

BIOTHAW: Un proyecto multidisciplinario que propone un marco metodológico para el estudio de los bofedales altoandinos en un contexto de cambio climático

BIOTHAW: A multidisciplinary project proposing a methodological framework for the study of high-Andean wetlands in the context of climate change

Olivier Dangles^{1*}, Rosa Isela Meneses² & Fabien Anthelme^{2,3*}

¹Institut de Recherche pour le Développement (IRD), UR 072, Laboratoire Evolution, Génomes et Spéciation, UPR 9034, Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), 91198 Gif-sur-Yvette Cedex, France et Université Paris-Sud 11, 91405 Orsay Cedex, France.

²Museo Nacional de Historia Natural, Casilla 8706, La Paz, Bolivia

³Institut de Recherche pour le Développement (IRD), UMR AMAP (Botanique et Bioinformatique de l'Architecture des Plantes), Boulevard de la Lironde, TA A-51/PS2, F-34398 Montpellier Cedex 5, Francia.

*Autores de correspondencia: olivier.dangles@ird.fr, fabien.anthelme@ird.fr

Resumen

A pesar que las montañas tropicales son uno de los biomas más amenazados del mundo, es escasa la investigación fundamental y aplicada sobre los efectos de los cambios globales en la biodiversidad y los beneficios de los ecosistemas. Las zonas húmedas de los ambientes altoandinos tropicales - los bofedales - son espacios verdes dentro de una matriz árida que concentran una rica biodiversidad y variedad de beneficios asociados (almacenamiento de carbono, regulación de agua y producción de ganado), de los que dependen millones de personas. Estos frágiles ecosistemas están amenazados por la rapidez del derretimiento de los glaciares de los cuales dependen significativamente. El proyecto BIOTHAW - *Biodiversidad e interacciones de uso de los suelos frente a la evolución de la disponibilidad de agua de los glaciares en las zonas húmedas de los Andes tropicales* - tiene por objetivo desarrollar un marco de modelización para establecer escenarios de biodiversidad y uso de las tierras en un contexto de cambios globales. El enfoque del proyecto integra tres componentes: 1) la modificación de los aportes de agua glaciares a las zonas húmedas, 2) la biodiversidad (animal y vegetal) de estas zonas y 3) las prácticas de cultivo (patrones de utilización de las tierras, dinámica de las estructuras de la ganadería). Nutridos por escenarios climáticos y socioeconómicos, los diferentes modelos combinados con mapas de distribución de las zonas húmedas permitirán establecer escenarios de la biodiversidad y los servicios de los bofedales, con el fin de definir zonas prioritarias de conservación.

Palabras clave: Biodiversidad, Cordillera Real, Humedales, Retroceso glaciar, Socio-ecosistemas.

Abstract

While tropical mountains are one of the most threatened biomes of the world, there is a lack of basic and applied research examining the effects and linkages of global change with mountain tropical biodiversity and services. Green islands in an arid mountainous environment, tropical high Andean wetlands (THAW) or bofedales, concentrate high levels of biodiversity and associated

services (e.g., carbon storage, water regulation, and livestock production) for hundreds of thousands of people. These fragile social-ecological systems are threatened by the rapid melting of glaciers on which they tightly depend. The BIOTHAW “Modeling Biodiversity and land use interactions under changing glacial water availability in Tropical High Andean Wetlands” project aims to develop a modeling framework setting up scenarios of biodiversity-land use interactions as a result of global change-induced modifications. This framework will integrate three components: 1) glacier changes and water run-off inputs to wetlands, 2) wetland biodiversity, including both plant and animal communities, and 3) land management practices (land use patterns, land ownership structures and dynamics for livestock production). Fed with both climate and socioeconomical scenarios, our models, combined with distribution mapping of Bolivian wetlands from satellite observations, will allow building scenarios of the future of THAW biodiversity and services and define priority conservation areas.

Key-words: Biodiversity, Cordillera Real, Glacier melting, Socio-ecosystems, Wetlands.

Cambio climático, biodiversidad y sociedades en los Andes tropicales

En la actualidad, existe una escasez de metodologías cuantitativas y modelos para relacionar los efectos de los cambios globales (cambio de uso de la tierra, cambio climático) sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, y sus consecuencias para la adaptación de las poblaciones humanas, lo que determina límites importantes para implementar políticas públicas eficientes (Leadley *et al.* 2010, Kelley & Evans 2011, Faye *et al.* 2014).

El cambio climático afecta profundamente a la biodiversidad a nivel mundial. Se ha probado que éste ha generado transformaciones rápidas en la abundancia y distribución de las especies (Pounds *et al.* 2006, Jacobsen *et al.* 2012), causando extinciones locales y modificaciones importantes en la estructura de las comunidades (Parmesan & Yohe 2003); esto ha alterado el funcionamiento de los ecosistemas y servicios ambientales (Seimon *et al.* 2009), que de manera general amenaza al bienestar de las poblaciones humanas, especialmente las que dependen directamente de estos servicios (Jones *et al.* 2008). Este fenómeno es relativamente bien estudiado en el hemisferio norte, pero existen menos estudios en los trópicos, donde está concentrada la mayor parte de la biodiversidad del planeta

y los cambios ambientales ocurren a un ritmo acelerado, por lo que las poblaciones humanas pobres tienen pocas opciones para enfrentar los retos del cambio climático (Parry *et al.* 2007, Crespo-Perez *et al.* 2014). Esta problemática es aún más crítica en los ecosistemas de montaña, como los de los altos Andes tropicales que sufren al mismo tiempo de una intensificación del uso del suelo y de los efectos del cambio climático, muy perceptibles y acelerados en estas regiones (Anthelme *et al.* 2014a, Herzog *et al.* 2010). De hecho, en estas regiones, la magnitud del calentamiento global es comparable a la que está prevista en las regiones polares (Bradley *et al.* 2006). Las consecuencias del cambio climático en los Andes tropicales es un tema muy preocupante debido a la alta diversidad de especies y ecosistemas que alberga esta región de la que depende directamente una densa población humana (Vuille *et al.* 2008, Céleri & Feyen 2009, Buytaert *et al.* 2011). Por ejemplo, se estima que más de 40 millones de personas dependen directamente de los recursos naturales (especialmente el agua) proveídos por los ecosistemas altoandinos (Josse *et al.* 2009). En este contexto, es necesario desarrollar nuevas herramientas para definir estrategias de manejo adaptativo de estos ecosistemas, específicamente modelos que puedan abarcar la complejidad de los efectos de los cambios globales, incluyendo a la vez el componente

físico, biológico y social que constituyen los socio-ecosistemas de los Andes tropicales (Greenwood 2008, Perez *et al.* 2010, Rebaudo & Dangles 2013).

Humedales y bofedales como ecosistemas de estudio

En este contexto, los humedales altoandinos aparecen como un modelo ideal de investigación para el desarrollo de un marco metodológico general para la modelación de las consecuencias del cambio climático sobre los socio-ecosistemas. Aunque los humedales cubren menos del 3% de la superficie de la Tierra, contribuyen hasta el 40% de los servicios ecosistémicos

que provee al planeta durante un año (Zedler & Kercher 2005). Además, los humedales son los ecosistemas terrestres más amenazados en el mundo, ya que han perdido a nivel mundial más del 50% de su área original (Daniels & Cumming 2008). Los humedales son unos de los sistemas más productivos del planeta (Daily 1997) y en muchos lugares del mundo permiten el desarrollo de las actividades humanas y constituyen sistemas socio-ecológicos muy complejos. En el caso de los humedales tropicales altoandinos (conocidos localmente como bofedales, ver Fig. 1), constituyen unos de los ecosistemas alpinos más diversos de las montañas en los trópicos con un elevado número de plantas



Figura 1. Paisaje de bofedales en cuatro valles de la Cordillera Real. a. Milluni, b. Huayna Potosi, c. Tuni y d. Hichu Khota.

endémicas (Luteyn & Churchill 2000). Como son humedales dentro de un ambiente árido (en inglés: *wetlands in drylands*), concentran muchos servicios ambientales para centenas de miles de pequeños agricultores, tales como praderas para la producción de ganado (alpacas, llamas y ovejas) especialmente durante la época seca (Buttolph & Coppock 2004), hábitat para la fauna y flora con muchas especies amenazadas (Fjeldsa 1981, Squeo *et al.* 2006), regulación de la descomposición de la materia orgánica que influencia al ciclo del carbono a nivel regional y la filtración y regulación del abastecimiento en agua (Gibbon *et al.* 2010, Segnini *et al.* 2010). Los bofedales sin duda representan uno de los ecosistemas más vulnerables en el mundo, ya que su localización y fragmentación dentro de una matriz ambiental seca (*continental insularity*; Anthelme *et al.* 2014b) son extremadamente sensibles al cambio climático (cambio del caudal de los glaciares, impacto de la elevación de las temperaturas) y al disturbio humano (cambio del uso del suelo, quema, actividad minera, drenaje; Squeo *et al.* 2006).

El proyecto BIOTHAW

El proyecto “*Modelación de la biodiversidad e interacción con el uso del suelo bajo los cambios en la disponibilidad del agua de glaciar en los humedales altoandinos tropicales*” (BIOTHAW, THAW = *Tropical High Andean Wetlands*; también significa “derretimiento” en inglés) pretende estudiar el efecto del retroceso de los glaciares sobre la disponibilidad de agua, biodiversidad, y actividades pecuarias en los humedales de la cordillera Real de Bolivia. Se trata de un proyecto transdisciplinario que implica una importante comunidad de investigadores y de actores, desde antropólogos, sociólogos, glaciólogos, ecólogos y modeladores basados en agentes, administradores de recursos y también la participación de las comunidades campesinas locales. A partir de escenarios climáticos, socioeconómicos y cartográficos para la distribución de los humedales basándose

en observaciones satelitales, nuestros modelos permitirán reconstruir escenarios sobre la biodiversidad y servicios e identificar las áreas prioritarias de conservación en función de los parámetros regionales, tales como la cubierta de hielo, el área de los humedales y las prácticas de uso del suelo. A continuación, presentamos los diferentes componentes del proyecto BIOTHAW en base a la figura 2 para presentar de manera sintética la articulación interna (números entre corchetes). Además, referimos en el texto a las publicaciones que constituyen este número especial y que detallan temáticas claves del proyecto.

Para cumplir con los objetivos del proyecto BIOTHAW, se necesita obtener datos de la evolución reciente (desde hace 30 años) de los glaciares y del área de los bofedales con la ayuda de imágenes satelitales (ver el artículo de Zeballos *et al.* en este número especial). De hecho, el retroceso de los glaciares genera transitoriamente un cambio en la escorrentía de los ríos (capítulo 1 con la referencia citada antes que los Agradecimientos en el presente capítulo, Fig. 2) que alimentan los bofedales por la pérdida de masa glaciar: este caudal aumenta al inicio del derretimiento y va disminuyendo a medida que el glaciar se hace más pequeño (Baraer *et al.* 2012). Estos cambios de flujo de agua posiblemente pueden tener un efecto en el área y en la cantidad de agua superficial de los bofedales (2) y por consiguiente afectar a la biodiversidad de los bofedales (3). De hecho, la relación especie-área indica que en áreas más grandes existe mayor diversidad de especies que en áreas más pequeñas (Preston 1962), debido a que en áreas más grandes existe mayor heterogeneidad ambiental que da lugar a una mayor diversidad de hábitats y nichos para las especies (Palmer 2007). Sin embargo, en el caso específico de las plantas, las comunidades de bofedales están estrechamente relacionadas con el tipo de plantas dominantes (Ruthsatz 2012), lo que podría llegar a una ausencia de relación entre área y diversidad (Munoz *et al.* 2014). Se estudiaron tres grupos taxonómicos

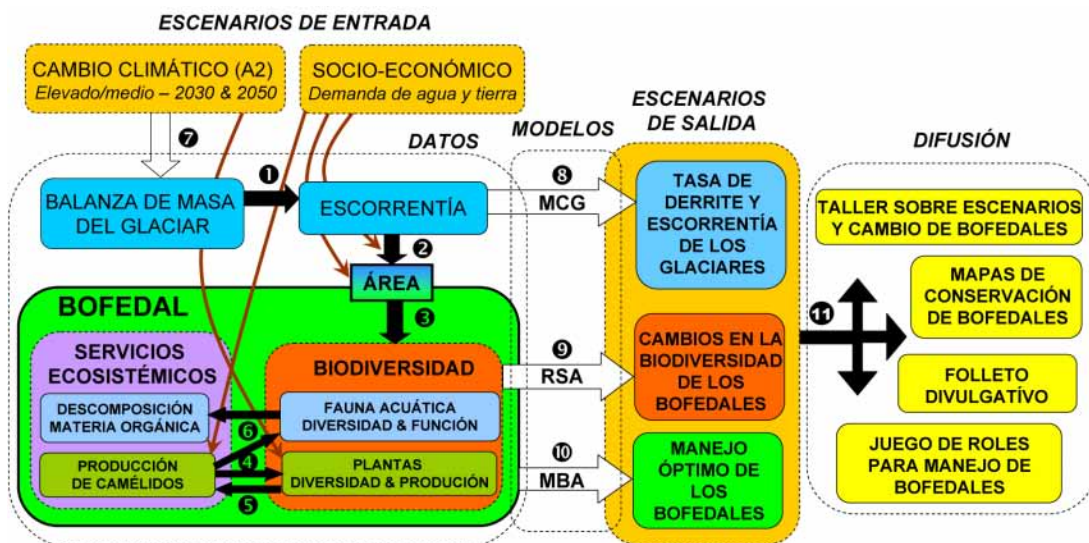


Figura 2. Esquema general del proyecto BIOTHAW.

principales dentro del proyecto BIOTHAW: las plantas terrestres (ver Zimmer *et al.* y Meneses *et al.* en este número especial), las comunidades de invertebrados acuáticos (ver Gonzales *et al.* en este número especial) y las aves (ver dos capítulos de Naoki *et al.* en este número especial). La organización de estas comunidades se puede medir a varias escalas espaciales (ver Munoz *et al.* en este número especial) y está estrechamente relacionada con los servicios ambientales proveídos por los bofedales: la composición florística de los bofedales esta afecta por los camélidos (4) (ver García *et al.* en este número especial) y viceversa (5) (ver Cochi *et al.* en este número especial). También esta producción de ganado puede afectar a la calidad del agua de los bofedales y las comunidades de invertebrados asociadas (6). Datos adicionales sobre el socio-ecosistema “bofedales” incluyen la dimensión social (organización, dinámicas, redes, valores) de las personas que dependen en algún grado de estos ecosistemas (ver Hoffmann *et al.* en este número especial).

Una vez que se han obtenido los datos, se puede seguir con la parte de modelación. En el caso de BIOTHAW, se pretende trabajar con modelos de comportamiento de los glaciares (MGC, Hall & Fagre 2003) en (8), de modelos de relación entre riqueza especies y área (RSA, He & Hubbell 2011) en (9) y modelos multiagentes (MBA, ver Rebaudo & Dangles en este número especial) en (10). A partir de escenarios de cambio climático y los socio-económicos (7) se pueden generar escenarios de salidas y proponer predicciones en términos de tasa de derretimiento de los glaciares, cambios posibles de la biodiversidad y manejo ganadero óptimo de los bofedales.

En fin, cabe recalcar que BIOTHAW es un proyecto pluridisciplinario que reúne no solamente a científicos en ciencias de la tierra, medioambientales y sociales, sino también a los portadores de riesgos (en inglés: *stakeholders*) y sus redes (por ejemplo, instituciones públicas de protección de áreas protegidas, comunidades de campesinos). En este contexto, la difusión de los resultados es importante (11) y comprenderá

varios productos desde folletos divulgativos, mapas para definir zonas de conservación prioritarias a partir de parámetros regionales, talleres y juegos de roles con los portadores de riesgos y sus redes, incluyendo actores clave de los bofedales a nivel regional, nacional y local. Se podrá seguir el desarrollo de estos productos en el sitio web del proyecto www.biothaw.ird.fr. Nuestra esperanza es que se puedan tomar decisiones pertinentes en varias escalas, a partir de escenarios desarrollados en este proyecto. La lista de publicaciones que incluye este número especial de Ecología en Bolivia es la siguiente:

- 1 Cochi, N., G. Prieto, O. Dangles, A. Rojas, C. Ayala, B. Condoriri & J. Casazola. 2014. Metodología para evaluar el potencial productivo y la dinámica socioecológica de la ganadería en bofedales altoandinos.
- 2 García, C., R. I. Meneses, K. Naoki & F. Anthelme. 2014. Métodos para examinar el efecto del pastoreo sobre las comunidades vegetales de los bofedales.
- 3 Gonzales, K., E. Quenta, J. Molina-Rodriguez, O. Dangles & D. Jacobsen. 2014. Cuantificación de la diversidad y estructura biológica de pozas de agua en bofedales altoandinos frente al cambio climático.
- 4 Hoffmann, D., R. Tarquino & J. Corro Ayala. 2014. Métodos para caracterizar la dinámica de funcionamiento de los sistemas socio-ecológicos asociados a los bofedales altoandinos (Cordillera Real, Bolivia).
- 5 Meneses, R. I., S. Loza Herrera, A. Lliully, A. Palabral & F. Anthelme. 2014. Método para cuantificar diversidad y productividad de los bofedales frente al cambio climático.
- 6 Munoz, F., F. Anthelme & V. Ravel. (2014). Procesos ecológicos a múltiples escalas que afectan a las dinámicas de comunidades de plantas en los humedales altoandinos de Bolivia.
- 7 Naoki, K., C. M. Landivar & M. I. Gómez. 2014. Monitoreo de las aves para detectar el cambio de la calidad ecosistémica en los bofedales altoandinos.
- 8 Naoki, K., R. I. Meneses, M. I. Gomez & C. M. Landivar. 2014. El uso del método de puntos de intercepción para cuantificar los tipos de vegetación y los hábitats abióticos en los bofedales altoandinos.
- 9 Rebaudo, F. & O. Dangles. 2014. Un modelo socio-ecológico para establecer escenarios de dinámica de bofedales frente a los cambios globales.
- 10 Zeballos, G., A. Soruco, D. Cusicanqui, R. Joffré & A. Rabatel. 2014. Uso de imágenes satelitales, modelos digitales de elevación y sistemas de información geográfica para el análisis de la dinámica espacial de glaciares y humedales de alta montaña en Bolivia.
- 11 Zimmer, A., R. I. Meneses, A. Rabatel, A. Soruco & F. Anthelme. 2014. Caracterizar la migración altitudinal de las comunidades vegetales alto-andinas frente al calentamiento global mediante cronosecuencias post-glaciales recientes.

Agradecimientos

Agradecemos al Fond Français pour l'Environnement Mondial (FFEM) y a la Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité (FRB) por el apoyo y financiamiento del proyecto "Modeling Biodiversity and land use interactions under changing glacial water availability in Tropical High Andean Wetlands" (BIOTHAW, AAP-SCEN-2011-II). Agradecemos también a Mónica Moraes por su invitación a preparar este número especial de Ecología en Bolivia.

Referencias

Anthelme F., L. A. Cavieres & O. Dangles. 2014a. Facilitation among plants in alpine environments in the face of climate change. *Frontiers in Plant Science* 5(1): 387. doi:10.3389/fpls.2014.00387.

Anthelme, F., D. Jacobsen, P. Macek, R. I. Meneses, P. Moret, S. Beck & O.

- Dangles. 2014b. Biodiversity patterns and continental insularity in the high tropical Andes. *Arctic, Antarctic and Alpine Research* 46: 611-628.
- Baraer, M., B. G. Mark, J. M. McKenzie, T. Condom & S. Rathay. 2012. Glacier recession and water resources in Peru's Cordillera Blanca. *Journal of Glaciology* 58: 134-150.
- Bradley R. S., M. Vuille, H. F. Diaz & W. Vergara. 2006. Threats to water supplies in the Tropical Andes. *Science* 312: 1755-1756.
- Buttolph, L. P. & L. Coppock. 2004. Influence of deferred grazing on vegetation dynamics and livestock productivity in an Andean pastoral system. *Journal of Applied Ecology* 41: 664-674.
- Buytaert W., F. Cuesta-Camacho & C. Tobón. 2011. Potential impacts of climate change on the environmental services of humid tropical alpine regions. *Global Ecology and Biogeography* 585: 19-33.
- Céleri R. & J. Feyen. 2009. The hydrology of tropical Andean ecosystems: importance, knowledge status, and perspectives. *Mountain Research and Development* 29: 350-355.
- Crespo-Pérez V., J. Régnière, I. Chuine, F. Rebaudo & O. Dangles. 2014. Changes in the distribution of multispecies pest assemblages affect levels of crop damage in warming tropical Andes. *Global Change Biology*: DOI: 10.1111/gcb.12656.
- Daily, G. C. 1997. What are ecosystem services? pp. 1-10. En: Daily, G. C. (ed.) *Nature's Services*. Island Press, Washington D.C.
- Daniels, A. E. & G. S. Cumming. 2008. Conversion or conservation? Understanding wetland change in northwest Costa Rica. *Ecological Applications* 18: 49-63.
- Faye, E., M. Herrera, M. Bellomo, J. F. Silvain & O. Dangles. 2014. Strong discrepancies between local temperature mapping and interpolated climatic grids in tropical mountainous agricultural landscapes. *PLoS One* 9(8): e105541.
- Fjeldsa, J. 1985. Origin, evolution, and status of the avifauna of Andean wetlands. *Ornithological Monographs* 36: 85-112.
- Gibbon, A., M. R. Silman, Y. Malhi, J. B. Fisher, P. Meir, M. Zimmermann, G. C. Dargie, W. R. Farfan & K. C. Garcia. 2010. Carbon storage across the grassland-forest transition in the high Andes of Manu national park, Peru. *Ecosystems* 13: 1097-1111.
- Greenwood, G. 2008. Why mountains matter. *International Human Dimensions Programme* 2: 4-6.
- Hall, M. H. P. & D. B. Fagre. 2003. Modeled climate-induced glacier change in Glacier national park. *Bioscience* 53: 131-140.
- He, F. L. & S. P. Hubbell. 2011. Species-area relationships always overestimate extinction rates from habitat loss. *Nature* 473: 368-371.
- Herzog, S. K., R. Martinez, P. M. Jørgensen & H. Tiessen. 2011. Climate Change and Biodiversity in the Tropical Andes. Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) and Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE), Sao José dos Campos. 348 p.
- Jacobsen, D., A. M. Milner, L. E. Brown & O. Dangles. 2012. Biodiversity under threat in glacier-fed river systems. *Nature Climate Change* 2: 361-364.
- Jones, K. E., N. G. Patel, M. A. Levy, A. Storeygard, D. Balk, J. L. Gittleman & P. Dasza. 2008. Global trends in emerging infectious diseases. *Nature* 451: 990-994.
- Josse, C., F. Cuesta, G. Navarro G, V. Barrena, E. Cabrera, E. Chacón-Moreno, W. Ferreira, M. Peralvo, J. Saitoy & A. Tovar 2009. Ecosistemas de los Andes del norte y centro. Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela. Secretaría General de la Comunidad Andina, Lima. 100 p.
- Kelley, H. & T. Evans. 2011. The relative influences of land-owner and landscape

- heterogeneity in an agent-based model of land-use. *Ecological Economics* 70: 1075-1087.
- Leadley, P., H. M. Pereira, R. Alkemade, J. F. Fernandez-Manjarres, V. Proenca, J. P. W Scharlemann & M. J. Walpole. 2010. Biodiversity Scenarios: Projections of 21st century change in biodiversity and associated ecosystem services. Secretariat of the CBD, Montreal. Technical Series no. 50. 132 p.
- Lutelyn, J. L. & S. P. Churchill. 2000. Vegetation of the tropical Andes: an overview. pp. 281-310. En Lentz, D. L. (ed.) *An Imperfect Balance: Landscape Transformations in the Pre-Columbian Americas*. Columbia University Press, Nueva York.
- Palmer, M. 2007. Species-area curves and the geometry of nature. pp. 15-31. En: Storch, D. P. Marquet & J. Brown (eds.) *Scaling Biodiversity*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Parmesan, C. & G. Yohe. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421: 37-42.
- Parry, M. L. (Ed.) 2007. *Climate Change 2007: impacts, adaptation and vulnerability: contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Vol. 4)*. Cambridge University Press, Cambridge. 937 p.
- Pounds, J. A., M. R. Bustamante, L. A. Coloma, J. A. Consuegra, M. P. Fogden, N. P. Foster, & B. E. Young. 2006. Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming. *Nature* 439: 161-167.
- Perez, C., C. Nicklin, O. Dangles, S. Vanek, S. Sherwood, S. Halloy & G. Forbes. 2010. Climate Change in the high Andes: implications and adaptation strategies for small scale farmers. *International Journal of the Environmental, Cultural, Economical and Social Sustainability* 6: 78-88.
- Preston, F. 1962. The canonical distribution of commonness and rarity: Part I. *Ecology* 43: 185-215.
- Rebaudo, F. & O. Dangles. 2013. An agent-based modeling framework for integrated pest management dissemination programs. *Environmental Modelling and Software* 45: 141-149.
- Ruthsatz, B. 2012. Vegetación y ecología de los bofedales altoandinos de Bolivia. *Phytoecologia* 42: 133-179.
- Segnini, A., A. Posadas, R. Quiroz, D. M. B. P. Milori, S. C. Saab, L. M. Neto & C. M. P. Vaz. 2010. Spectroscopic assessment of soil organic matter in wetlands from the high Andes. *Soil Science Society of America Journal* 74(6): 2246-2253.
- Simon, A., K. Yager, T. Seimon, S. Schmidt, A. Grau, S. Beck & S. Halloy. 2009. Changes in Biodiversity Patterns in the High Andes - Understanding the Consequences and Seeking Adaptation to Global Change. *Mountain Forum Bulletin* 9: 25-27.
- Squeo, F. A., B. G. Warner, R. Aravena & D. Espinoza. 2006. Bofedales: high altitude peatlands of the central Andes. *Revista Chilena de Historia Natural* 79: 245-255.
- Vuille, M., B. Francou, P. Wagnon, I. Juen, G. Kaser, B.G. Mark & R.S. Bradley. 2008. Climate change and tropical Andean glaciers: Past, present and future. *Earth Science Reviews* 89: 79-96.
- Zedler, J. B. & S. Kercher. 2005. Wetland resources: status, trends, ecosystem services, and restorability. *Annual Review of Environmental Resources* 30: 39-74.