

CUADRO 5

Cambio climático pasado y escenarios futuros en las Yungas

Gonzalo Torres¹; Liliána Lupo¹; Pamela Fierro¹; Elizabeth Pereira¹; Flavio Speranza²; Silvia Pacheco³; Lucio Malizia³; Natalia Politi¹.

¹Instituto de Ecorregiones Andinas, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Universidad Nacional de Jujuy, Argentina. ²Estación Experimental de Cultivos Tropicales Yuto, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina. ³Fundación ProYungas, Argentina.

La variabilidad climática puede afectar dramáticamente las características de la estructura y dinámica de los bosques y producir una expansión o retracción del área de distribución de distintas especies de las comunidades de los bosques. Comprender la dinámica de la vegetación en el pasado en función de los cambios climáticos ayuda a entender el presente y elaborar estrategias de manejo para el futuro. Las reconstrucciones paleoclimáticas en las Yungas han permitido establecer que en tiempos pasados la vegetación ha respondido sensiblemente a la variabilidad climática. Estas reconstrucciones paleoclimáticas se realizaron sobre archivos sedimentarios de lagunas, turberas y perfiles aluviales que contienen polen fósil (figura 12.13 d) del Cuaternario Tardío en los Andes del noroeste argentino, la mayoría de ellos ubicados en sectores a más de 3200 m s.n.m. Las secuencias más antiguas abarcan los periodos preúltimo máximo glacial (hace 29.000 años atrás) en las serranías de Aparzo, provincia de Jujuy y el tardiglacial (hace 18.000 años atrás) en la serranía de Santa Victoria, provincia de Salta. En estas secuencias, se observaron elevados contenidos de polen de *Juglans australis*, *Alnus acuminata* y *Podocarpus parlatorei*, transportados por el viento (Torres *et al.*, 2016). En el registro fósil del Holoceno (en los últimos 10.000 años) de la cuenca del río Yavi en la provincia de Jujuy (Lupo *et al.*, 2016), en Abra del Infiernillo y Tafí del Valle en la provincia de Tucumán (Lupo, 1990; Garralla, 2003, Grill *et al.*, 2013), y en el valle el Bolsón en la provincia de Catamarca (Kulemeyer *et al.*, 2013), se documentaron secuencias con

aumento de polen arbóreo asociado a episodios húmedos como respuesta a la intensificación de vientos del este. En contraste, en la cuenca del río Perico, los aumentos o disminuciones de polen arbóreo se vincularon a condiciones de inviernos secos o húmedos (con mayor frecuencia de neblina), respectivamente (Torres 2017). Para el Antropoceno (a partir del siglo XX), en las Lagunas de Yala, provincia de Jujuy (fig. 12.13a), existen registros que señalan aumentos de lluvias y polución con plomo (Pb) a partir de 1960 (Lupo *et al.*, 2006). En la Laguna Seca (cerca a la localidad de Tartagal), provincia de Salta (fig. 12.13b), se observa después del año 1984 una intensificación de procesos de remoción en masa por aumentos de lluvias (Fierro *et al.*, 2016).

Las evidencias de los datos climáticos históricos y dendrocronológicos (Villalba, 1995; Villalba *et al.*, 1998) muestran que las Yungas responden sensiblemente a la variabilidad climática. Modelos climáticos para el último máximo glacial (hace aproximadamente 21.000 años atrás) indican cambios importantes en la distribución de *Podocarpus parlatorei*, una especie de árbol del bosque montano, con una distribución mucho más extensa y continua durante este período de enfriamiento ambiental (Quiroga *et al.*, 2012). Luego, frente a los escenarios de calentamiento posteriores al último máximo glacial, la distribución se contrajo en áreas relativamente estables pero cada vez más fragmentadas (Quiroga *et al.*, 2012).

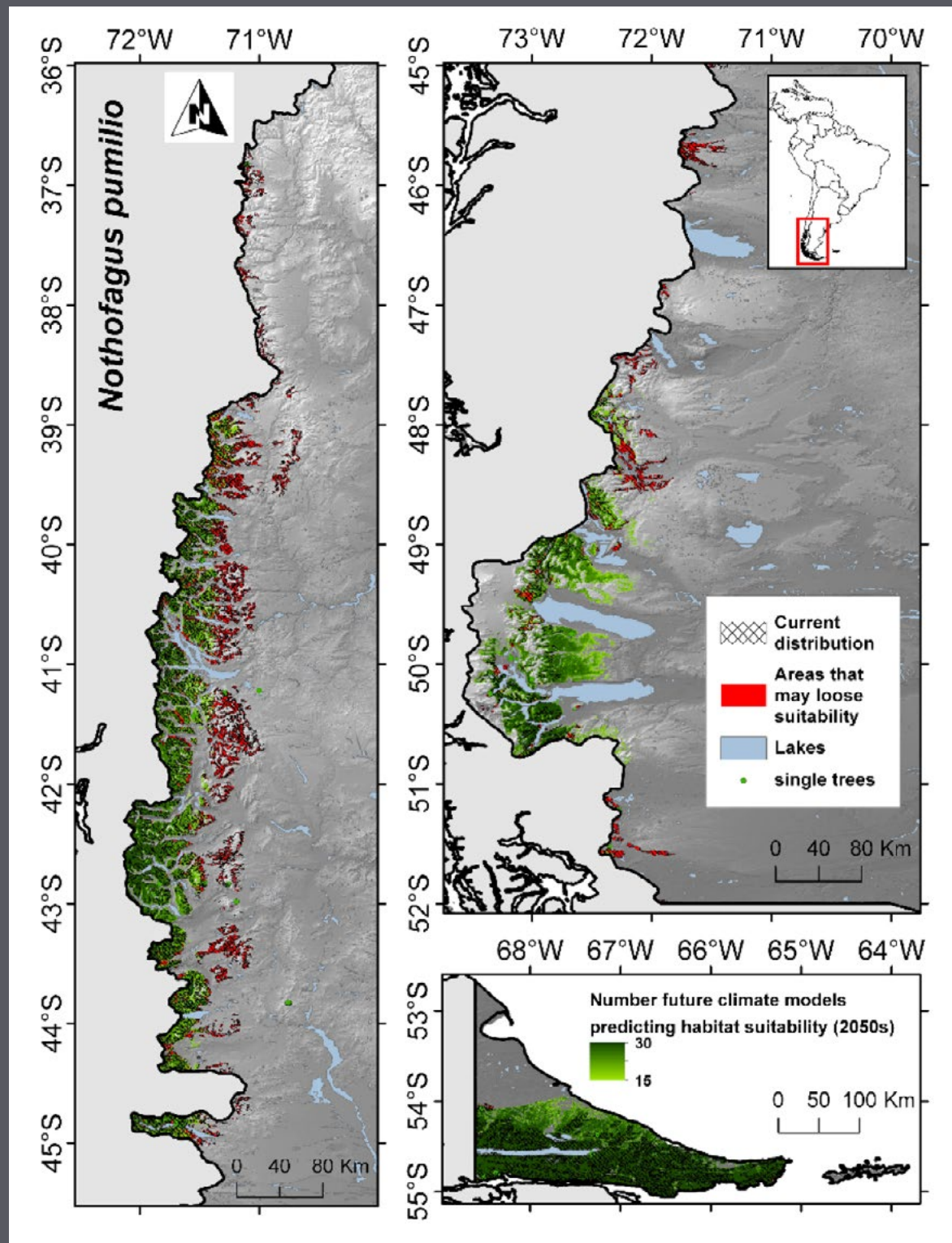


Figura 12.12. Mapas de modelado de nicho ecológico en un escenario de cambio climático predicho para el período 2040-2069 para la lenga (modificado de Soliani *et al.*, 2017).

Otros estudios recientes muestran que las comunidades tropicales y subtropicales de árboles están experimentando cambios direccionales en su composición de especies debido a los cambios climáticos. Este fenómeno de termofilización parece extenderse ampliamente por todos los Andes, aunque las tasas de cambio en la composición de especies varían entre altitudes (Fadrique *et al.*, 2018). Los escenarios futuros de cambio climático para las Yungas muestran un aumento de la temperatura media, mínima y máxima anual de 1,5 °C para el futuro cercano (p. ej. para el año 2039). Para este futuro cercano, también se prevé un aumento del porcentaje de días con temperaturas máximas extremas y del número de días con olas de calor y una reducción sustancial de las heladas, con tendencia a desaparecer en los sectores de menor altitud. Asimismo, se proyecta un aumento en las precipitaciones extremas. Modelos predictivos de distribución de especies de árboles de la selva pedemontana en respuesta al cambio climático, sugieren que como consecuencia de este aumento de temperatura algunas especies de árboles (p. ej. *Amburana cearensis*, *Aralia soratensis*, *Calycopyllum multiflorum*, *Gleditsia amorphoides*, *Inga saltensis*, *Phyllostylon rhamnoides*, *Zantoxylum naranjillo*, *Bougainvillea stipitata*, *Chrysophyllum gonocarpum*, *Cupania vernalis*, *Myroxylon peruiferum* y *Ocotea puberula*)

tenderían a migrar a mayores altitudes y hacia el sur (Pacheco *et al.*, 2010). Si la temperatura aumenta en 3 °C, la distribución actual de la selva pedemontana, con su composición de especies actual, se reduciría casi por completo. Sin embargo, el efecto sobre especies arbóreas del bosque montano y de la selva montana será menor (p. ej. *Escalonia millegrana*, *Kaunia lasiophthalmum*, *Myrcianthes callicoma*, *Roupala montana* y *Styrax subargentus*), con una reducción proyectada del 60% de la distribución actual de este piso de vegetación. Las áreas comprendidas entre los 1000 y 1500 m s.n.m. se proyectan como áreas de estabilidad climática, que prácticamente no sufrirán cambios en su composición arbórea. Aunque se espera que estas áreas de estabilidad climática de las Yungas aumenten la riqueza de especies de árboles, ya que este tipo de bosque representará un refugio a largo plazo para las especies de la selva pedemontana y del bosque montano. Si bien los modelos sugieren que las áreas estables de Yungas quedarán representadas dentro del sistema de áreas protegidas, es necesario asegurar un sistema de conectividad entre pisos altitudinales de las Yungas y entre ecorregiones (Chaco), que permita la dispersión o migración exitosa de las especies arbóreas y de la fauna ante los impactos de cambio climático futuro.

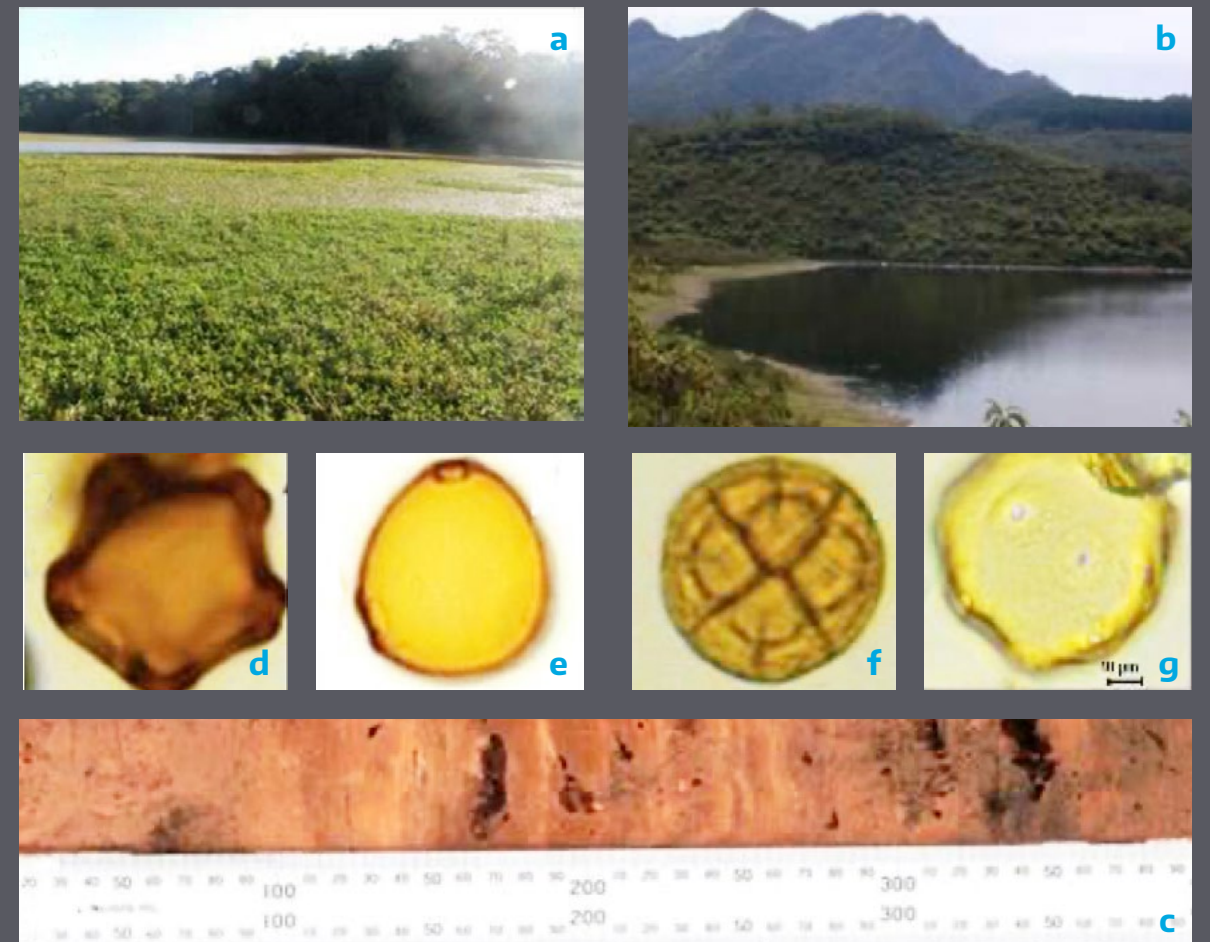


Figura 12.13. (a) Laguna seca en Tartagal (provincia de Salta), (b) Laguna Comedero en Yala (provincia de Jujuy), (c) registro sedimentario, (d) granos de polen fósil: *Alnus acuminata*, *Celtis* sp., *Anadenanthera colubrina* y *Juglans australis* (de arriba hacia abajo).

Bibliografía

Aceituno, P., 1988. On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part 1: surface climate. *Monthly Weather Review* 116, 505–524.

Alcobé, F., 2013. El rol de los bosques en el cambio climático. *Producción Forestal* 7, 7-9.

Adams, H.D., Guardiola-Claramonte, M., Barron-Gafford, A., Villegas, J.C.D., Breshears, D., Zou, C.B., Troch, A., Huxman, T.E., 2009. Temperature sensitivity of drought-induced tree mortality portends increased regional die-off under global-change-type drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106, 7063-7066.

Allen, C.D., Macalady, A.K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., Kitzberger, T., Rigling, A., Breshears, D., Hogg, E.H., González, P., Fensham, R., Zhang, Z., Castro, J., Demidova, N., Lim, J., Allard, G., Running, S., Semerci, A., Cobb, N., 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management* 259, 660-684.

Allen, C.D., Breshears, D.D., McDowell, N.G., 2015. On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the Anthropocene. *Ecosphere* 6, 1-55.

Alvarado Serrano, D.F., Knowles, L.L., 2013. Ecological niche models in phylogeographic studies: Applications, advances and precautions. *Mol. Ecol. Res.* 14: 233-248.

Amoroso, M.M., Daniels, L.D., Villalba, R., Cherubini, P., 2015. Does drought incite tree decline and death in *Austrocedrus chilensis* forests? *Journal of Vegetation Science* 26, 1171-1183.

Arco Molina, J.G., Hadad, M.A., González Antivilo, F., Roig, F.A., 2015. Leaf death in *Araucaria araucana* (Mol.) K. Koch seedlings due to frosts. Preliminary results. *Rev. Fac. Ciencias Agrarias* 47, 59-65.

Arco Molina, J.G., Hadad, M.A., Roig, F.A., 2016. Frost damage in wood as related to cambial age and bark thickness in *Araucaria araucana* from Patagonia, Argentina. *Dendrochronologia* 37, 116-125.

Asadieh, B., Krakauer, N.Y., 2015. Global trends in extreme precipitation: climate models versus observations. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 19, 877-891.

Azpilicueta, M.M., Marchelli, P., Gallo, L.A., Umaña, F., Thomas, E., van Zonneveld, M., Aparicio, A.G., Pastorino, M.J., Barbero, F., Martínez, A., González Peñalba, M., Lozano, L., 2016. Zonas genéticas de raulí y roble pellín en Argentina: Herramientas para la conservación y el manejo de la diversidad genética, Ediciones (Azpilicueta, M.M., Marchelli, P., eds.). Ed. INTA, Bariloche, Argentina.

Bahamonde, H.A., Peri, P.L., Monelos, L.H., Martínez Pastur, G., 2011. Aspectos ecológicos de la regeneración por semillas en bosques nativos de *Nothofagus antartica* en Patagonia Sur, Argentina. *Bosque* 32(1), 20-29.

Bartlein, P.J., Whitlock, C., Shafter, S.L., 1997. Future climate in the Yellowstone National Park region and its potential impact on vegetation. *Conservation Biology* 11, 782-792.

Barros, V.R., Boninsegna, J.A., Camilloni, I.A., Chidiak, M., Magrín, G.O., Rusticucci, M., 2015. Climate change in Argentina: Trends, projections, impacts and adaptation. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* 6(2), 151-169.

Cabré, M.F., Quéno, H., Nuñez, M., 2016. Regional climate change scenarios applied to viticultural zoning in Mendoza, Argentina. *International Journal of Biometeorology* 60(1), 1325-1340.

Cabrera, A. L., 1971. Fitogeografía de la República Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* XIV (1-2), 1-42.

Camarillo-Naranjo, J.M., Álvarez-Francoso, J.I., Limones-Rodríguez, N., Pita-López, M.F., Aguilar-Alba, M., 2018. The global climate monitor system: From climate data-handling to knowledge dissemination. *International Journal of Digital Earth*. DOI 10.1080/17538947.

Campbell, B.M., Beare, D.J., Bennett, E.M., Hall-Spencer, M., Ingram, J., Jaramillo, F., Ortiz, R., Ramankutty, N., Sayer, J.A., Shindell, D., 2017. Agriculture production as a major driver of the Earth system exceeding planetary boundaries. *Ecology and Society* 22(4), 8.

Carilla, J.E., Grau, H.R., 2010. 150 years of tree establishment, land use and climate change in montane grasslands, northwest Argentina. *Biotropica* 42(1), 49-58.

Chapin, F.S., Lovcraft, A.L., Zavaleta, E.S., Nelson, J., Robards, M.D., Kofinas, G.P., Trainor, S.F., Peterson, G.D.,

Huntington, H.P., Naylor, R.L., 2006. Policy strategies to address sustainability of Alaskan boreal forests in response to a directionally changing climate. *PNAS* 103, 16637-16643.

Chornesky, E.A., Bartuska, A.M., Aplet, G.H., Britton, K.O., Cummings-Carlson, J., Davis, F.W., Eskow, J., Gordon, D.R., Gottschalk, K.W., Haack, R.A., Hansen, A.J., Mack, R.N., Rahel, F.J., Shannon, M.A., Wainger, L.A., Wigley, T.B., 2005. Science priorities for reducing the threat of invasive species to sustainable forestry. *Bioscience* 55, 335-348.

Conde-Álvarez, C., Saldaña-Zorrilla, S.O., 2007. Cambio climático en América Latina y el Caribe: Impactos, vulnerabilidad y adaptación. *Rev. Ambiente y Desarrollo* 23(2), 23-30.

Cook, B.I., Smerdon, J.E., Seager, R., Cook, E.R., 2014. Pan-continental droughts in North America over the last millennium. *J. Climate* 27, 383-397.

Cowtan, K., Hausfather, Z., Hawkins, E., Jacobs, P., Mann, M.E., Miller, S., Steinman, B., Stolpe, M., Way, R., 2015. Robust comparison of climate models with observations using blended land air and ocean sea surface temperatures. *Geophys. Res. Lett.* 42, 6526–6534.

Crausbay, S.D., Ramirez, A.R., Carter, S.L., Cross, M.S., Hall, K.R., Bathke, D.J., Betancourt, J.L., Colt, S., Cravens, A., Dalton, M.S., Dunham, J.B., Hay, L.E., Hayes, M.J., McEvoy, J., McNutt, C.A., Moritz, M.A., Nislow, K.H., Raheem, N., Sanford, T., 2017. Defining ecological drought for the 21st century. *Bulletin of the American Meteorological Society* 98, 2543-2550.

de la Casa, A.C., Ovando, G.G., 2014. Climate change and its impact on agricultural potential in the central region of Argentina between 1941 and 2010. *Agricultural and Forest Meteorology* 195-196, 1-11.

de Obschatko, E.S., Basualdo, A., Kindgard, A., 2015. Cambio climático y agricultura en la Argentina. Aspectos institucionales y herramientas de información para la formulación de políticas. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.

Easterling, D.R., Meehl, G., Changnon, S., Parmesan, C., Karl, T.R., Mearns, L.O., 2000. Climate extremes: observations, modeling, and impacts. *Science* 289, 2068-2074.

El Mousadik, A., Petit, R.J., 1996. High level of genetic differentiation for allelic richness among populations of the argan tree (*Argania spinosa* (L.) Skeels) endemic to Morocco. *Theor. Appl. Genet.* 92, 832-839.

ESRI, 2011. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.

Fadrigue, B., Baez, S., Duque, A., Malizia, A., Blundo, C., Carilla, J., Osinaga-Acosta, O., Malizia, L., Silman, M., Farfan-Rios, W., Malhi, Y., Young, K., Cuesta, F., Homeier, J., Peralvo, M., Pinto, E., Jadan, O., Aguirre, N., Aguirre, Z., Feeley, K., 2018. Widespread but heterogeneous responses of Andean forests to climate change. *Nature*. En prensa.

Fierro, P.T., Kulemeyer, J.J., Lupo, L.C., Giralt, S., 2016. Historia ambiental de la Laguna Seca, Tartagal, Salta, Noroeste Argentino. *Revista Brasileira de Paleontología* 19(2), 325-340.

Foley, J.A., DeFries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., Chapin, F.S., Coe, M.T., et al., 2005. Global consequences of land use. *Science* 309, 570-574.

Frangi, J., Richter, L., Barrera, M., Alloggia, M., 1997. Decomposition of *Nothofagus* fallen woody debris in forests of Tierra del Fuego, Argentina. *Canadian Journal of Forest Research* 27, 1095-1102.

Franklin, J.F., Swanson, F.J., Harmon, M.E., Perry, D.A., Spies, T.A., Dale, V.H., McKee, A., Ferrell, W.K., Means, J.E., Gregory, S.V., Lattin, J.D., Schowalter, T.D., Larsen, D., 1992. Effects of global climatic change on forests in northwestern North America. In: Peters, R.L., Lovejoy, T.E. (Eds.), *Global Warming and Biodiversity*. Yale University Press, New Haven, pp. 244-254.

Garralla, S., 2003. Análisis polínico de una secuencia sedimentaria del Holoceno tardío en el Abra del Infiernillo, Tucumán, Argentina. *Polen* 12, 53-63.

Gauly, M., Bollwein, H., Breves, G., Brügemann, K., Dänicke, S., Daş, G., Demeler, J., Hansen, H., Isselstein, J., König, S., Lohölter, M., Martinsohn, M., Meyer, U., Potthoff, M., Sanker, C., Schröder, B., Wrage, N., Meibaum, B., von Samson-Himmelstjerna, G., Stinshoff, H., Wrenzycki, C., 2013. Future consequences and challenges for dairy cow production systems arising from climate change in Central Europe: A review. *Animal* 7(5), 843-859.