



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente



Siempre  
con el pueblo



# LOS ÁRBOLES ANDINOS-AMAZÓNICOS NO ESTÁN MIGRANDO RÁPIDAMENTE ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Segunda Edición Diálogo Académico: Aportes de la Ciencia a Nuestro Desafío Climático (NDC)

Diciembre 2021 - Lima, Perú



GRUPO IMPULSOR DE  
ACCIÓN CLIMÁTICA  
DE LA ACADEMIA

# LOS ÁRBOLES ANDINOS-AMAZÓNICOS NO ESTÁN MIGRANDO RÁPIDAMENTE ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

William Farfan-Rios<sup>1,2,3</sup> , Abel Monteagudo Mendoza<sup>4</sup> ,  
Oliver L. Phillips<sup>5</sup> , Tim Baker<sup>5</sup> , Miles Silman<sup>3</sup> 

<sup>1</sup> Living Earth Collaborative, Washington University in St. Louis, Missouri, USA

<sup>2</sup> Center for Conservation and Sustainable Development, Missouri Botanical Garden, USA

<sup>3</sup> Department of Biology, Wake Forest University, North Carolina, USA

<sup>4</sup> Herbario Vargas CUZ, Escuela Profesional de Biología, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Peru

<sup>5</sup> School of Geography, University of Leeds, Leeds, UK

Email: [wfarfan@gmail.com](mailto:wfarfan@gmail.com)

## 1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

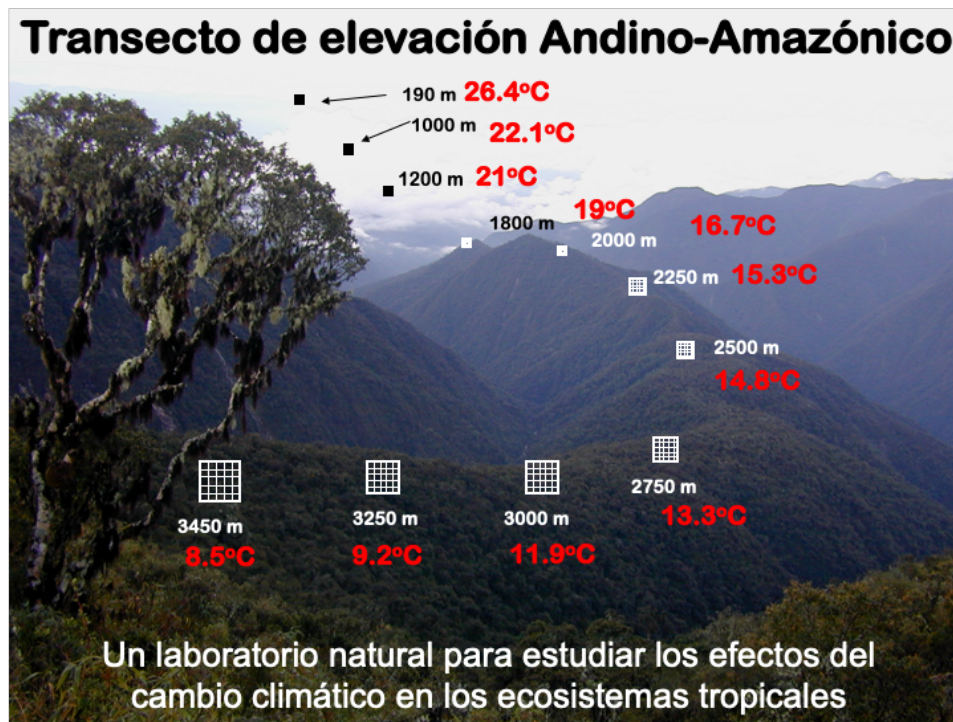
Durante los últimos 50 años, el cambio climático por acción humana está teniendo un impacto significativo en las propiedades físicas y biológicas de los sistemas terrestres (Malhi and Wright 2004, Rosenzweig et al. 2008). Se ha pronosticado que es probable que la temperatura media global del aire en la superficie terrestre supere los 4 °C a finales de este siglo (Stocker et al. 2013), y se proyecta un incremento en la frecuencia y severidad de sequías (Malhi et al. 2008), creando climas nuevos para las especies de plantas y animales actuales (Williams et al. 2007). Este rápido calentamiento y los cambios en los patrones de lluvias están expulsando a las especies fuera de su hábitat (lugar donde habitan) e incluso las amenazan con su extinción.

En la vertiente oriental de los Andes específicamente, en la cual Perú está incluido, la temperatura se está incrementando de 0.3 – 0.4 °C por década desde 1939 (Vuille and Bradley 2000) y se predice que se incrementará de 2 – 7 °C a finales de siglo (Urrutia and Vuille 2009). Este rápido incremento en la temperatura hace que sea el más alto que en cualquier otro momento en la historia de la tierra en los últimos 50 mil años (Bush et al. 2004). Poniéndolo en perspectiva, el calentamiento hace 50 mil años fue de 1 °C por mil años (Bush et al. 2004) y actualmente estamos experimentando un rápido calentamiento de 1 °C en 100 años aproximadamente (<https://gml.noaa.gov/>). Por otro lado, en los últimos 15 años se han reportado eventos severos de sequías causando pérdidas en la acumulación de carbono en los bosques Amazónicos (Feldpausch et al. 2016).

Estos incrementos rápidos en la temperatura del aire y cambios en la precipitación presentan desafíos sin precedentes para las especies de plantas en la Amazonía y los Andes peruanos. Por ejemplo, los árboles de estos ecosistemas responderán al cambio climático (1) con la migración de especies (referido al desplazamiento de las poblaciones de las especies mediante los procesos demográficos de mortalidad, crecimiento y reclutamiento arbóreo) y/o (2) cambiando la dinámica en la acumulación de carbono (Brienen et al. 2015, Farfan-Rios 2019). Uno de los pocos estudios que examinan como

las comunidades arbóreas de los Andes están migrando en respuesta al cambio climático, reportó que los árboles andinos están migrando pendiente arriba a una velocidad promedio de 1.2 metros por año, favoreciendo a las especies más adaptadas a climas cálidos (Fadrique et al. 2018). Sin embargo, se desconoce si los árboles amazónicos estén migrando o no pendiente arriba. Por otro lado, se estimó que los bosques amazónicos intactos en las áreas protegidas del Perú están actuando como sumideros de carbono acumulando 0.52 toneladas de carbono por hectárea por año (Vicuña Miñano et al. 2019).

El Perú es un país megadiverso y, dentro de este, los Andes están considerados como los puntos más calientes de biodiversidad (*hotspots*) de la tierra (Myers et al. 2000) que, junto con los bosques amazónicos, son considerados como los más amenazados por el cambio climático global (Malcolm et al. 2006). Una de las mejores estrategias de estudiar los efectos del cambio climático en los bosques peruanos es el establecimiento y la continuación de los monitoreos forestales a largo plazo (Phillips et al. 2004, Baker et al. 2021), lo cual es fundamental para alcanzar los objetivos trazados en las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC), resaltando las medidas de adaptación y mitigación ante el cambio climático, como medidas de política pública impulsadas por el Estado. En este estudio, mostramos resultados de como los bosques andinos y amazónicos están respondiendo al cambio climático enfocados en (1) la migración de especies y (2) la dinámica de carbono aéreo.



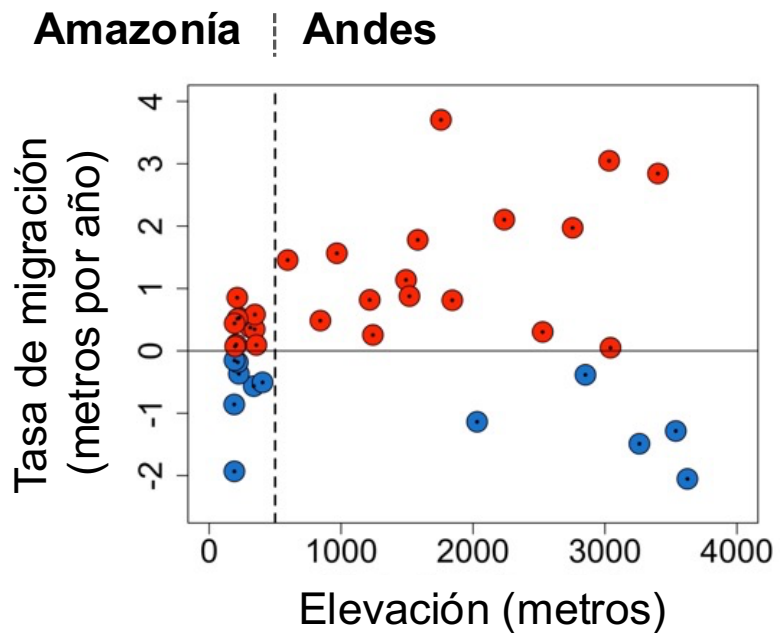
**Figura 1.** Transecto altitudinal en el Parque Nacional del Manu. Los cuadrados representan las parcelas forestales permanentes de 1-hectárea con monitoreo a largo plazo distribuidas a lo largo de un gradiente de elevación desde los Andes hasta la Amazonia. Las letras en blanco corresponden a la elevación de las parcelas y las letras en rojo representan la temperatura para cada parcela. Los cuadrados negros hacen referencia a las parcelas ubicadas en la Amazonia.

## 2. HALLAZGOS

### Nuestra área de estudio:

Este estudio usa un transecto altitudinal como herramienta para comprender la influencia de la temperatura en la biodiversidad y función del ecosistema. Este enfoque tiene una larga historia en la ecología y biogeografía porque estos "laboratorios naturales" proporcionan información crucial sobre cómo las especies y los ecosistemas están respondiendo al cambio climático (Malhi et al. 2010, Farfan-Rios et al. 2015). Este estudio se basa en un inventario forestal exhaustivo a largo plazo, usando 41 parcelas permanentes de 1-hectárea a lo largo de un transecto de elevación de 3500 metros en la Reserva de Biósfera del Manu (Cusco-Madre de Dios), abarcando 38 años de monitoreo (*figura 1*). Las parcelas permanentes fueron establecidas y están en mantenimiento por las redes de monitoreo ABERG (<https://www.andesconservation.org/>, 24 parcelas) y RAINFOR (<http://www.rainfor.org/>, <http://www.forestplots.net/>; 17 parcelas). En cada parcela, se midieron todos los individuos mayores o iguales a 10 centímetros de diámetro a la altura de pecho (1.3 metros sobre el suelo) y cada parcela permanente fue remedida después de 2-5 años.

**Figura 2.** Tasa de migración de las comunidades arbóreas a lo largo de los bosques andino-amazónicos en la Reserva de Biósfera del Manu. Cada círculo representa una parcela permanente de 1-hectárea. Los colores rojos representan a las parcelas con migración positiva pendiente arriba y los colores azules representan a las parcelas con migración negativa. El eje vertical es la tasa anual de migración a nivel de comunidades (a nivel de parcela de 1-hectárea).



### Migración lenta de comunidades arbóreas:

Nuestros resultados indican que las comunidades arbóreas andinas y amazónicas están experimentando tasas lentas de migración a lo largo del transecto altitudinal. A nivel de comunidades (a nivel de parcela de 1-hectárea) las tasas de migración promedio corresponden a 0.43 a 0.64 metros por año (*figura 2*). Si observamos esta migración para los bosques andinos y amazónicos independientemente, las tasas de migración en los bosques amazónicos fueron casi igual a cero, con una tasa promedio de -0.03 a +0.04 metros por año, lo cual indica que la respuesta de estos bosques al calentamiento global

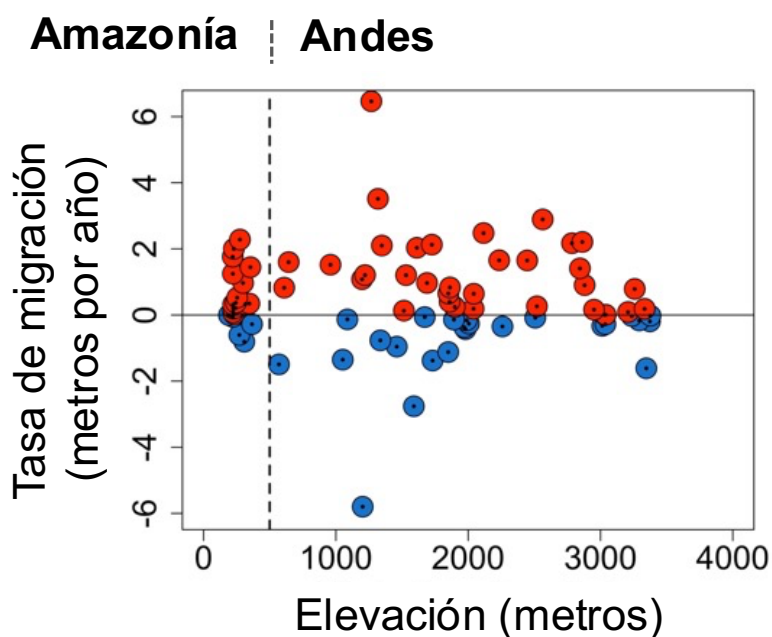
es casi nula. Por otro lado, los bosques andinos mostraron una migración más variada y positiva de 0.8 a 1.1 metros por año, indicando que hay una respuesta —aunque lenta— de estos bosques al cambio climático global.

### Las especies arbóreas no están migrando lo suficientemente rápido:

Para calcular la migración a nivel de especies a lo largo de los bosques andino-amazónicos, usamos a las especies más abundantes y que estén presentes en dos o más parcelas de 1-hectárea (79 especies arbóreas seleccionadas). Siguiendo este criterio, observamos una migración promedio de 0.43 a 0.44 metros por año a nivel de especie (figura 3, tabla 1). Nuestros resultados muestran que *Ocotea tessmannii* (Lauraceae), *Ficus macbridei* (Moraceae) y *Hedyosmum goudotianum* (Chloranthaceae) fueron las especies con mayor migración pendiente arriba en el transecto altitudinal.

Estas tasas lentas de migración en los bosques andinos-amazónicos, tanto a nivel de comunidades y especies, se explican principalmente por el incremento de la mortalidad arbórea a través del tiempo, en particular a elevaciones medias entre los 1000-2000 metros. **Siguiendo el calentamiento en los Andes, se espera una migración arbórea de 9 metros por año, sin embargo, nuestros resultados muestran una notable lenta migración promedio de 0.43-0.64 metros por año, lo cual indica que no están en sincronía con el cambio climático actual.**

**Figura 3.** Tasa de migración de 79 especies arbóreas a lo largo de los bosques andinos y amazónicos en la Reserva de Biósfera del Manu. Cada círculo representa a una especie de árbol. Los colores rojos representan a las especies con migración positiva pendiente arriba y los colores azules representan a las especies con migración negativa.



### Los bosques intactos siguen actuando como sumideros de carbono:

Estimamos que los bosques andino-amazónicos siguen actuando como sumideros de carbono, con una acumulación de 0.38 toneladas de carbono por hectárea por año (t/ha/año). En este caso, los bosques amazónicos mostraron una tendencia de mayor acumulación de carbono (0.45 t/ha/año) en comparación con los bosques andinos (0.31 t/ha/año). A pesar de que estos bosques se muestran como sumideros de carbono, lo

preocupante es la tendencia negativa a largo plazo en la acumulación de carbono (*figura 4*), la cual se debe principalmente a la pérdida de carbono por la alta mortalidad arbórea. Las sequías frecuentes en los últimos 15 años pueden ser los factores principales en la alta tasa de mortalidad arbórea, causando una asincronía en la acumulación de carbono a través del tiempo.

**Tabla 1. Lista de las 10 especies con las tasas más altas de migración en los bosques andino-amazónicos en la Reserva de Biósfera del Manu\*.**

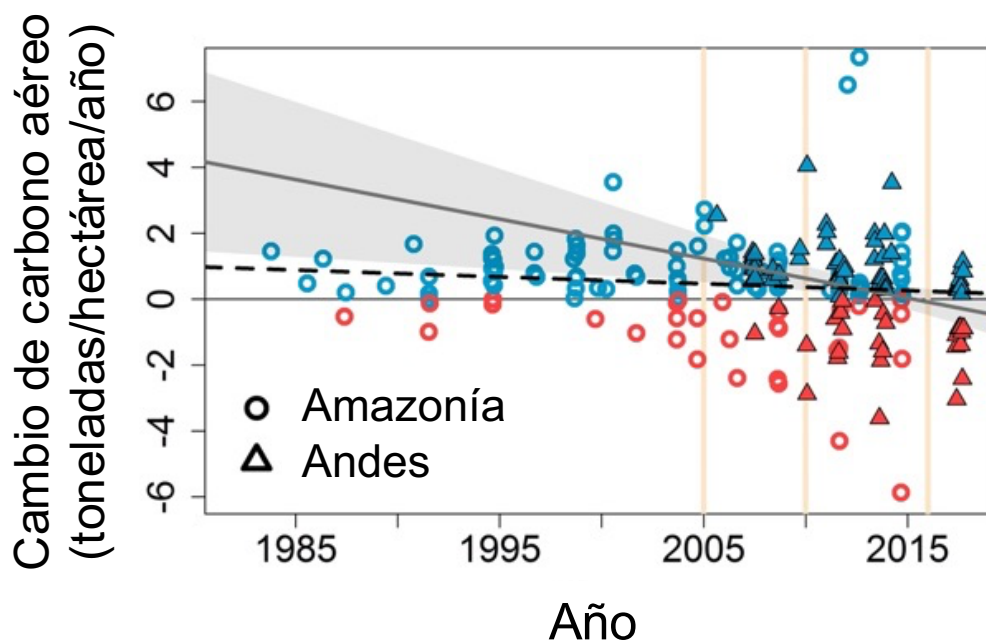
Especies	Número de individuos	Centro del rango de elevación (metros)	Migración (metros por año)
<i>Ocotea tessmannii</i>	63	1267.7	6.5
<i>Ficus macbridei</i>	54	1318.2	3.5
<i>Hedyosmum goudotianum</i>	63	2563.5	2.9
<i>Clusia thurifera</i>	113	2116.4	2.5
<i>Quararibea wittii</i>	127	275.1	2.3
<i>Weinmannia bangii</i>	257	2863.2	2.2
<i>Miconia madisonii</i>	52	2784.7	2.2
<i>Tapirira</i> sp1(4573WFR)	143	1725.6	2.1
<i>Turpinia occidentalis</i>	79	1347.5	2.1
<i>Elaeagia mariae</i>	78	1612.2	2.0

\*[Lista completa de las 79 especies arbóreas.](#)

### 3. OPCIONES DE ACCIÓN

#### Monitoreos de los bosques a largo plazo:

En este estudio mostramos lo crítico e imperativo que es el uso de parcelas forestales permanentes para el estudio de los efectos del cambio climático en los bosques peruanos (Baker et al. 2021). Consideramos establecer y fortalecer el monitoreo forestal a largo plazo en tres aspectos. **Primero**, mediante un trabajo sinérgico del MINAM, SERNANP, SERFOR y SENAMHI con las redes de monitoreo ya existentes en el Perú (por ejemplo, RAINFOR y ABERG) para fortalecer el monitoreo a largo plazo. **Segundo**, mediante el establecimiento de nuevas parcelas de monitoreo forestal en bosques intactos y en particular en bosques secundarios. **Tercero**, incluir en el monitoreo los individuos menores a 10 centímetros de diámetro. Este monitoreo es muy importante ya que nos dará información de la regeneración de los bosques y ayudará a proyecciones futuras en los cambios en la composición, diversidad y la dinámica de carbono en los bosques andinos y amazónicos. Se espera que estos tres aspectos fortalezcan el Programa Nacional de Conservación de Bosques y Cambio Climático y a las medidas de Adaptación Nacional al Cambio Climático.



**Figura 4.** Dinámica de carbono a lo largo de los bosques andino-amazónicos en la Reserva de Biósfera del Manu en 38 años de monitoreo. Cada círculo y triángulo representa a un censo de una parcela permanente de 1-hectárea. Los colores azules representan ganancia en carbono por hectárea y los colores rojos representan pérdida de carbono por hectárea. Las líneas son regresiones lineales: el color gris sólido es una relación significativa (Andes) y el color negro entrecortado es una relación no significativa (Amazonía).

#### **Análisis de migración a nivel de especies:**

En este estudio mostramos que las especies de árboles no están migrando lo suficientemente rápido para estar en equilibrio con el cambio climático. Observar cómo cada especie está respondiendo al cambio climático es crucial, porque nos dará perspectivas de qué especies se adaptan mejor a estos cambios y qué especies están amenazadas con ser extintas, lo cual traerá consecuencia en los cambios de diversidad y acumulación de carbono en estos ecosistemas. Aunque nuestros resultados provienen de la Biósfera de Reserva del Manu (una escala local), estos muestran la gran variabilidad en la migración de las especies arbóreas en respuesta al cambio climático. Sugerimos extender/replicar estos estudios a nivel nacional para tener un mejor entendimiento de las respuestas de las especies arbóreas al cambio climático en el territorio peruano. Estos resultados podrán ser usados principalmente en monitorear y proteger la biodiversidad como parte del compromiso del Perú hacia la lucha contra el cambio climático.

#### **Estudio de las especies con mejor adaptación al cambio climático:**

Se sugiere estudiar aspectos de la historia natural (por ejemplo, germinación de semillas, crecimiento y dispersión de semillas) de las especies arbóreas que mostraron mejor adaptación al cambio climático (especies con migración positiva) presentadas en la *tabla 1* y *figura 3*. Estas especies podrán luego ser utilizadas por el SERFOR y el MINAM

como árboles potenciales para programas de forestación y reforestación a nivel local, regional y/o nacional dependiendo de la distribución geográfica de cada especie.

#### **Monitoreo de la dinámica de carbono:**

Se sugiere incluir los valores de sumidero de carbono de este estudio (0.38 toneladas de carbono por hectárea por año) de bosques intactos en el Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a nivel nacional, las cuales están dentro de las áreas temáticas priorizadas en la ampliación de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas correspondientes al 2021 – 2030.

#### **4. AGRADECIMIENTOS**

Este “Policy Brief” está basado en la tesis doctoral *“Respuestas de los bosques al cambio climático a lo largo de un gradiente elevacional de los Andes a la Amazonía”*. Agradecemos al apoyo generoso del “Living Earth Collaborative” de la Universidad de Washington en St. Louis, a el grupo de investigación “Andes Biodiversity and Ecosystem Research Group” (ABERG; <http://www.andesconservation.org/>) y a las redes de monitoreo forestal RAINFOR (<http://www.rainfor.org/>), GEM (<http://gem.tropicalforests.ox.ac.uk/>) y ForestPlots.net, <http://www.forestplots.net/>). Los datos incluidos en este estudio son el resultado de un esfuerzo extraordinario de un gran equipo en Perú especialmente de la Universidad Nacional de San Antonio Abad de Cusco. SERNANP y personal del Parque Nacional Manu que brindaron asistencia con la logística y el permiso para trabajar en el área protegida. Pantiacolla Tours y la Asociación para la Conservación del Amazonas brindaron apoyo logístico. La financiación provino de la iniciativa “Gordon and Betty Moore Foundation’s Andes to Amazon initiative” y the “US National Science Foundation” (NSF) DEB 0743666 y NSF Long-Term Research in Environmental Biology (LTREB) 1754647. La investigación también fue apoyada por la “National Aeronautics and Space Administration (NASA) Terrestrial Ecology Program grant # NNH08ZDA001N-TE/ 08-TE08-0037. El apoyo para el monitoreo de parcelas de RAINFOR y ForestPlots.net en Perú provino de una subvención avanzada del European Research Council (ERC) Advanced Grant (T-FORCES, “Tropical Forests in the Changing Earth System”, 291585), Natural Environment Research Council grants (including NE/F005806/), NE/D005590/1, y NE/N012542/1), y la fundación Gordon and Betty Moore.



## 5. LITERATURA CITADA

- Baker, T. R., E. V. Miñano, K. Banda-R, D. del C. Torres, W. Farfan-Rios, I. T. Lawson, E. L. Alemán, N. P. Camacho, M. R. Silman, K. H. Roucoux, O. L. Phillips, E. N. H. Coronado, A. M. Mendoza, and R. R. Gonzáles. 2021. From plots to policy: How to ensure long-term forest plot data supports environmental management in intact tropical forest landscapes. *Plants, People, Planet* 3:229–237.
- Brienen, R. J. W., O. L. Phillips, T. R. Feldpausch, E. Gloor, T. R. Baker, J. Lloyd, G. Lopez-Gonzalez, A. Monteagudo-Mendoza, Y. Malhi, S. L. Lewis, R. Vásquez Martínez, M. Alexiades, E. Álvarez Dávila, P. Alvarez-Loayza, A. Andrade, L. E. O. C. Aragão, A. Araujo-Murakami, E. J. M. M. Arets, L. Arroyo, G. A. Aymard C., O. S. Bánki, C. Baraloto, J. Barroso, D. Bonal, R. G. A. Boot, J. L. C. Camargo, C. V. Castilho, V. Chama, K. J. Chao, J. Chave, J. A. Comiskey, F. Cornejo Valverde, L. da Costa, E. A. de Oliveira, A. Di Fiore, T. L. Erwin, S. Fauset, M. Forsthofer, D. R. Galbraith, E. S. Grahame, N. Groot, B. Hérault, N. Higuchi, E. N. Honorio Coronado, H. Keeling, T. J. Killeen, W. F. Laurance, S. Laurance, J. Licona, W. E. Magnussen, B. S. Marimon, B. H. Marimon-Junior, C. Mendoza, D. A. Neill, E. M. Nogueira, P. Núñez, N. C. Pallqui Camacho, A. Parada, G. Pardo-Molina, J. Peacock, M. Peña-Claros, G. C. Pickavance, N. C. A. Pitman, L. Poorter, A. Prieto, C. A. Quesada, F. Ramírez, H. Ramírez-Angulo, Z. Restrepo, A. Roopsind, A. Rudas, R. P. Salomão, M. Schwarz, N. Silva, J. E. Silva-Espejo, M. Silveira, J. Stropp, J. Talbot, H. ter Steege, J. Teran-Aguilar, J. Terborgh, R. Thomas-Caesar, M. Toledo, M. Torello-Raventos, R. K. Umetsu, G. M. F. van der Heijden, P. van der Hout, I. C. Guimarães Vieira, S. A. Vieira, E. Vilanova, V. A. Vos, and R. J. Zagt. 2015. Long-term decline of the Amazon carbon sink. *Nature* 519:344–348.
- Bush, M. B., M. R. Silman, and D. H. Urrego. 2004. 48,000 years of climate and forest change in a biodiversity hot spot. *Science (New York, N.Y.)* 303:827–9.
- Fadrique, B., S. Báez, Á. Duque, A. Malizia, C. Blundo, J. Carilla, O. Osinaga-Acosta, L. Malizia, M. Silman, W. Farfán-Ríos, Y. Malhi, K. R. Young, F. Cuesta C., J. Homeier, M. Peralvo, E. Pinto, O. Jadan, N. Aguirre, Z. Aguirre, and K. J. Feeley. 2018. Widespread but heterogeneous responses of Andean forests to climate change. *Nature* 564:207–212.
- Farfan-Rios, W. 2019. Forest responses to climate change along an Andes-to-Amazon elevational gradient. Dissertation, Wake Forest University, Winston Salem, North Carolina, USA.
- Farfan-Rios, W., K. Garcia-cabrera, N. Salinas, M. N. Raurau-quisiyupanqui, and M. R. Silman. 2015. Lista anotada de árboles y afines en los bosques montanos del sureste peruano : la importancia de seguir recolectando. *Revista Peruana de Biología* 22:145–174.
- Feldpausch, T. R., O. L. Phillips, R. J. W. Brienen, E. Gloor, J. Lloyd, G. Lopez-Gonzalez, A. Monteagudo-Mendoza, Y. Malhi, A. Alarcón, E. Álvarez Dávila, P. Alvarez-

- Loayza, A. Andrade, L. E. O. C. Aragao, L. Arroyo, G. A. Aymard C., T. R. Baker, C. Baraloto, J. Barroso, D. Bonal, W. Castro, V. Chama, J. Chave, T. F. Domingues, S. Fauset, N. Groot, E. Honorio C., S. Laurance, W. F. Laurance, S. L. Lewis, J. C. Licona, B. S. Marimon, B. H. Marimon-Junior, C. Mendoza Bautista, D. A. Neill, E. A. Oliveira, C. Oliveira dos Santos, N. C. Pallqui Camacho, G. Pardo-Molina, A. Prieto, C. A. Quesada, F. Ramírez, H. Ramírez-Angulo, M. Réjou-Méchain, A. Rudas, G. Saiz, R. P. Salomão, J. E. Silva-Espejo, M. Silveira, H. ter Steege, J. Stropp, J. Terborgh, R. Thomas-Caesar, G. M. F. van der Heijden, R. Vásquez Martínez, E. Vilanova, and V. A. Vos. 2016. Amazon forest response to repeated droughts. *Global Biogeochemical Cycles*.
- Malcolm, J. R., C. Liu, R. P. Neilson, L. Hansen, and L. Hannah. 2006. Global warming and extinctions of endemic species from biodiversity hotspots. *Conservation Biology* 20:538–548.
- Malhi, Y., J. T. Roberts, R. A. Betts, T. J. Killeen, W. Li, and C. A. Nobre. 2008. Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. *Science (New York, N.Y.)* 319:169–72.
- Malhi, Y., M. Silman, N. Salinas, M. Bush, P. Meir, and S. Saatchi. 2010. Introduction: Elevation gradients in the tropics: laboratories for ecosystem ecology and global change research. *Global Change Biology* 16:3171–3175.
- Malhi, Y., and J. Wright. 2004. Spatial patterns and recent trends in the climate of tropical rainforest regions. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences* 359:311–29.
- Myers, N., R. A. Mittermeier, C. G. Mittermeier, G. A. B. da Fonseca, and J. Kent. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403:5.
- Phillips, O. L., T. R. Baker, L. Arroyo, N. Higuchi, T. J. Killeen, W. F. Laurance, S. L. Lewis, J. Lloyd, Y. Malhi, A. Monteagudo, D. A. Neill, P. N. Vargas, J. N. M. Silva, J. Terborgh, R. V. Martinez, M. Alexiades, S. Almeida, S. Brown, J. Chave, J. A. Comiskey, C. I. Czimczik, A. Di Fiore, T. Erwin, C. Kuebler, S. G. Laurance, H. E. M. Nascimento, J. Olivier, W. Palacios, S. Patino, N. C. A. Pitman, C. A. Quesada, M. Salidas, A. T. Lezama, and B. Vinceti. 2004. Pattern and process in Amazon tree turnover, 1976-2001. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences* 359:381–407.
- Rosenzweig, C., D. Karoly, M. Vicarelli, P. Neofotis, Q. Wu, G. Casassa, A. Menzel, T. L. Root, N. Estrella, B. Seguin, P. Tryjanowski, C. Liu, S. Rawlins, and A. Imeson. 2008. Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change. *Nature* 453:353–7.
- Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, and P. M. Midgley, editors. 2013. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth

Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.  
Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

- Urrutia, R., and M. Vuille. 2009. Climate change projections for the tropical Andes using a regional climate model: Temperature and precipitation simulations for the end of the 21st century. *Journal of Geophysical Research* 114:D02108.
- Vicuña Miñano, E., T. R. Baker, K. Banda-R., E. Honorio Coronado, A. Monteagudo, O. L. Phillips, D. Del Castillo Torres, W. Farfan Rios, G. Flores, D. Huaman, K. Tante Huaman, G. Hidalgo Pizango, E. Lojas Aleman, J. B. Melo, G. C. Pickavance, M. Rios, M. Rojas, N. Salinas, and R. Vasquez Martinez. 2019. El sumidero de carbono en los bosques primarios amazónicos es una oportunidad para lograr la sostenibilidad de su conservación. *Folia Amazónica* 27:101–109.
- Vuille, M., and R. S. Bradley. 2000. Mean annual temperature trends and their vertical structure in the tropical Andes. *Geophysical Research Letters* 27:3885–3888.
- Williams, J. W., S. T. Jackson, and J. E. Kutzbach. 2007. Projected distributions of novel and disappearing climates by 2100 AD. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104:5738–5742.