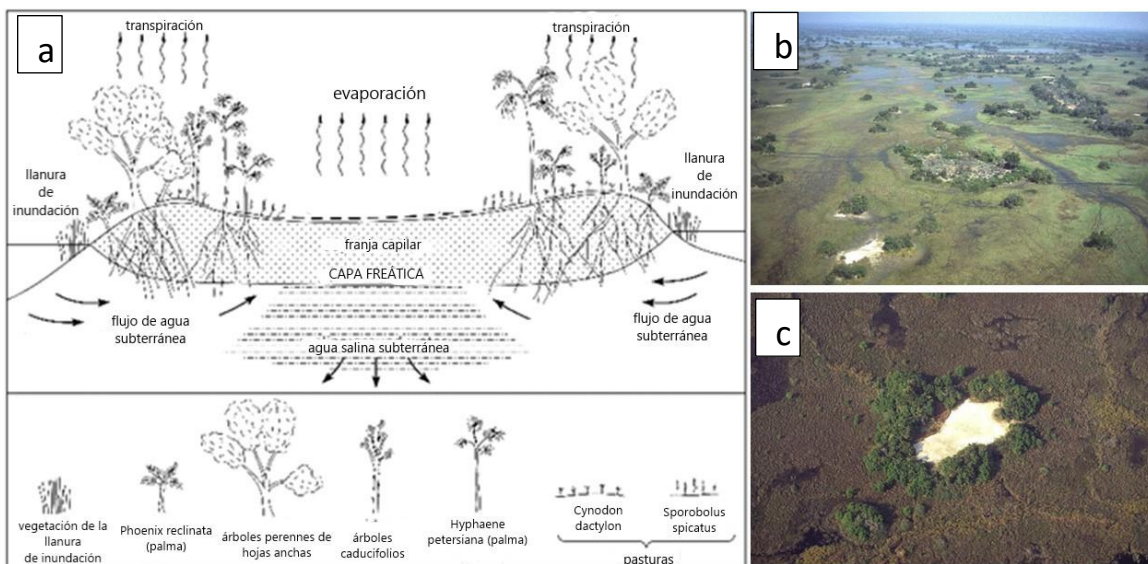
Si bien el concepto 'humedales en tierras áridas' parece una contradicción, en realidad muchas tierras áridas albergan una amplia gama de humedales efímeros, estacionales o incluso perennes que en conjunto pueden cubrir áreas importantes (por ejemplo, ~ 5% de la superficie terrestre del África subsahariana). En detalle, cada humedal tiene una gama única de características, pero en comparación con los humedales de regiones húmedas, se cree que muchos humedales en ambientes áridos se distinguen por: i) períodos más frecuentes y / o más largos de desecación; ii) los cauces comúnmente disminuyen de tamaño e incluso desaparecen aguas abajo; iii) mayores niveles de sedimentación química debido a la mayor evapotranspiración y mecanismos de

concentración de solutos biológicos y no biológicos; iv) incendios más frecuentes que reducen el potencial de acumulaciones orgánicas gruesas y promueven la erosión eólica; y v) escalas de tiempo de desarrollo más largas que pueden remontarse a muchas decenas de miles de años (Fuente: Tooth, S. y McCarthy, TS 2007. Wetlands in drylands: geomorphological and sedimentological characteristics with emphasis on examples from southern Africa. *Progress in Physical Geography*, 31: 3-41; Rebelo, L.-M. et al. 2010. Wetlands of sub-Saharan Africa: distribution and contribution of agriculture to livelihoods. *Wetlands Ecology and Management*, 18: 557-572).

### 3 Los procesos de los humedales son resultado de las interacciones en el sistema de la Tierra

Los procesos de los humedales son el resultado de las interacciones locales, regionales y globales entre la atmósfera, la hidrosfera, geosfera y biosfera. La estructura general física y la hidrología de los humedales está determinada por la geomorfología y los factores climáticos (puntos clave 1 y 2), y tal como se muestra en la figura 4, esto proporciona el marco para una multitud de procesos que involucran interacciones entre la hidrología local (por ejemplo, profundidad y duración de la inundación), el entorno fisicoquímico (por ejemplo, porosidad del suelo y contenido de oxígeno), y biota (por ejemplo, el establecimiento de plantas y niveles de actividad animal). Por ejemplo, en el Delta del Okavango, el agua superficial, el agua subterránea, el sedimento y los solutos interactúan con el crecimiento de las plantas para crear formas de relieve distintivas, tales como las numerosas islas bordeadas de árboles con interiores salinos (Figura 9). Estas islas actúan como los riñones del complejo de humedales, concentrando localmente los compuestos de sal (por ejemplo, cloruro de sodio) que podrían volverse tóxicos para la vida animal y vegetal si se dispersaran ampliamente en las aguas superficiales. Además, la acumulación de carbonatos de calcio y/o magnesio debajo de las islas proporciona un depósito para formas inorgánicas de carbono que previenen su oxidación y su liberación a la atmósfera como dióxido de carbono.

Similarmente complejas, sutiles interacciones caracterizan a otros humedales a nivel mundial. En muchos de los humedales de latitudes medias y altas, los flujos de agua, el crecimiento de la vegetación y las actividades del castor pueden conducir a la formación de numerosos lagos poco profundos a lo largo de valles fluviales. Estos lagos regulan los flujos de agua río abajo, particularmente ayudando a reducir los picos de inundación, y localmente concentrando sedimentos, nutrientes y materia orgánica como por ejemplo plantas muertas. Bajo condiciones típicamente frescas, carentes de oxígeno y saturadas de agua, la descomposición de materia orgánica es lenta, posiblemente llevando a la formación de turba. El crecimiento continuo de turba o su entierro por sedimentos pueden ayudar a almacenar formas orgánicas de carbono, también previniendo su oxidación y liberación a la atmósfera. En general, los humedales ejemplifican en el microcosmos las complejas interacciones entre la atmósfera, la hidrosfera, la geosfera y biosfera que están implícitas en los conceptos científicos que plantean a la Tierra como un sistema integrado. Tales conceptos apoyan la alta biodiversidad a la vez que juegan roles clave en los ciclos hidrológicos, sedimentarios y biogeoquímicos que pueden ser importantes en escalas globales, locales y regionales.



**Figura 9.** Ejemplo de un paisaje de humedales con formas de relieve que contiene una fuerte huella biológica: a) ilustración esquemática de las interacciones entre hidrología, geoquímica del suelo y plantas que conducen al desarrollo de islas distintivas, bordeadas de árboles, con interiores salinos en partes del delta del Okavango, Botswana (Fuente: rediseñado a partir de Ellery, K. and Ellery, WN 1997. Plants of the Okavango Delta: A Field Guide. Tsaro Publishers, Durban); b) y c) vistas aéreas de las islas en los pantanos permanentes (Fotos: Stephen Tooth).

### ¿Sabías qué...

El carbono (C) es el constituyente de dos de los gases invernadero más importantes en la atmósfera de la Tierra, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el metano (CH<sub>4</sub>). Los humedales del mundo tienen una influencia fuerte en el almacenamiento y liberación de C y, por lo tanto, colectivamente ejercen una importante influencia en la composición atmosférica y por ende en el clima global. En humedales en regiones húmedas, el C se captura típicamente como resultado de la acumulación de material vegetal a largo plazo (por ejemplo, como turba). Por contraste, en humedales en ambientes áridos, el C es más comúnmente capturado como compuestos de carbonato que precipitan en los suelos debido a las pérdidas de agua por evapotranspiración. En el Delta del Okavango solamente, más de 200 000 toneladas de solutos precipitan en las islas cada año (figura 9), muchos de los cuales son carbonatos. Tanto en regiones húmedas como secas, sin embargo, los humedales también pueden liberar C, tanto como CO<sub>2</sub> (p. ej., en incendios de turba, a través de la respiración microbiana, o mediante el desgaste químico de carbonato) o como CH<sub>4</sub> (mediante la descomposición microbiana de materia orgánica en condiciones pobres en oxígeno y anegadas). Estimaciones sugieren, por ejemplo, que las vastas llanuras aluviales de la Amazonia liberan aproximadamente 10 millones de toneladas de CH<sub>4</sub> cada año. El equilibrio entre el almacenamiento y la liberación de C determina si los humedales son sumideros o fuentes de C. En su estado natural, la mayoría de los humedales son sumideros netos, pero hay preocupación de que, con el calentamiento global continuo y las presiones humanas en aumento, más humedales en todo el mundo pueden ser propensos a la desecación y la combustión, y así convertirse en fuentes netas de C (Fuente: McCarthy, TS and Ellery, WN, 1998. The Okavango Delta, Transactions of the Royal Society of South Africa, 53: 157-182; Ramberg, L. and Wolski, P. 2008. Growing islands and sinking solutes: processes maintaining the endorheic Okavango Delta as a freshwater system. *Plant Ecology*, 196: 215-231; Devol, AH et al. 1988. Methane emissions to the troposphere from the Amazon floodplain. *Journal of Geophysical Research* 93: 1583-1592).

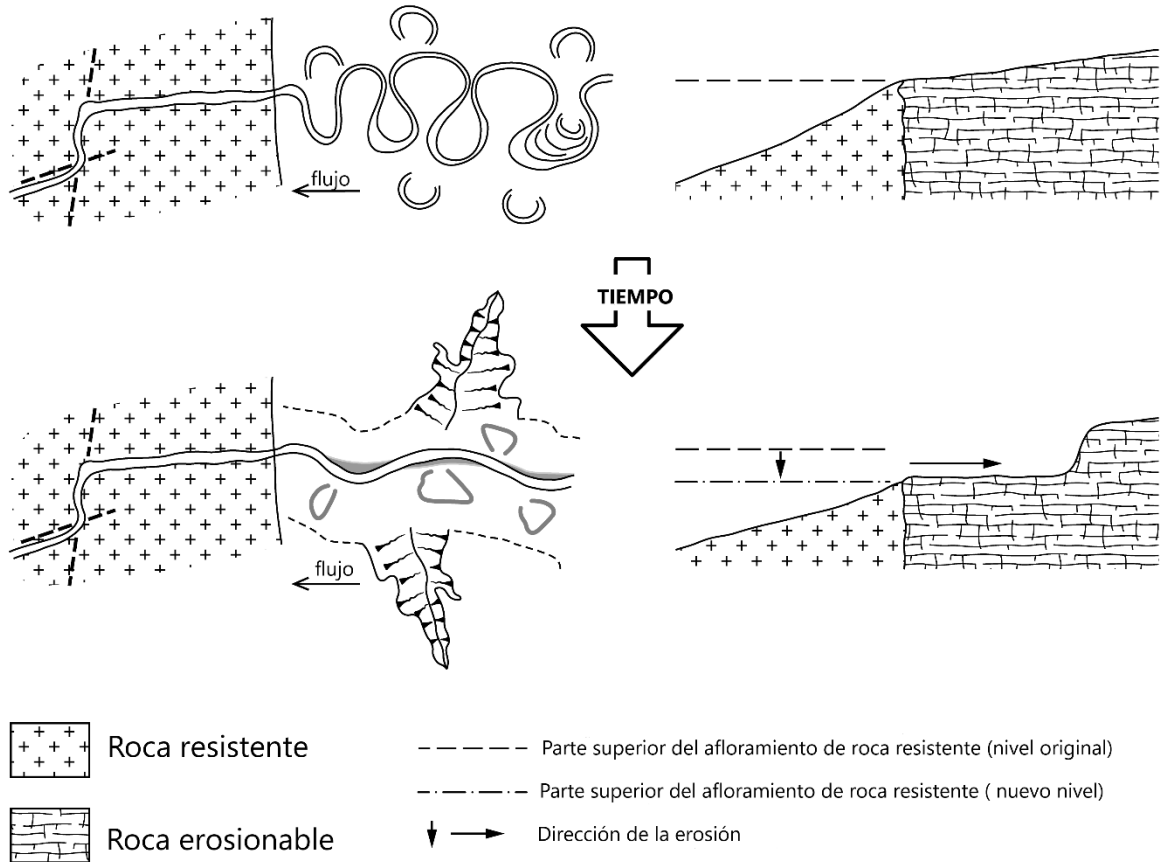
**Los humedales no son estáticos y constantes, sino que son dinámicos y se desarrollan a través del tiempo en respuesta a cambios externos (tectónicos, geológicos climáticos, nivel del mar).** Las condiciones externas influyen los procesos geomorfológicos afectando los movimientos de masa (punto clave 1), y en última instancia, llevando a cambios en el paisaje del humedal.

En la ausencia de actividades humanas (punto clave 8), tales cambios toman lugar naturalmente sobre una gama de escalas temporales y espaciales. Eventos individuales de clima extremo (por ejemplo, intensas tormentas, marejadas) pueden conducir a rápidos, comúnmente dramáticos, cambios en la erosión y los patrones de depósito a lo largo de los cauces del río o las desembocaduras. Los cauces pueden profundizarse o ensancharse o las curvas pueden ser cortadas afectando así a la subsiguiente distribución de agua y sedimentos, tanto local como regionalmente. Variaciones estacionales, cambios plurianuales en los patrones climáticos (por ejemplo, ciclos de inundaciones y sequías asociados a eventos de "El Niño" y "La Niña") y el cambio en el clima en escalas de décadas a miles de años pueden también impulsar cambios progresivos, pero posiblemente dramáticos. En lugares como los Pantanos Macquarie, Australia, y el Delta del Okavango en Botswana, muchos canales antiguos preservados dentro y adyacentes a los humedales son más grandes que los canales actuales (Figura 10) sugiriendo cambios de largo plazo relacionados con el clima en los caudales de los ríos.

En escalas de tiempo más largas (decenas o cientos de miles de años), los cambios en el clima y los niveles del mar asociados pueden conducir a dramáticas expansiones y contracciones de los humedales, tanto en entornos costeros como terrestres. Sobre estas escalas de tiempo, los factores geológicos también pueden ser importantes. La erosión progresiva del lecho de roca más débil río arriba de un lecho rocoso más resistente, puede causar la ampliación de un valle y reducción de la pendiente, aumentando la zona dentro de la cual los humedales se pueden formar (Figura 11a). Pero una vez que los afloramientos más resistentes son erosionados, se produce una profunda incisión en el río y los humedales de la llanura inundable son abandonados (Figura 11b). A lo largo de estas escalas de tiempo, la actividad tectónica puede también impulsar cambios en el interior de los humedales. En entornos continentales, el hundimiento puede proporcionar una depresión dentro de la cual el agua y los sedimentos se acumulan (Figura 5), mientras que en el litoral el hundimiento de la tierra puede conducir a un relativo aumento del nivel del mar, erosión de la playa y la pérdida de humedales. En el interior, fallas elevadas se pueden formar a través de cursos de río, impidiendo así el drenaje y promoviendo la formación de humedales, como está claro en las imágenes satelitales de partes de la cuenca del Amazonas (Figura 12). En entornos costeros, la elevación de la tierra puede conducir a una disminución relativa del nivel del mar y a la pérdida o migración de humedales hacia el mar.

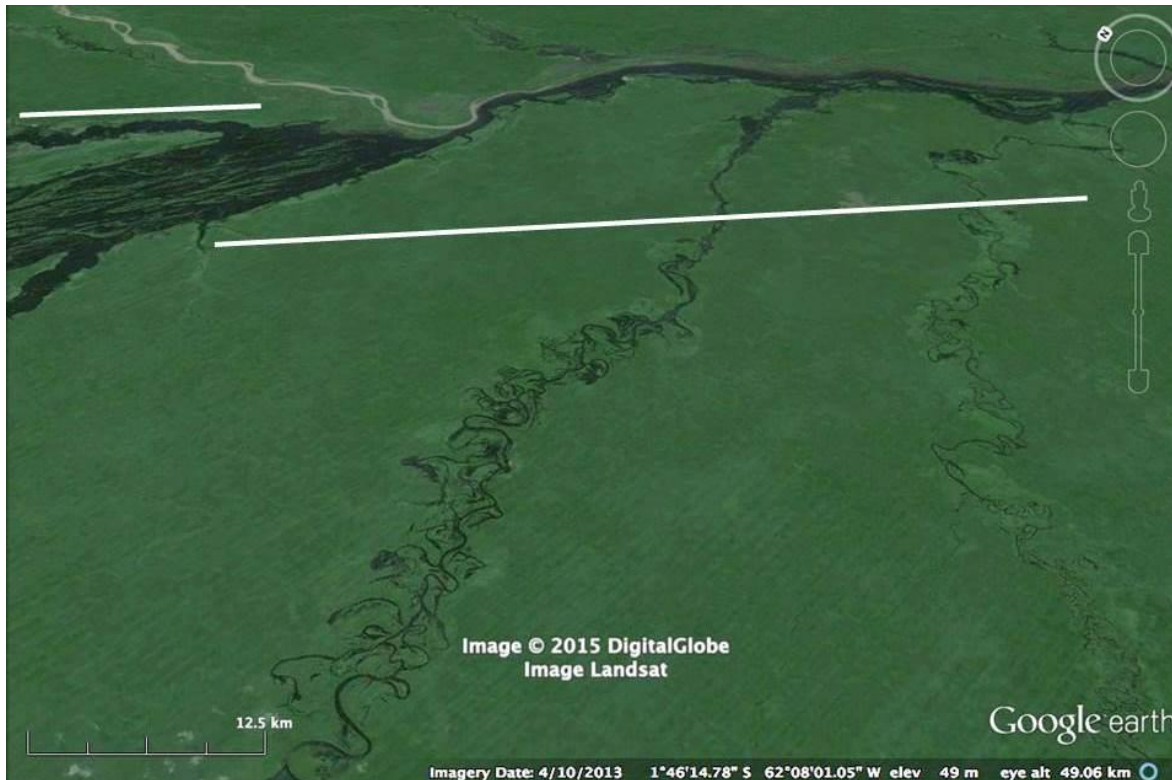


**Figura 10.** Visión aérea mostrando los numerosos canales antiguos (izquierda y centro de imagen) que se conservan adyacentes al actual Río Macquarie inferior y humedales asociados (derecha) del sudeste de Australia. Los canales más antiguos tienen meandros que son muchas veces más grandes que las curvas a lo largo del actual río, lo que implica intervalos pasados con caudales significativamente mayores (Fuente: Google Earth – Datos cartográficos de CNES / Astrium and Digital Globe, 2015).



**Figura 11.** Ilustración esquemática para mostrar un ciclo de formación y destrucción de humedales: a) canales serpenteantes y humedales de llanuras inundables se forman inicialmente sobre rocas más erosionables aguas arriba de afloramientos resistentes; b) a medida que se erosiona el lecho rocoso resistente, el canal se endereza y profundiza. Esto conduce al abandono y desecación de los humedales, y comúnmente inicia la formación de grandes cárcavas. En el interior sudafricano, muchos humedales de llanuras inundables se forman sobre rocas de lutolita y arenisca aguas arriba de resistentes diques y mantos de dolerita. Las escalas de tiempo durante las cuales se producen estos procesos están pobremente limitadas, pero dentro de los humedales de llanuras inundables, se han demostrado cambios del cauce (desarrollos de meandros, cortes de curvas, avulsión) en escalas de tiempo de años a muchas decenas de miles de años (Fuente: modificada a partir de Keen-Zebert, A. et al., 2013. Late Quaternary floodplain reworking and the preservation of alluvial sedimentary archives in unconfined and confined river valleys in the eastern interior of South Africa. *Geomorphology*, 185: 54-66).





**Figura 12.** Vistas aéreas oblicuas mostrando parte de las tierras bajas del Amazonas central cerca de la unión de los ríos Negro y Branco (extremo superior de la imagen). Los ríos Unini y Jau se unen al río Negro aguas abajo. Las líneas blancas indican los límites norte de extensos humedales de llanuras inundables; se interpreta que estos límites son controlados por fallas tectónicas. (Fuente: Forsberg, BR et al. 2000. Tectonic fault control of wetland distributions in the Central Amazon revealed by JERS-1 radar imagery, *Quaternary International*, 72: 61-66; Google Earth – Map Data Landsat, 2015).

### ¿Sabías qué...

Desde la evolución de las plantas terrestres de orden superior, los paisajes húmedos han sido una característica de la superficie de la Tierra, pero a lo largo del tiempo se habrán expandido y contraído en extensión. Por ejemplo, en las tierras áridas africanas, los sistemas fluviales, los lagos y humedales han sido sometidos a profundos cambios a lo largo de los últimos 10 millones de años debido a una combinación de cambios tectónicos, geológicos, climáticos y del nivel del mar. Tales cambios pueden haber sido un factor importante impulsando la diversificación biológica, y también probablemente jugaron un papel en los orígenes de los primeros humanos permitiendo la supervivencia y la migración en entornos marginales. En el norte de África, las imágenes de radar proporcionan evidencia extensa para los grandes y antiguos cauces del río enterrados a poca profundidad debajo de las arenas arrastradas

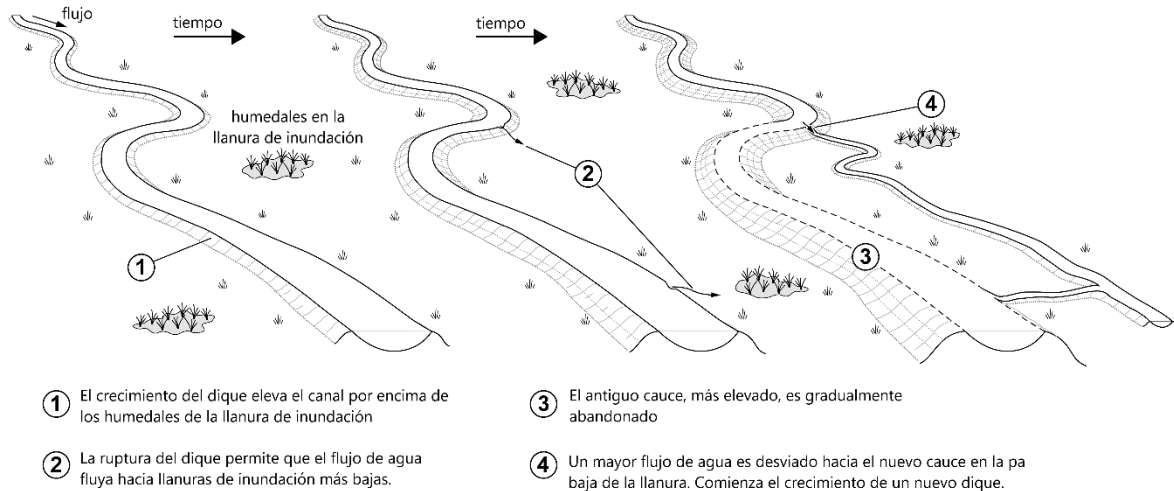
por el viento. Aunque se disputan muchos detalles, se piensa que muchos ríos fluían de sur a norte cruzando el Sahara. Durante intervalos pasados más húmedos, como el último interglaciar (aproximadamente 120 000 años atrás), una expansión dramática de los ríos, lagos y humedales puede haber proporcionado corredores húmedos a través de lo que es ahora una de las partes más secas del continente, permitiendo la migración y dispersión de los primeros humanos modernos desde el África subsahariana al Mediterráneo y más allá. (Fuente: Osborne, AH et al. 2008. A humid corridor across the Sahara for the migration of early modern humans out of Africa 120 000 years ago. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105: 16444-16447; Paillou, P et al. 2009. Mapping of a major paleodrainage system in eastern Libya using orbital imaging radar: The Kufrah River. *Earth and Planetary Science Letters*, 277: 327-333).

**Además de las condiciones externas cambiantes, el desarrollo de los humedales también puede ser impulsado por cambios ecológicos (por ejemplo, sucesión de la vegetación, actividad animal) o ajustes geomorfológicos internos (por ejemplo, abandono del cauce, desarrollo de cárcavas).** En algunos humedales, los procesos naturales de sucesión de vegetación pueden transformar cuerpos de agua abiertos poco profundos en turberas y eventualmente en bosques. Incluso en dónde ésta terrenalización gradual no ocurre, grandes cambios en los humedales pueden surgir de ajustes geomorfológicos internos. Por ejemplo, en algunos humedales de llanuras de inundación la sedimentación a lo largo y adyacente a los canales del río puede conducir a la formación de albardones aluviales que se elevan por encima del terreno circundante (Figura 13). Durante eventos sucesivos de inundación, mayores cantidades de agua se desvían lejos del albardón y hacia el terreno más bajo, lo cual promueve la erosión de un nuevo canal y abandono del cauce (Figura 13). Tal cambio de cauce (avulsión) puede ocurrir en varias escalas tanto locales como regionales (Figura 3), y puede resultar en importantes cambios ecológicos (Figura 14).

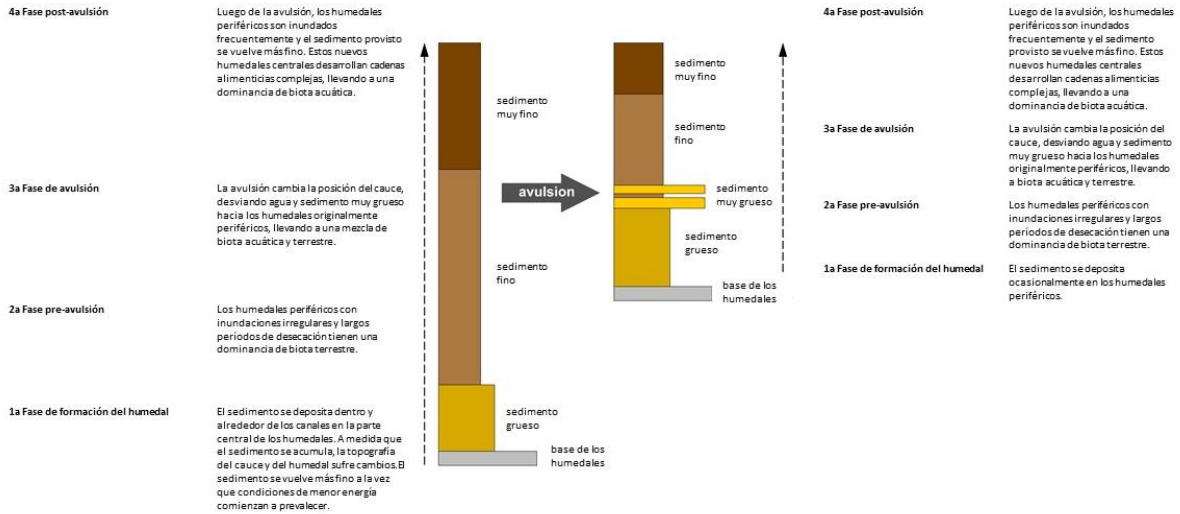
Aunque los eventos de cambio de cauce pueden resultar de ajustes internos solamente, también están comúnmente influenciados por cambios externos en el suministro de agua y sedimentos. El Delta del Okavango en Botswana proporciona una ilustración gráfica de la complejidad de este tipo de dinámica

de los humedales sobre un rango de escalas temporales y espaciales (Figura 15). Las fluctuaciones temporales y a largo plazo de los flujos de entrada del río conducen a variaciones en la extensión, duración y profundidad de la inundación. El flujo se filtra a través de las orillas bordeadas de hierba y juncia de los principales canales de distribución (Figura 15a), abasteciendo vastas áreas de pantanos permanentes y estacionales. Las pérdidas en el canal conducen a una sedimentación progresiva, lo que fomenta una mayor desviación de caudales. Durante décadas a siglos, estos canales de distribución se convierten en conductos menos eficientes para la dispersión de agua y sedimentos, y se abandonan gradualmente. Al mismo tiempo, el aumento de la desviación del caudal significa que los nuevos canales se erosionan en áreas de pantanos, generalmente al explotar los senderos creados por los hipopótamos.

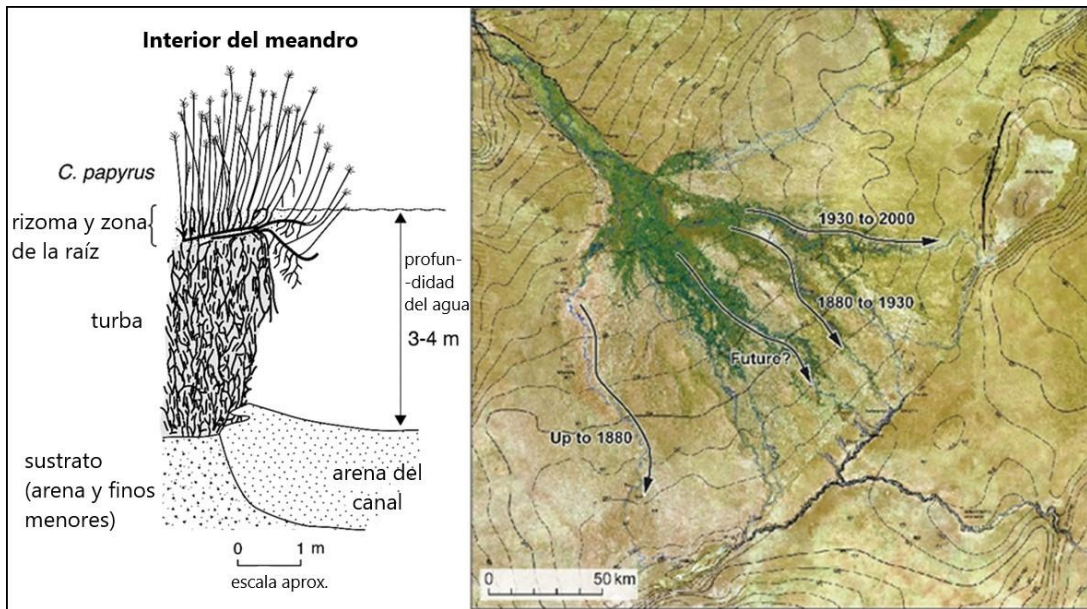
Eventualmente, se produce el cambio de cauce, lo que lleva a la desecación de partes del delta mientras que las partes nuevas se encuentran inundadas. En escalas de tiempo de siglos, el cambio del cauce regional ha llevado a redistribuciones importantes de agua y sedimentos, contribuyendo a la forma de abanico del delta (Figura 15b). Algunos otros complejos de humedales a nivel mundial, especialmente el Pantanal en Brasil, están influenciados por procesos similares de cambio de cauce.



**Figura 13.** Ilustración de los procesos geomorfológicos que conducen al cambio de cauce (avulsión). Deposición de arena, limo y arcilla a lo largo y de manera adyacente a los canales del río pueden conducir al crecimiento de los diques y al aumento del caudal por encima del nivel de la llanura de inundación que lo rodea. Durante las inundaciones, la ruptura del dique puede desviar cantidades de flujo en aumento a partes más bajas de la planicie. Eventualmente, se cruza un umbral a través del cual un recientemente formado canal transporta una proporción cada vez mayor del caudal, y el viejo canal, de elevación más alta, se abandona gradualmente.



**Figura 14.** Ilustración de las consecuencias ecológicas de la avulsión, basada en un ejemplo de los Pantanos Macquarie, al sureste de Australia (rediseñada y adaptada de Ralph, T. et al. 2011. Paleocological responses to avulsion and floodplain evolution in a semiarid Australian freshwater wetland. Australian Journal of Earth Science, 58: 75-91).



**Figura 15.** a) Visión esquemática transversal que muestra la composición típica de la orilla en el interior de un meandro en el Delta del Okavango, Botswana. La vegetación activa y la capa de turba es permeable, entonces el agua se filtra a través de las orillas, pero de la arena se mantiene dentro del canal y conduce a una sedimentación progresiva (rediseñado de McCarthy, TS et al., 1988. Features of channel margins in the Okavango Delta. Palaeoecology of Africa, 19: 3-14); b) Ilustración de los cambios a escala de siglo en el caudal de los principales canales distributarios del Delta del Okavango. Las fechas (años DC) indican los períodos de tiempo en que cada distributario fue el conducto principal para la dispersión de flujo y sedimento. Desde aproximadamente 2000, un flujo en aumento ha estado bajando por el distributario Jao/Boro en la parte central del delta, sugiriendo que éste se convertirá en el conducto principal en el futuro (fuente: basado en la

información en Ellery WN and McCarthy TS 1996. Wetland dynamics and conservation: identifying the key factors in the Okavango Delta, Botswana. En: Beilfuss, 'RD' et al. (Eds), Proceedings of the 1993 African Crane and Wetland Workshop. International Crane Foundation, Baraboo, Wisconsin, USA, Pp. 323-332).

### ¿Sabías qué...

Muchos humedales africanos que permanecen en estado casi natural hospedan poblaciones de hipopótamos. Los hipopótamos pasan la mayoría de las horas del día sumergidos en cuerpos de agua (ríos, lagos, estanques) pero en la noche se mueven a ambientes terrestres de pastoreo. Los hipopótamos adultos pesan entre 1000 y 1500 kg y comen alrededor de 18 kg de hierba (peso seco) por día. Estos animales raramente viajan más de 2-3 km desde el agua hasta la fuente de alimentación, y su movimiento repetido crea redes de senderos a lo largo de los ríos, en las orillas y a través de las llanuras de inundación de los humedales. Muchos de estos senderos en los terrenos inundables están orientados paralelamente a la pendiente del valle y ayudan a dispersar el caudal de la inundación más ampliamente, pero también fomentan la erosión localizada, particularmente donde el caudal en

aumento es desviado desde un canal cercano como resultado de sedimentación. La erosión retrogradante a lo largo de un sendero de hipopótamo hacia un canal puede eventualmente conducir al cambio en el cauce (avulsión) de manera tal que se abandona el antiguo canal y el camino se amplía para convertirse en el nuevo canal. Los hipopótamos por lo tanto tienen impactos tanto hidrológicos como geomorfológicos en los humedales que pueden contribuir a cambios radicales en la distribución de agua y sedimento a lo largo de escalas de tiempo de décadas, rivalizando con el impacto de los castores en algunos humedales del hemisferio norte (Fuente: McCarthy, TS et al. 1998. Some observations of the geomorphological impact of hippopotamus (*Hippopotamus amphibious* L.). *African Journal of Ecology*, 36: 44-56).

**Los humedales contienen historias de su desarrollo que potencialmente pueden ser descifradas y reconstruidas a partir del estudio de sus relieves asociados, sedimentos y restos biológicos.** Por ejemplo, la preservación de los antiguos grandes cauces de río en y alrededor de los humedales puede proporcionar evidencia de climas más húmedos en el pasado (Figura 10), mientras que las dunas inactivas que rodean a algunos humedales pueden proporcionar evidencia de climas pasados más secos. Más comúnmente, las reconstrucciones de cambios pasados en los humedales se enfocan en sus sedimentos (Figura 16). Dados sus entornos geomorfológicos y climáticos (punto clave 2), la mayoría de los humedales tienden a acumular sedimentos clásticos, químicos y orgánicos a través del tiempo (punto clave 3). Comúnmente, estas acumulaciones de sedimentos son de metros a decenas de metros de espesor (Figura 16a), y localmente pueden tener cientos de metros de espesor (Figura 5a). La materia biológica puede ser conservada en los sedimentos orgánicos del humedal, incluyendo granos de polen, epidermis de hojas, esqueletos de fauna y diatomeas (Figura 16b). En raras instancias, restos humanos se han recuperado de los sedimentos de los humedales (por ejemplo, las momias del pantano que se conservan en las turberas de Europa occidental). La evidencia biológica puede proporcionar signos detallados de condiciones ambientales pasadas (por ejemplo, temperatura, lluvia, química del agua, ensambles de vegetación locales, cadenas alimenticias) y resaltar importantes períodos de cambio ambiental pasado. Técnicas geocronológicas como la datación por radiocarbono y la luminiscencia pueden ayudar a establecer la edad de la deposición de sedimentos, lo que permite la reconstrucción del tiempo y tasas de cambios pasados.

La mayoría de los estudios de las historias de humedales se han centrado en humedales terrestres y costeros en latitudes medias del hemisferio norte. Muchos de estos humedales tienen historias relativamente cortas, habiéndose desarrollado dentro de los últimos 10–15,000 años después del retiro del hielo después del Último Máximo Glacial. Muchos humedales se formaron en terreno deglaciado (Figura 6a) o en respuesta al aumento del nivel del mar y los registros de condiciones paleo ambientales pasadas pueden ser detalladas, pero relativamente cortos. En partes del mundo que escaparon a los efectos directos de la glaciación, los humedales pueden preservar registros más largos. Depósitos de turba de 45 000 años de antigüedad han sido encontrados en algunos humedales tropicales, mientras que algunos humedales del sur africano y los humedales australianos conservan la evidencia de las dinámicas de cambio de cauce e inundación de la planicie en escalas de tiempo en exceso de 50 000 años.

Reconstruir las historias de desarrollo de los humedales es importante por varias razones. En primer lugar, proporciona el contexto para la evaluación de la naturaleza, tasas y patrones de los cambios recientes en la estructura y funcionamiento de los humedales y la base para la evaluación de los probables factores externos y / o internos que impulsan estos cambios (puntos clave 4 y 5). En segundo lugar, proporciona una guía en cuanto a cómo los humedales pueden cambiar en el mundo bajo escenarios de futuro cambio climático global (punto clave 7). En tercer lugar, al proporcionar una perspectiva a largo plazo sobre los cambios en los humedales naturales, ayuda a evaluar en qué medida las actividades humanas están impactando sobre los humedales (punto clave 8).



**Figura 16.** Ejemplos de sedimentos de humedales y características biológicas asociadas que pueden proporcionar información sobre las historias de humedales: a) Borth Bog (Cors Fochno), oeste de Gales, uno de los pantanos estuarinos sobrevivientes más grandes de Europa occidental. La inserción muestra un núcleo recuperado de los márgenes del pantano a una profundidad de 5-6 m, que muestra la clara transición desde

arcillas estuarinas grises (parte inferior del núcleo, derecho arriba) a turba marrón (parte superior del núcleo, izquierda abajo) que ocurrió en respuesta al aumento del nivel del mar hace 6 000 años (Fotos: Stephen Tooth); b) ácaro de agua recuperado de un núcleo in los Pantanos Macquarie, al oeste de Nueva Gales del Sur, Australia (escala abajo a la derecha, con 100  $\mu\text{m}$  igual a 0,1 mm). La presencia de este depredador invertebrado sugiere la existencia de una relativamente bien desarrollada cadena alimenticia aproximadamente hace 5 000 años (Imagen: Yoshi Kobayashi).

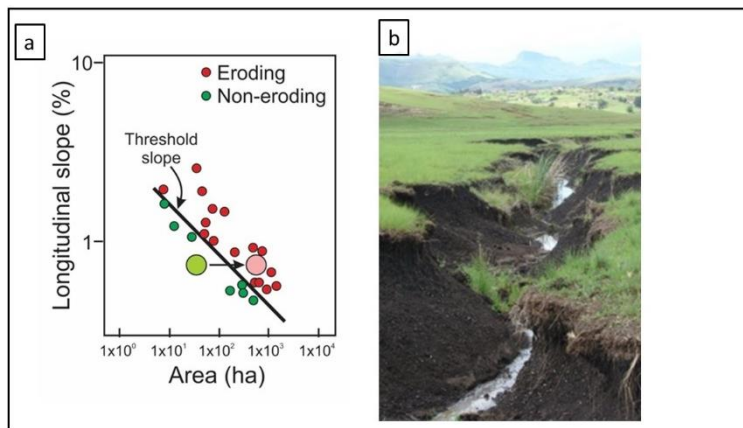
### ¿Sabías qué...

Aunque los estudios detallados son limitados, la evidencia disponible indica que muchos humedales en las tierras áridas del sur de África tienen historias que pueden remontarse muchas decenas o incluso cientos de miles de años. Durante los principales períodos de cambio ambiental, pueden haber ocurrido marcados ajustes en el cauce y la planicie de inundación, pero, no obstante, los humedales han persistido como características del paisaje. Esta persistencia a largo plazo proporciona un claro contraste con los cambios actuales, con algunos de los humedales de las tierras áridas del sur de África

sufriendo actualmente una severa fase de degradación que amenaza su existencia. Las causas de esta degradación son debatidas, pero pueden resultar de una combinación de factores geológicos naturales (Figura 11), cambios climáticos, ajustes internos e impactos humanos. (Fuente: Tooth, S. and McCarthy, TS 2007. Wetlands in drylands: key geomorphological and sedimentological characteristics, with emphasis on examples from southern Africa. *Progress in Physical Geography*, 31: 3-41).

**El continuo cambio global medioambiental que incluye el calentamiento atmosférico y aumento del nivel del mar, está conduciendo actualmente a cambios en la estructura y funcionamiento de los humedales, que incluyen a través del aumento de la erosión costera, la desecación y el desarrollo de cárcavas.** Si bien la respuesta de los relieves y los paisajes de los humedales a los cambios ambientales externos puede ser complicado por condiciones ecológicas variables o ajustes geomorfológicos internos (punto clave 5), algunos tipos de humedales pueden ser particularmente vulnerables a cambios dramáticos e irreversibles. Los humedales vulnerables incluyen aquellos ubicados en paisajes o en posiciones que son particularmente sensibles al nivel del mar, como los manglares y los humedales costeros de agua dulce. Otros humedales vulnerables

son aquellos ubicados en entornos climáticos marginales, donde incluso pequeñas variaciones en la lluvia, la evapotranspiración o en el caudal del río pueden conducir a grandes cambios, como muchos humedales en ambientes áridos y aquellos en regiones montañosas que dependen de suministros de agua en disminución debido al encogimiento de los glaciares. Además, la estructura física de algunos humedales significa que ellos pueden funcionar cerca de umbrales, por lo que incluso los pequeños cambios en la pendiente o área pueden conducir a dramáticos cambios geomorfológicos (Figura 17). Los cambios en los humedales pueden retroalimentar más cambio ambiental (punto clave 3), en particular donde la degradación de los humedales conduce a la oxidación y la liberación de carbono almacenado, por lo que contribuye al aumento constante de los gases de efecto invernadero en la atmósfera.



**Figura 17.** a) Relación entre la pendiente y el área del humedal que ilustra un umbral crítico entre humedales no erosionados (canales ausentes o poco profundos, sin barrancos) y humedales erosionados (canales profundos y presencia de cárcavas) Para algunos humedales, incluso pequeños incrementos en la pendiente del humedal (es decir, flujos más rápidos) o en su área (es decir, mayores volúmenes de flujo)

pueden cambiar el equilibrio entre la erosión y deposición empujando el sistema a través del umbral (ver círculos grandes). Datos del sur de África muestran que muchos humedales en terrenos de inundación o valles han sufrido cambios geomorfológicos dramáticos durante el siglo pasado, en donde algunos cambiaron de sistemas no erosionados a erosionados. Estos cambios han sido impulsados por una combinación de factores naturales, geológicos, cambios climáticos, ajustes internos e impactos humanos que aún no han sido entendidos completamente (Fuente: Redibujados y adaptados de Ellery, WN et al. 2009. WET-Origins: Controls on the Distribution and Dynamics of Wetlands in South Africa. Informe de WRC No TT334 / 09, Pretoria); b) Ejemplo de una gran cárcava en un humedal rural sudafricanos (Foto: Fred Ellery).

Teniendo en cuenta las definiciones más amplias de humedales (ver recuadro en pág. 5) muchos humedales en alta mar también están sufriendo un cambio profundo en respuesta al cambio ambiental global. Los arrecifes de coral son particularmente vulnerables debido a una combinación tóxica de calentamiento del océano y rápido aumento del nivel del mar, acidificación del océano y aumento

del suministro de sedimento a aguas costeras. Incluso en el contexto de grandes cambios a la estructura y función de otros tipos de humedales, los arrecifes de coral proporcionan un ejemplo especialmente claro de humedales donde tanto los accidentes geográficos como los significativos reservorios de biodiversidad están bajo amenaza.

### **¿Sabías qué...**

Muchos paisajes en todo el mundo están en riesgo debido al aumento del nivel del mar, pero el estado de Florida en el sur de los Estados Unidos es uno de los más amenazados. Los estudios muestran que más de la mitad de las 825 millas de playas arenosas de Florida (1328 km) ya se están erosionando y un mapeo de los futuros niveles del mar proyectados muestran que con un aumento de 1.500 m (1.500 m)

para el año 2100, casi un millón de las casas cerca de la línea costera actual estarán por debajo del promedio diario de marea alta. Por cada pie (0,3 m) de aumento en el nivel del mar, la costa se moverá alrededor de 500-2000 pies (152-610 m) tierra adentro. Esto conducirá al aumento de la incursión de agua salada, alterando radicalmente la distribución de humedales de agua salina, salobre y dulce en los Everglades (Fuente: National Geographic, Febrero 2015).



**Cada vez más, los efectos directos y los indirectos de las actividades humanas (por ejemplo, la utilización del suelo, infraestructura, gestión ambiental) están también impulsando cambios en la estructura y funcionamiento de los humedales.** Muchos de los humedales se han perdido por completo debido a los cambios en el uso del suelo, eso incluye la conversión a la agricultura, pastoreo, silvicultura y desarrollos urbanos, y como resultado de las modificaciones de drenaje, tales como, desviación del caudal y regulación, canalización, y extracción de agua subterránea. Las pérdidas de humedales han ocurrido a lo largo de la civilización humana, pero en el oeste de Europa estas pérdidas aumentaron después de la revolución industrial en el siglo XVIII. La colonización europea llevó a la pérdida de humedales en muchas partes del Nuevo Mundo y a nivel mundial han ocurrido muchas pérdidas de humedales con la Gran Aceleración en el desarrollo luego de la Segunda Guerra Mundial. Algunas estimaciones sugieren que al menos la mitad de todos los humedales predesarrollo alrededor del mundo se han perdido como resultado de las actividades humanas. Además, la estructura y funcionamiento de muchos de los humedales que quedan ha sido degradada por varios grados por estas y otras actividades humanas, incluyendo la introducción de vegetación ribereña, exótica e invasiva (p.ej. sauces en humedales de Australia y sur de África). Con el cambio ambiental continuo (punto clave 7), más humedales estarán probablemente bajo presión, especialmente en los ambientes áridos donde las poblaciones en crecimiento buscan en estos húmedos y productivos paisajes agua, comida y otros recursos (punto clave 10).

En décadas recientes, sin embargo, ha habido también más conciencia sobre la necesidad de conservar y gestionar aquellos humedales que quedan, ya que ha habido un creciente reconocimiento de que los servicios ecosistémicos que proveen los humedales son esenciales para el bienestar humano (punto clave 10) Varias formas de legislación regional, nacional e internacional proveen

un marco para la gestión ambiental, incluyendo los humedales. Por ejemplo, la Convención Ramsar (ver recuadro en página 2) es un acuerdo intergubernamental para proteger a los humedales que se consideran de importancia internacional, mientras que otros humedales han obtenido protección al ser incorporados dentro de parques regionales o nacionales (Figura 18a). Incluso algunos parques son designados en gran medida en base a hábitats humedales, siendo el mejor ejemplo los Parque Nacional Everglades, que incorpora un complejo de pantanos subtropicales en el sur de los USA. Otros ejemplos incluyen el Parque Nacional Etosha, Namibia del norte, y el Parque Nacional Salares de Makgadikgadi, al noreste de Botswana, que están basados alrededor de grandes salinas temporalmente inundadas. Junto con medidas de conservación, también hay esfuerzos para rehabilitar aquellos humedales degradados por actividades humanas. Por ejemplo, el programa South Africa's Working for Wetlands emplea gente rural y pobre para llevar a cabo trabajos de rehabilitación que pueden incluir la restauración del caudal, relleno de las cárcavas, remoción de especies invasoras. En algunos países, más notablemente en los Estados Unidos, existe legislación para crear artificialmente restaurar o mejorar humedales como compensación por aquellos que han sido perdidos por desarrollos agrícolas y urbanos. En algunas áreas urbanas, humedales artificiales están también siendo creados como parte de un sistema sustentable de drenajes urbanos (Figura 18 b), por lo tanto, ayudando a proteger a las personas e infraestructura contra las crecientes amenazas de geoamenazas como inundaciones repentinas (punto clave 9).

En este contexto, la Figura 4 refleja el hecho que, junto a factores geomorfológicos y climáticos, las actividades humanas también tienen una influencia clave en la estructura y funcionamiento de los humedales. Históricamente, estas actividades han tendido a tener principalmente consecuencias negativas, pero también hay ejemplos que ilustran tendencias más positivas.



**Figura 18.** a) la superficie cubierta de sal de la playa en Badwater, California es un importante atractivo turístico para visitar el Parque Nacional Valle de la Muerte (Death Valley National Park). El deshielo, la lluvia y el sedimento son abastecidos desde las montañas circundantes a la depresión tectónica, llevando a inundaciones ocasionales de la playa. Mucha del agua se evapora en el calor intenso, lo que resulta en el crecimiento de los cristales de sal (p. ej halita, calcita, yeso y bórax) y la alteración de los sedimentos cercanos a la superficie. Se necesita un cuidadoso manejo de los crecientes números de visitantes para evitar daños a estas inusuales pero delicadas características de la superficie del humedal (Foto: Stephen Tooth); b) El Parque Natural de los Humedales (The Wetlands Park Nature Preserve) está ubicado al lado de Las Vegas, una de las ciudades que más rápido crece en los Estados Unidos, y consiste de una serie de humedales artificiales que son activamente manejados usando escorrentía superficial, aguas recicladas y estructuras de control de caudal. Los arroyos, estanques y plantas ayudan a restringir la erosión y proveen un hábitat para la vida silvestre, mientras que los senderos y miradores brindan la posibilidad de observar flora y fauna, así como otras oportunidades recreativas. Los altos edificios en The Strip, Las Vegas, se ven a la distancia (Foto: Stephen Tooth).

### ¿Sabías qué...

A través de la historia, la hidrología de muchos humedales de todo el mundo ha sido radicalmente alterada por una combinación de planes de control y desviación del caudal, y drenaje. Estos planes han sido llevados a cabo por varias razones. A partir del siglo 16, operaciones de control de caudal y drenaje cada vez más sofisticadas convirtieron muchos humedales europeos en tierra fértil para la agricultura (p.ej. los Fenlands al este de Inglaterra y grandes áreas de Holanda). Estas tierras continúan protegidas de las inundaciones por sistemas de zanjas, diques, y bombas. En la década de 1930, Benito Mussolini inició extensos trabajos de drenaje en los humedales de la Pontina, ubicada al oeste de Roma, Italia. Alguna vez considerado uno de lugares con más incidencia de malaria en el mundo (entre otros incidentes, la malaria se consideró la responsable por la muerte prematura de varios papas), la Pontina eventualmente se volvió apta para el asentamiento humano. Y al final de las décadas

de 1980 y 1990, las Marismas de la Mesopotamia al sur de Iraq, el humedal más grande en el Medio Oriente y hogar de los Marsh Arabs (los árabes de las marismas) por muchos miles de años, fue sujeto de un gran proyecto de desviación que lo llevó a una desecación generalizada. El antiguo régimen de Saddam Hussein reclamó que el desvío del caudal y drenaje eran necesarios para propósitos agrícolas pero la mayoría de los comentaristas creían que el proyecto era parte de una campaña para aplastar a los insurgentes chiita que operaban en los pantanos. Desde la caída del régimen de Hussein, se han hecho esfuerzos para restaurar las marismas a su anterior estado ecológico. (Source: Desowitz, R.S. 1991. *The Malaria Capers: Tales of Parasites and People*. Norton, New York; Pursglove, J. 1989. *Taming the Flood*. OUP, Oxford; Richardson, C.J. et al. 2005. The restoration potential of the Mesopotamian marshes of Iraq. *Science*, 307: 1307-1311).

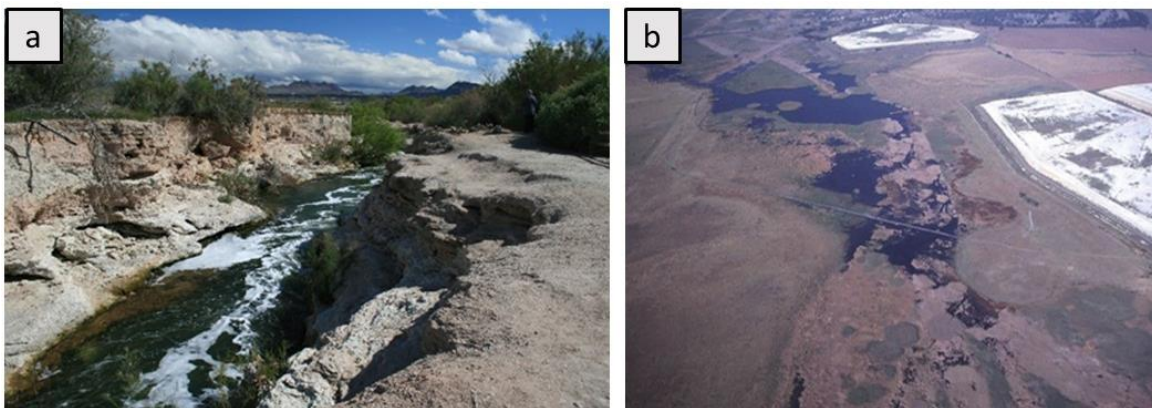
## 9 Los humedales pueden ser vulnerables a los geoamenazas, pero también pueden amortiguar al paisaje en general de sus impactos.

**Tanto el cambio global ambiental como las actividades humanas están aumentando la magnitud y frecuencia de los geoamenazas en humedales (p.ej. inundaciones repentinas, marejadas) que ocurren cuando y donde la estabilidad de la superficie es afectada y se experimentan impactos socioeconómicos adversos.** Creciente evidencia sugiere que el calentamiento de la atmósfera y el aumento en el nivel del mar está probablemente asociado a los aumentos en la magnitud y frecuencia de eventos de clima extremo (p.ej. tormentas eléctricas convectivas, huracanes, ciclones) y peligros asociados. Además de las inundaciones repentinas y marejadas, otros geoamenazas incluyen sequías e incendios forestales. Tales eventos pueden conducir a cambios rápidos, dramáticos en los patrones y tasas de procesos geomorfológicos, posiblemente impactando negativamente en la estructura y funcionamiento de humedales interiores y costeros. (Figura 19<sup>a</sup>), y afectando las actividades humanas asociadas. Otros peligros pueden ser de acción más lenta y menos visibles, como la salinización del suelo como resultado del ascenso gradual de agua subterránea o la diseminación de contaminantes o enfermedades transportados por el agua, pero también pueden llevar a importantes cambios en la estructura y funcionamiento de los humedales, con implicancias también en las actividades humanas.

Aunque algunos humedales pueden ser también vulnerables a los geoamenazas, ellos también

pueden amortiguar al paisaje en general de sus impactos. Por ejemplo, los humedales costeros pueden ayudar a absorber los impactos de marejadas, proveyendo protección para los paisajes y las actividades humanas más lejos dentro. De hecho, se cree ampliamente que los impactos del Huracán Katrina (Agosto 2005) en Nueva Orleans, sur de los Estados Unidos, hubiera sido menos severo si hubiera habido más esfuerzos en prevenir la pérdida y degradación de los humedales costeros en las décadas que precedieron al evento. En el interior, terrenos de poca pendiente inundables humedales, pueden atenuar los picos de inundaciones repentinas y ayudar a atrapar los sedimentos y contaminantes asociados, por lo tanto, proveyendo protección a las áreas río abajo. En Sudáfrica, los humedales al sur de Johannesburgo atrapan un amplio rango de contaminantes asociados con la minería de oro, ayudando a mejorar la calidad del agua para los usuarios río abajo (Figure 19<sup>b</sup>).

Dada la pujante población humana, más y más actividades humanas se están llevando a cabo en áreas que son cada vez más vulnerables a climas extremos y otros geoamenazas, incluyendo áreas costeras bajas y valles de río. Los humedales podrían por lo tanto jugar un rol clave en los enfoques de gestión de tierras que forman parte de estrategias de adaptación al cambio climático más amplias, tanto en áreas rurales como urbanas.



**Figura 19.** Ejemplos de humedales impactados por geoamenazas: a) el canal las Vegas Wash (vista mirando corriente abajo) mostrando la profunda erosión (4-5 m) resultante de las inundaciones repentinas de las décadas de 1980 y 1990. El posterior diseño y construcción del parque The Wetlands Park Nature Preserve adyacente al canal (Figura 18<sup>b</sup>) se debió en parte a la respuesta a los impactos de esta geo amenaza en particular (Foto: Stephen Tooth); b) uno de los numerosos humedales localizados al lado de vertederos de minas de oro (áreas blancas en la imagen de la derecha) al sur de Johannesburgo, Sudáfrica. Los humedales atrapan una gran

variedad de contaminantes que emanan de los vertederos, por ende, previenen la contaminación masiva de aguas superficiales y subterráneas (Foto: Stephen Tooth).

### ¿Sabías qué...

El "Las Vegas Wash" (Figura 19 a) es un canal que drena una de las ciudades que crecen más rápidamente en los Estados Unidos, típicamente transportando 150 millones de US galones (567 millones de litros) de agua por día, incluyendo escorrentía urbana, agua reciclada, aguas superficiales, y escorrentía por precipitación natural. En las décadas de 1980 y 1990, grandes inundaciones repentinas causaron una severa erosión a lo largo del canal y sus humedales asociados, causando daño al hábitat de la vida silvestre y amenazando hogares. En el lago Mead, ubicado corriente abajo del canal, la deposición de sedimento llevó a la formación de un delta, forzando la reubicación de la marina en Las

vegas Bay. En una inundación instantánea en 1999, hubo una crecida de 4,5 billones de galones (17 billones de litros) de agua en un período de 24 horas en este canal, proveyendo suficiente agua para llenar una pileta de natación olímpica cada 3,5 segundos aproximadamente. La subsecuente ingeniería y construcción de Los Humedales Parque Reserva Natural (Figura 18b) fue en parte en respuesta al reconocimiento de la necesidad de administrar estas inundaciones repentinas, y se logró usando fondos de un bono estatal de vida silvestre (Fuente: información de Parks and Recreation, Clark County, Nevada).

**La geomorfología puede jugar un rol fundamental en la gestión de humedales, incluyendo su conservación, restauración y construcción artificial, por ende, ayudando a proteger y facilitar la prestación de servicios ecosistémicos de los humedales.** Los servicios ecosistémicos se definen como los beneficios de los ecosistemas que

contribuyen al bienestar humano, y se pueden categorizar en aprovisionamiento, regulación, asistencia y servicios culturales. La tabla 2 ilustra algunos de los muchos servicios ecosistémicos provistos por los humedales del mundo, incluyendo su influencia a escala local, regional y global.

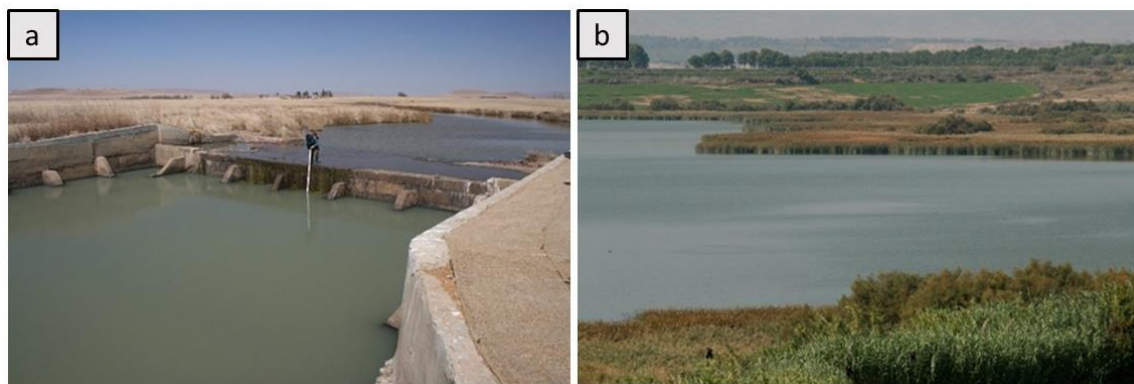
**Tabla 2:** Servicios ecosistémicos y funciones de los humedales del mundo (Fuente: adaptado de Constanza, T. et al. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387: 253-260; Aber, J.S. et al. 2012. *Wetland Environments: A Global Perspective*. Wiley-Blackwell, Chichester. Las categorías de servicios ecosistémicos siguen los criterios de Millenium Ecosystem Assessment 2005. *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Island Press, Washington, D.C.).

Servicios Ecosistémicos	Funciones del Humedal (L= influencia local, R= influencia regional, G= influencia global)	Ejemplos de influencia
<b>Aprovisionamiento</b>		
Suministro de agua	Almacenamiento y retención (L, R)	Humedad del suelo, acuíferos, ríos, estanques, lagos
Producción de alimentos	Producción primaria bruta de alimentos (L, R)	Cultivos, peces, ganado, caza
Materias primas	Producción primaria bruta de materiales (L, R)	Madera, fibra, combustible, forraje
Servicios genéticos	Materiales y productos biológicos únicos (L, R, G)	Medicinas, variedades vegetales y animales, especies ornamentales.
<b>Regulación</b>		
Gases	Composición química de la atmósfera (G)	Almacenamiento de carbono (orgánico e inorgánico)
Clima	Tiempo y clima (L, R, G)	Enfriamiento por evaporación, formación de nubes, emisión de gases de invernadero (dióxido de carbono, metano)
Perturbaciones	Absorción y amortiguación de las respuestas ecológicas y del paisaje ante las geoamenazas (L, R)	Protección contra las marejadas, control de las inundaciones, recuperación ante sequías.
Agua	Flujos hidrológicos (L, R)	Riego, transporte, aplicaciones industriales.
Erosión, sedimentación	Retención de suelos y sedimentos (L, R)	Prevención de la pérdida de suelos y de la sedimentación de estanques, lagos y reservorios
Ecología	Control de las poblaciones de flora y fauna (L, R)	Control de presas por depredadores
<b>Apoio</b>		
Formación de suelo	Procesos de formación de suelo (L)	Meteorización de rocas, acumulación de materia orgánica.
Ciclo de nutrientes	Almacenamiento, procesamiento y transferencia de nutrientes (L, R)	Nitrógeno, potasio y fósforo
Tratamiento de desechos	Recuperación de nutrientes, eliminación de sustancias nocivas (L, R)	Control de la contaminación, desintoxicación
Polinización	Movimiento de gametos florales (L, R)	Polinizadores para la reproducción de las plantas
Refugio	Hábitat para poblaciones residentes y migratorias (L, R, G)	Criaderos, hábitats regionales, rutas migratorias
<b>Culturales</b>		
Recreación	Oportunidades recreativas (L, R, G)	Ecoturismo, observación de aves, pesca deportiva, caza
Cultura	Usos no comerciales (L, R, G)	Valore artístico, estético, espiritual, religioso o científico

Globalmente, pocos humedales permanecen intactos de los efectos directos e indirectos de las actividades humanas (punto clave 8), y es ampliamente reconocido que se necesitan varios grados de gestión para asegurar un "buen uso" o uso sustentable que maximice los servicios ecosistémicos de los humedales a la vez que también los preserve para futuras generaciones. Dadas las múltiples presiones naturales y humanas sobre los humedales, sin embargo, el futuro manejo de los humedales necesitará identificar los balances entre los diferentes servicios ecosistémicos, ya que maximizar algunos servicios inevitablemente compromete otros. ¿Deberían los humedales ser manejados principalmente para servicios de aprovisionamiento (por ejemplo, producción de alimentos), tal vez involucrando diversos grados de conversión para la agricultura y comprometiendo inevitablemente aspectos de los servicios de regulación, apoyo y culturales? ¿Debería tener prioridad la maximización de los servicios de regulación (por ejemplo, mejorando el almacenamiento de carbono o mediante la manipulación del flujo para el beneficio de los usuarios río abajo, Figura 20a)? O en un mundo donde el acceso a la naturaleza se valora cada vez más, ¿deberían administrarse muchos humedales principalmente para la preservación de los servicios culturales (por ejemplo, atractivo estético u oportunidades recreativas, (Figura 20b), y cualquier servicio de aprovisionamiento, regulación o apoyo sea simplemente bienvenido pero indirecto?

Estas preguntas no son fáciles de responder, pero, como ilustra este folleto, la geomorfología sustenta muchos servicios ecosistémicos, y por lo tanto debe ser tomada en cuenta al debatir y diseñar estrategias

de gestión de humedales. Los procesos geomorfológicos moldean la estructura física de los humedales, por lo tanto, influencia los movimientos de agua, sedimento y nutrientes, y proveyendo la pauta sobre la cual ocurren los procesos ecológicos del humedal (puntos clave 1, 2 y 3). Un entendimiento de la geomorfología, especialmente los factores claves, tasas y naturaleza de antiguos cambios en el río, el terreno inundable o el delta (puntos clave 4,5 y 6), pueden ayudar a anticipar futuros cambios indeseados (puntos clave 7 y 8) e informa el uso de los humedales para amortiguar al paisaje total contra climas extremos y otras geoamenazas (punto clave 9). De estas maneras, la geomorfología puede ser usada proactivamente para proteger y facilitar la prestación de servicios ecosistémicos por parte del humedal como parte de las estrategias para un manejo integral de tierras rurales y sistemas de drenaje urbanos sustentables. Idealmente, el manejo se debería basar en permitir la operación de los procesos geomorfológicos naturales, pero incluso donde esto no es posible y donde un grado de gestión se considera necesario (Figura 20), las consideraciones geomorfológicas sustentan intervenciones directas. Por ejemplo, en el caso de los humedales que existen justo a la izquierda del umbral no erosionado/erosionado (Figura 17a), la intervención podría ser requerida para limitar o prevenir la erosión que ocurre en el alto valle. Tal erosión podría llevar a un incremento en la provisión de sedimentos y deposición en el humedal, incrementando localmente la pendiente del humedal y empujando al sistema a través del umbral hacia una condición de erosión, con pérdida de muchos servicios de regulación para los usuarios río abajo.



**Figura 20.** Fotografías ilustrando humedales que están sujetos a diferentes formas de manipulación del caudal: a) el Río Klip, al este de la Provincia del Estado Libre, Sudáfrica, que muestra uno de los embalses que ha sido instalado para controlar la erosión del cauce y el aumento de los niveles del agua en el canal y los terrenos inundables circundantes. Tales embalses interfieren con el proceso natural de flujo y transporte de sedimentos, pero juegan un rol vital en el mejoramiento de la calidad del agua que entra el Río Vaal, en la parte baja del valle, el cual a su vez provee a los importantes centros agrícolas, mineros, industriales y urbanos de la Provincia de Gauteng (Foto: Stephen Tooth); b) La laguna de Sariñena, región de Monegros al noreste de España. En el clima árido, el agua del lago es, en su mayoría, derivada de la escorrentía de riego, y el nivel es artificialmente mantenido para el beneficio de la biodiversidad y las oportunidades recreativas asociadas (Foto: Stephen Tooth).

---

### ¿Sabías qué...

La Laguna de Sariñena (Figura 20b) está ubicada en el drenaje que divide los ríos Alcanadre y Flumen en la región de Monegros, noreste de España. En el pasado, era una salina que se inundaba efímeramente (playa) pero desde la década de 1960 en adelante, desarrollos de irrigación en los alrededores significaron que ésta se convirtiera en un sumidero para el exceso de agua, llevando a condiciones de inundación permanente y a una reducción de la salinidad. Un canal de drenaje fue construido para mantener un nivel de agua regular (2,35 m de profundidad máxima) y una extensión

área (cerca de 2014 hectáreas) al drenar el exceso de agua. Con agua permanente, la vegetación se estableció alrededor de las márgenes y los peces colonizaron, y desde entonces, este humedal gestionado se ha convertido en un imán para aves acuáticas residentes y migratorias. En 1995, se le dio a la laguna el estado de Refugio de Vida Silvestre y en 2001 fue declarada un Área de Protección Especial para Aves. En años recientes, la laguna ha ganado importancia por su gran población de avetoros. (Fuente: folletos de información del Ayuntamiento de Sariñena, Diputación Provincial de Huesca).

---

## ¿Hay casos de estudio reales en dónde el conocimiento de la geomorfología de los humedales ha probado ser relevante o útil?

A pesar de que los términos "geomorfología" y "humedales" no son comúnmente usados explícitamente, la geomorfología a veces sustenta la cobertura de temas de humedales en artículos de media online. Una selección de la BBC incluye:

2015

**Panama protects wetlands from construction boom**  
**Panamá protege a los humedales del boom de la construcción**  
[www.bbc.co.uk/news/world-latin-america-31351625](http://www.bbc.co.uk/news/world-latin-america-31351625)

**Norfolk and Suffolk Broads to be renamed 'national park'**  
**Norfolk and Suffolk Broads serán renombrados "parques nacionales"**  
[www.bbc.co.uk/news/uk-england-30952369](http://www.bbc.co.uk/news/uk-england-30952369)

**Waiting for the sea (Aral Sea immersive website)**  
**Esperando el Mar (Mar Aral sitio web inmersivo)**  
[www.bbc.co.uk/news/magazine-31588720](http://www.bbc.co.uk/news/magazine-31588720)

2014 y  
anteriores

**Virginia's dying marshes and climate change denial**  
**Los pantanos moribundos de Virginia y la negación del cambio climático**  
[www.bbc.co.uk/news/magazine-17915958](http://www.bbc.co.uk/news/magazine-17915958)

**West Sussex river re-routed to create wetland habitat**  
**El río West Sussex redirigido para crear un hábitat humedal**  
[www.bbc.co.uk/news/uk-england-sussex-11642278](http://www.bbc.co.uk/news/uk-england-sussex-11642278)

**Mangroves offer win-win opportunity**  
**Los manglares ofrecen una oportunidad de ganar o ganar**  
[www.news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/8893767.stm](http://www.news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/8893767.stm)

**Call for regeneration of Wetlands to fight climate change**  
**Un llamado a la regeneración de los humedales para pelear contra el cambio climático**  
[www.news.bbc.co.uk/1/hi/uk/7492056.stm](http://www.news.bbc.co.uk/1/hi/uk/7492056.stm)



## ¿A dónde puedo acudir por más información?

La Wetlands in Drylands Research Network incluye a un grupo de científicos internacionales quienes reconocen que la geomorfología de los humedales es un importante tema de estudio, particularmente dado que los humedales y sus servicios ecosistémicos enfrentan muchas amenazas.

[wetlandsindrylands.net](http://wetlandsindrylands.net)

La Society of Wetlands Scientists es una organización internacional de más de 3000 profesionales de los humedales dedicados a fomentar una base científica para la educación y el manejo de los humedales.

[www.sws.org](http://www.sws.org)

La Convención Ramsar sobre los Humedales es el más antiguo de los acuerdos ambientales intergubernamentales mundiales, y provee el marco para la acción nacional e internacional y la colaboración para la conservación y buen uso de los humedales y sus recursos. Actualmente, hay 168 colaboradores con 2186 sitios Ramsar designados en todo el mundo, detalles de los cuales pueden ser obtenidos a través del mapa interactivo del sitio. ([www. Ramsar.org/sites-countries/the-ramsar-sites](http://www.Ramsar.org/sites-countries/the-ramsar-sites)).

[www.ramsar.org](http://www.ramsar.org)

Muchas organizaciones nacionales e internacionales están dedicadas a apoyar y promover la geomorfología, incluyendo la BSG, British Society for Geomorphology; la SAAG, Southern African Association of Geomorphologists; el ANZGG, Australian and New Zealand Geomorphology Group y la IAG, International Association of Geomorphologists.

## ¿Qué recomendarías como lectura introductoria?

Los siguientes libros proveen muy buenas introducciones a la ciencia de los humedales y temas de gestión, a pesar de que en muchos casos el énfasis tiende a ser sobre los procesos hidrológicos, químicos del suelo y ecológicos de corto plazo, en lugar de los procesos geomorfológicos o climáticos de largo plazo que influyen en el desarrollo de los humedales:

Aber, J.S., Pavri, F. and Aber, S. 2012. Wetland Environments: A Global Perspective. Wiley-Blackwell, Chichester, 437 pp.

Mitsch, W.J. and Gosselink, J.G. 2015. Wetlands (5<sup>th</sup> ed). Wiley, New York. 744 pp.

Mitsch, W.J., Gosselink, J.G. Zhang, L. and Anderson, C.J. 2009. Wetland Ecosystems. Wiley, Chichester, 256 pp.

## ¿Qué recursos online existen?

Estas viñetas son casos de estudio electrónicos independientes que enseñan acerca de la geomorfología y temas relacionados. Una búsqueda de palabras en "wetlands" revelará muchos casos de estudio que ilustran la importancia de la geomorfología para entender la estructura, funcionamiento y dinámicas de los humedales, p.ej.:

**Vignettes: Key Concepts in Geomorphology**  
Viñetas: Conceptos Clave en geomorfología  
<http://serc.carleton.edu/vignettes/index.html>  
[Última fecha de acceso: 15 de mayo de 2015]

**Artesian blister wetlands, the intersection of geomorphology and hydrogeology**  
Humedales de pozos artesianos, la intersección entre la geomorfología y la hidrogeología  
<http://serc.carleton.edu/60239>

**Beneath the surface of coastal lowlands: archives of mid-to late-Holocene subduction zone earthquakes**  
Bajo la superficie de las tierras bajas costeras: archivos de los terremotos de la zona de subducción del Holoceno medio a tardío  
<http://serc.carleton.edu/42738>

**Floodouts, drainage breakdown and wetland formation in a losing river in Eastern Australia**  
Inundaciones, colapso del drenaje y formación de humedales en un río influente en el este de Australia  
<http://serc.carleton.edu/35887>

**Floodplain chronology of the Stillerust Vlei, Mooi River floodplain wetland, in western KwaZulu-Natal, South Africa**  
Cronología de la llanura de inundación del humedal de Stillerust Vlei, Mooi River, en el oeste de KwaZulu-Natal, Sudáfrica  
<http://serc.carleton.edu/60232>

**How is Everglades geomorphology like that of arid Australian rivers and boreal bogs?**  
¿En qué se parecen la geomorfología de los Everglades con la de los ríos de zonas áridas de Australia y la de las ciénagas boreales?  
<http://serc.carleton.edu/69109>

**Natural and anthropogenic impacts on a freshwater wetland, Lake Bogoria, Kenya**  
Impactos naturales y antropogénicos en un humedal de agua dulce, Lago Bogoria, Kenia  
<http://serc.carleton.edu/60230>

10 razones por las cuales la

# Geomorfología de los Humedales

es importante



Climate Change Consortium of Wales  
*Consortiwm Newid Hinsawdd Cymru*