

IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA DISTRIBUCIÓN DE *PROSOPIS HASSLERI* Y *P. ALBA* EN LA REGIÓN CHAQUEÑA

Venier P.¹, Cosacov A.^{1,2}, Lopez Lauenstein D.¹, Vega C.¹, Verga A.¹

1 - Instituto de Fisiología y Recursos Genéticos Vegetales (CIAP-INTA). Km 5 ½ - (Av. 11 de setiembre 4755), CP: X5020ICA Córdoba, Argentina. paulavenier@gmail.com

2- Laboratorio de Ecología Evolutiva y Biología Floral. Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal (IMBIV) CONICET – UNC

Los bosques constituyen un sistema natural complejo de vital importancia, ya que por un lado son fuente importante de recursos económicos y por otro, son proveedores de servicios ambientales indispensables para el mantenimiento de la biodiversidad de ecosistemas y de regulación del clima a escala regional y global (MEA 2005, IPCC 2007). En nuestro país una importante proporción del área boscosa se encuentra localizada en la región del Parque Chaqueño (SAyDS 2007), siendo las especies del género *Prosopis*, conocidas como algarrobos, un componente principal de estos bosques nativos. Los algarrobos blanco y paraguayo, *Prosopis alba* y *P. hassleri* respectivamente, son unas de las especies nativas de mayor uso para madera de

aserrío en Argentina, registrándose en los últimos años un aumento constante en su tasa de consumo. Dado que la totalidad de la madera de algarrobo consumida proviene de bosques nativos, la explotación del recurso resulta insostenible, no sólo desde el punto de vista ambiental sino también económico. Por otra parte, además de la deforestación, otros factores como el cambio climático global están afectando a los bosques a escala mundial y a nuestros bosques nativos en particular.

El clima de nuestro planeta se ha caracterizado por ser inestable, con ciclos cálidos y fríos como la conocida Edad de Hielo. Sin embargo, en el siglo XX el incremento registrado en la temperatura, producto de un aumento en la concentración



de gases de invernadero en la atmósfera, no puede explicarse en su totalidad por los ciclos climáticos naturales (IPCC 2007). La concentración de gases de invernadero ha aumentado en su mayor parte como resultado de la actividad humana, tales como la quema de combustibles fósiles, y la deforestación. Bajo estas condiciones, se ha planteado como escenario futuro que la temperatura media superficial a nivel global aumentará entre 1,4 y 5,8°C de 1990 al 2100, correspondiente a un incremento entre dos y 10 veces superior al observado en los últimos 100 años (0,6°C), (IPCC 2000; Watson Chair 2000). Además de la variación de la temperatura media, se han registrado fenómenos opuestos a escala global, con lugares que presentan notables incrementos de las precipitaciones, y otros, eventos de sequía extremos (IPCC 2001).

Las implicancias del cambio climático global, ya ha comenzado a observarse en numerosos sistemas biológicos (insectos, plantas y animales) entre los que se destacan cambios en los rangos de distribución natural de las especies, hacia mayores latitudes y hacia mayores altitudes, además de cambios en la fenología de especies de plantas, estadios reproductivos, etc. Que son bien consistentes con respuestas biológicas a modificaciones del clima (Watson Chair 2000; IPCC 2002). Estos cambios afectan a su vez, la composición y funcionamiento de diversos ecosistemas como los bosques.

Una herramienta que está siendo cada vez más utilizada en trabajos de conservación y manejo de recursos genéticos forestales, en el contexto del cambio climático, es el modelado de nicho ecológico (ej. Guarino *et al.* 2002; van Zonneveld *et al.* 2009). Sobre la base de datos climáticos globales y datos geográficos donde la especie de interés se encuentra distribuida, se puede caracterizar sus requerimientos climáticos y su distribución potencial actual (Soberón y Nakamura 2009). Por otro lado, dado que se encuentran disponibles proyecciones climáticas futuras (~ año 2050 y 2080; Hijmans *et al.* 2005), en base a escenarios de emisiones de gases de invernadero, desarrollados por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), se trata de una herramienta muy útil para modelar la distribución de la especie en un escenario futuro de cambio climático, y evaluar posibles procesos de contracción/expansión, desplazamiento y/o fragmentación de su rango de distribución (ej. Guarino *et al.* 2002, van Zonneveld *et al.* 2009). Así, mediante la comparación de la distribución actual y la estimación de la distribución futura de una especie, se pueden establecer áreas de alto y bajo impacto del cambio climático, determinar potenciales nuevas áreas adecuadas para la persistencia de la especie, y sobre la base de esta información, planear posibles medidas de manejo que contribuyan a conservar el recurso biológico (ej. van Zonneveld *et al.* 2009).

En general estos modelos han sido utilizados para comparar la respuesta frente al cambio climático entre distintas especies. Sin embargo, es una herramienta útil para comparar las diferentes respuestas que pueden tener distintos “ecotipos” dentro de una especie, que por estar adaptados a ambientes locales distintos, presentan caracteres fisiológicos, morfológicos y ecológicos diferentes (Gianoli *et al.* 2004; Gianoli y González-Teuber 2005). En este contexto, nos pareció relevante explorar los posibles efectos del cambio climático sobre el rango de distribución de tres morfotipos de *P. alba* (“santiagueño”, “chaqueño norte” y “chaqueño sur”) y de *P. hassleri*, mediante el uso de modelos predictivos de nicho, con el fin de proveer información útil en la planificación de estrategias de conservación y manejo de los recursos genéticos nativos.

ESPECIES UTILIZADAS Y METODOLOGÍA DE TRABAJO

Prosopis alba y *P. hassleri* crecen en la región Chaqueña, aunque se trata de especies cuyos rangos de distribución difieren en cuanto a su extensión y localización. *Prosopis alba*, siendo la especie del género de mayor distribución en Argentina, se la encuentra principalmente en las provincias de Córdoba, Santiago del Estero, La Rioja, Catamarca, Tucumán, Salta, Santa Fé, Chaco y Formosa. Extendiéndose además, a Paraguay, Uruguay y Bolivia (Burkart, 1976). Verga y colaboradores (2009) describieron tres “ecotipos” de algarrobos blancos diferenciados a nivel morfológico, principalmente a través de sus caracteres de hojas (Fig. 1): *P. alba* “santiagueño”, *P. alba* “chaqueño norte” y *P. alba* “chaqueño sur”. *Prosopis hassleri*, en cambio, posee una distribución más restringida, encontrándose sólo en la porción subhúmeda del Parque chaqueño de Argentina y Paraguay. Esta especie ocupa en la Argentina sólo una franja de unos 90 km de ancho al sur de Río Pilcomayo en la Provincia de Formosa. El límite oeste de esta franja coincide con el ecotono entre el chaco semiárido y subhúmedo (Burkart 1976; Kees *et al.* 2011).

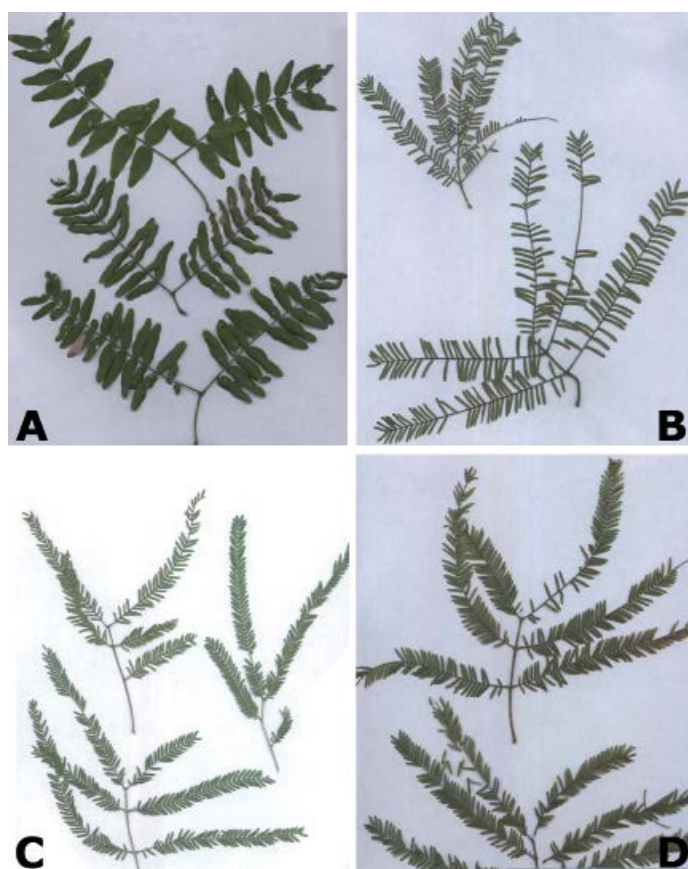
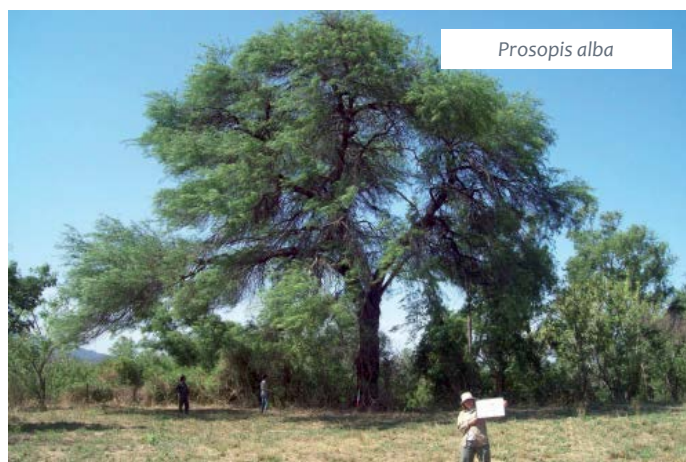


Figura 1. Hojas de las especies/morfotipos estudiados. (A) Hojas de *Prosopis hassleri*; (B) *P. albamorphotipo* “santiagueño” (C) *P. albamorphotipo* “chaqueño norte” (D) *P. albamorphotipo* “chaqueño sur”. Dentro de *P. alba* el morfotipo “santiagueño” presenta hojas mayores, con mayor largo y ancho de foliólulo, mayor distancia entre los mismos y menor número de foliólulos por pina. El chaqueño sur, tiende a tener hojas, pinas, y foliólulos más grandes que el “chaqueño norte” (Basado en Verga *et al.* 2009).

Para el análisis del posible impacto del cambio climático sobre la distribución de *P. hassleri* (algarrobo paraguayo) y de los tres morfotipos de *P. alba* en el norte de Argentina, se incluyó un total de 299 individuos georreferenciados (entre 30 a 77 individuos según la especie o morfotipo). Se utilizaron los datos provenientes de individuos localizados en las regiones fitogeográficas de Chaco semiárido y subhúmedo. Se estimó la distribución potencial de las respectivas especies/morfotipos, mediante el modelado predictivo de nicho (MPN) en dos escenarios climáticos: actual y futuro (modelo CCM3, año

2050) asumiendo un incremento de gases de efecto invernadero y un incremento promedio de 2°C de la temperatura media (Govindasamy *et al.* 2003). Se obtuvieron 19 parámetros bioclimáticos de la base de datos mundial *WorldClim Global ClimateGIS* (www.worldclim.org; Hijmans *et al.* 2005), y mediante la interpolación con modelos de circulación desarrollados para escenarios futuros, se obtuvieron dichos parámetros climáticos para cada especie/morfotipos bajo un escenario de cambio climático. El MPN para las respectivas especies/morfotipos en los distintos escenarios, se construyó utilizando el programa DIVA-GIS (Hijmans *et al.* 2005) y el algoritmo de máxima entropía implementado en el programa MaxEnt (Phillips *et al.* 2006). Tanto para la proyección actual como futura en MaxEnt se generaron rasters binarios, con celdas de valores 0 y 1 según si presentaban valores de probabilidad por debajo o por encima del umbral del requerimiento mínimo de la especie, respectivamente. Posteriormente, ambas capas se superpusieron y se obtuvo un mapa con tres situaciones posibles para cada celda: *áreas de alto impacto*, en las que la especie probablemente ocurra en las condiciones climáticas actuales, pero dejarán de ser adecuadas para la especie en el futuro; *áreas de bajo impacto*, en las que la especie probablemente ocurra tanto en las condiciones climáticas actuales como en las condiciones futuras; *nuevas áreas adecuadas*, en las que la especie tendría probabilidades de ocurrir en el futuro, pero las condiciones actuales no son idóneas para su ocurrencia.



RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos, los cambios en las condiciones climáticas que se registrarían en el año 2050 afectarían marcadamente la distribución de los bosques de *Prosopis alba* y *P. hassleri* en la región chaqueña de Argentina. Sin embargo, afectarían diferencialmente a las especies y morfotipos analizados.

Como patrón general se observa que en un escenario futuro se producirá una migración hacia el sur en ambas especies, excepto en el morfotipo “chaqueño sur” de *P. alba* que se desplazaría hacia el norte (Fig. 2). Es decir, para las especies estudiadas, las áreas rojas (áreas de alto impacto o de retracción del rango de distribución), se localizan en general hacia el norte de la distribución actual, observándose las áreas verdes (áreas favorables en un escenario futuro) principalmente hacia el sur de las respectivas distribuciones. Este patrón es consistente con lo reportado para otras especies, donde se ha comenzado a observar un desplazamiento hacia mayores latitudes asociado, en principio, a un aumento de la temperatura (Watson Chair 2000; IPCC 2002).

En las áreas rojas se registró un aumento promedio de la T°

mínima y máxima de 1°C, pero también un aumento promedio en las precipitaciones anuales de 55 mm. Dado que estas especies están especialmente adaptadas a climas áridos, este resultado podría estar indicando que el efecto del cambio climático sobre las especies evaluadas, podría estar más influido por un aumento en las precipitaciones, más que por un aumento de la temperatura. En este sentido, se están llevando a cabo estudios ecofisiológicos que ayudarán a esclarecer qué implicancias podría tener el incremento de las precipitaciones en la supervivencia de estas especies.

Considerando los resultados obtenidos para la especie *P. alba*, y en particular para los morfotipos “chaqueño norte” y “chaqueño sur”, se observa que sus respectivos rangos de distribución se verían considerablemente afectados (Fig. 2 B y C). Sin embargo, bajo el escenario futuro en ambos casos surgirían áreas favorables de una extensión igual o mayor a la actual. En particular, *P. alba* “chaqueño sur” se desplazaría hacia el norte, en contraposición a la tendencia general observada en las otras especies/morfotipos. En este morfotipo, las áreas rojas no sólo registraron un aumento de 1°C en la temperatura mínima y máxima (como ocurrió en los otros casos), sino que también disminuirían las precipitaciones en 30 mm. Es decir, este morfotipo se estaría desplazando no por un incremento de las precipitaciones (como ocurriría en los otros casos), sino por el contrario, por un incremento en las condiciones de estrés hídrico.

Por su parte, el morfotipo “santiagueño”, sería el menos afectado bajo el escenario de cambio climático. Para este morfotipo se observa que la mayor parte de su distribución actual permanecería estable, sin sufrir retracciones ni fragmentaciones (Fig. 2 A). Este resultado, podría deberse a que es el morfotipo que estaría más adaptado a una alta variabilidad de temperatura, según lo muestra su actual área de distribución en sentido norte-sur coincidente con el sentido en que varían las temperaturas en la región de estudio. Además, sería significativamente más tolerante al estrés hídrico (López Lauenstein *et al.* 2010), lo que podría explicar en parte este resultado. Con respecto a *Prosopis hassleri*, considerando sólo su área de dispersión en territorio argentino, sería la especie que perdería la mayor proporción de superficie de su distribución actual. Sin embargo, en un escenario futuro surgirían áreas favorables para su persistencia cuya superficie duplicaría la distribución actual (Fig. 2D).

A partir de los resultados obtenidos, podemos proponer algunas estrategias de manejo y conservación de las especies evaluadas, las que son elementos estructurales de nuestros bosques. Por un lado, sería importante priorizar a las áreas rojas en los planes de colecta de material para germoplasma y de esta manera garantizar la conservación *ex situ* de estos recursos genéticos. Por otro lado, las áreas amarillas que representan áreas de cierta estabilidad climática, donde las especies persistirían, deberían ser establecidas como áreas prioritarias para la conservación, ya que son potenciales áreas fuentes desde las cuales las respectivas especies/morfotipos podrán colonizar en un futuro nuevas regiones óptimas. En particular, en el caso de *P. alba* chaqueño norte se observa claramente la necesidad de preservar las dos principales áreas estables detectadas para que la especie pueda expandirse hacia las áreas favorables (Fig. 2B). En este punto, es importante considerar las estrategias de dispersión de estas especies, que dependen principalmente de animales que consumen los frutos (por ejemplo vacas y zorros) y que luego al trasladarse y defecar permiten que las semillas germinen, y que las plántulas se establezcan en nuevos sitios. Por lo tanto, la dispersión por endozoocoria puede ser un factor limitante para que, en el corto plazo, *P. hassleri* y los distintos morfotipos de

P. alba avancen hacia futuras zonas favorables. Es por esto que sería recomendable diseñar planes de forestación en zonas que vinculen las áreas amarillas con las zonas verdes de expansión tal que se facilite en un futuro, la colonización de estas especies hacia áreas óptimas para su establecimiento. Es importante mencionar que el morfotipo *P. alba* "santiagueño" se distribuiría en un futuro en la región del Chaco árido, donde actualmente *P. alba* no se encuentra, por lo que sería un morfotipo candidato para utilizar en planes futuros de conservación y restauración de bosques en dicha región.

Finalmente, dado que las áreas amarillas no serán afectadas

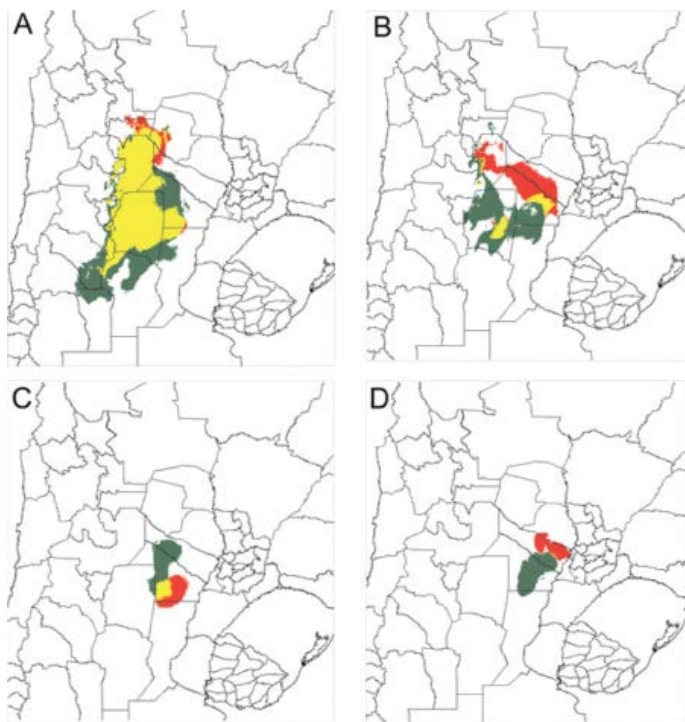


Figura 2. Áreas estables o de bajo impacto (amarillo), áreas de alto impacto o de retracción del rango (rojo), y áreas de expansión (verde) de cada una de las especies/morfotipos analizados, basado en el modelado de sus respectivas distribuciones potenciales en el presente y en un escenario de cambio climático futuro. A) *Prosopis albasantiagoño*, B) *P. albachaqueño*, C) *P. albachaqueño sur*, D) *P. hassleri*. (AUC > 0.8 en todos los casos).

considerablemente por el cambio climático, sería importante preservarlas de otros factores que también afectan a los bosques nativos, como lo son la expansión de la frontera agrícola y la forestación con especies exóticas. Para concluir, es necesario aclarar que los modelos de nicho son herramientas útiles para establecer un diagnóstico inicial del posible impacto del cambio climático sobre nuestros bosques, pero que a su vez pueden sobreestimar el impacto, puesto que las especies podrían tener la capacidad de adaptarse a diferentes condiciones climáticas, como ya ha sido observado en otras especies. Es por esto que a la hora de diseñar estrategias de manejo del bosque nativo, es necesario realizar estudios que integren los resultados provenientes de los modelos de nicho climático, con estudios sobre aspectos ecofisiológicos y genéticos.

Nota: Las fotos fueron tomadas por los autores.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento al Proyecto Específico INTA PNFOR044341 y al Banco Nacional de Germoplasma de *Prosopis*, FCA-UNC, por facilitar la información básica para este trabajo.

REFERENCIAS

- Bullock JM, Aronson J, Newton AC, Pywell RF, Rey-Benayas JM. 2011. Restoration of ecosystem services and biodiversity: conflicts and opportunities. *TREE*. 26: 541-549.
- Burkart A. 1976. A monograph of the genus *Prosopis* (Leguminosae subfam. Mimosoidae). *J Arn. Arb.* 57: 219-525.
- Gianoli E, Inostroza P, Zúñiga-Feest A, Reyes-Díaz M, Cavieres LA, Bravo LA, Corcuera LJ. 2004. Ecotypic Differentiation in Morphology and Cold Resistance in Populations of *Colobanthus quitensis* (Caryophyllaceae) from the Andes of Central Chile and the Maritime Antarctic. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*. 36: 484-489.
- Gianoli E, González-Teuber M. 2005. Environmental heterogeneity and population differentiation in plasticity to drought in *Convolvulus chilensis* (Convolvulaceae). *Evolutionary Ecology*. 19: 603-613.
- Govindasamy, B., Duffy, P.B., Coquard J. 2003. High-resolution simulations of global climate, part 2: effects of increased greenhouse gases. *Climate Dynamics* 21: 391-404
- Grau HR, Gasparri NI, Aide TM. 2005a. Agriculture expansion and deforestation in seasonally dry forests. *Environ. Conserv.* 32: 140-148.
- Guarino L, A. Jarvis, R.J. Hijmans y N. Maxted. 2002. Geographic Information Systems (GIS) and the conservation and use of plant genetic resources. In: J. Engels (ed.) *Managing Plant Genetic Diversity*. CAB International. Wallingford, UK. pp. 387-404.
- Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G., Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.
- Holl KD, Kappelle M. 1999. Tropical forest recovery and restoration. *TREE*. 14: 378-379.
- Kees S., Gómez C., Verga A., Vera M., Cardozo F., López D., Muttoni F y Gon V. 2011. Predicción del área potencial de dispersión de *Prosopis hassleri* en la provincia de Formosa - Argentina. I Congreso Forestal del Chaco Sudamericano - Abril de 2011. Filadelfia - Paraguay.
- López Lauenstein D., Luna C., y Verga A. 2010. Respuesta al estrés hídrico en dos grupos morfológicos de *Prosopis alba*. XXVIII Reunión Argentina de Fisiología Vegetal. La Plata, Argentina. Septiembre de 2010
- Peterson AT, Soberón J, Pearson RG, Anderson RP, MartínezMeyer E, Nakamura M & Araújo MB. 2011. *Ecological Niches and Geographic Distributions*. Princeton University Press, Princeton, 314 pp.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P., Schapire, R.E. 2006. Maximum entropy modelling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190: 231-259.
- SAyDS. 2007. *Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos*. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. Buenos Aires, Argentina.
- van Zonneveld M., Koskela J, Vinceti B., Jarvis A. 2009. Impact of climate change on the distribution of tropical pines in Southeast Asia. *Unasylva* 60: 231-232.
- Verga A, López Lauenstein D, López C, Navall M, Joseau J, Gómez C, Royo O, Degano W, Marcó M. 2009. Caracterización morfológica de los algarrobos (*Prosopis* sp.) en las regiones fitogeográficas Chaqueña y Espinal norte de Argentina. *Quebracho*. 17: 31-40.
- Watson Chair, Robert T. 2000. Intergovernmental Panel on Climate Change. Presentation at the Sixth Conference of Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change.
2000. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Informe especial del IPCC sobre escenarios de emisiones.
2001. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Impactos, adaptación y vulnerabilidad.
2002. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Documento Técnico V del IPCC sobre cambio climático y biodiversidad.
2007. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambio climático. Informe de síntesis.