

**Fausto O. Sarmiento • Elena V. Sarmiento**

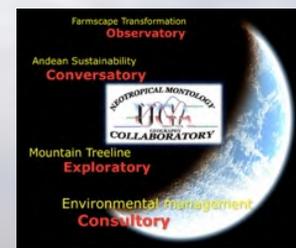
## **FLANCOS ANDINOS:**

# **Paleoecología, Biogeografía Crítica y Ecología Política en los Climas Cambiantes de los Bosques Neotropicales de Montaña**



*Fausto O. Sarmiento* enseña geografías de montaña y dirige el Colaboratorio de Montología Neotropical en el Departamento de Geografía de la Universidad de Georgia, Estados Unidos de América.

*Elena V. Sarmiento* enseña español intermedio y avanzado en el Departamento de Lenguas Románicas en la Universidad de Georgia, Estados Unidos de América.



FONDO EDITORIAL

**Foto portada anterior:**

Vista panorámica del *tayta Imbabura* sirviendo de *marco* al paisaje humanizado de la cuenca de la laguna de *Imbakucha* en el norte de Ecuador. *Crédito fotográfico:* César Cotacachi, Ethnostek ([www.cesarcotacachi.wixsite.com](http://www.cesarcotacachi.wixsite.com)).

**Foto solapa anterior:**

Vista aérea de la cima del volcán *Kutucpachi*, mostrando el cráter salpicado de ceniza fresca luego de una erupción fumarólica intensa. El Cotopaxi fue considerado por Humboldt como el volcán activo más alto y la montaña simétrica más bella. *Crédito fotográfico:* Elena V. Sarmiento (Colaboratorio de Montología Neotropical/VULPES).

Esta página se ha dejado en blanco a propósito.

**Fausto O. Sarmiento • Elena V. Sarmiento**

**FLANCOS ANDINOS:**

**Paleoecología, Biogeografía Crítica y  
Ecología Política en los  
Climas Cambiantes de los Bosques  
Neotropicales de Montaña**





## FLANCOS ANDINOS

**Autores:** Fausto Sarmiento y Elena V. Sarmiento, Athens

**Edición y estilo:** Elena V. Sarmiento; Benjamín Milano, Athens

**Coordinadores internacionales:** Rachid Cheddadi, Montpellier; Mark B. Bush, Melbourne

**Coordinadores nacionales:** Mario Donoso-Correa, Cuenca; Jack Rodríguez, Quito

**Autores de recuadros:** Jordy Alvarado, Carlos Andrade, Mercedes Asanza, Moufok Azzoug, Selene Báez, Virgilio Benavides, Carolina Boada, Bynum Boley, Pablo Borja, Antonio Borrero-Vega, Frederic Boyer, Tomás Bravo, Chloé Brochard, Mark Bush, Marlon Calispa, Abdoulaye Camara, Matthieu Carré, Gregório Ceccantini, Miryam Chalan, Rachid Cheddadi, Manuel Chevalier, Felipe Cisneros, Margot Cohen, Eric Coissac, Oliver Coomes, Paula Cordero, Pedro Corrêa, Ariana Cueva, Taraka Davies-Barnard, Alex Défaz, Pierre Delmelle, Elisabeth Dietze, Marie Dury, Eduardo Erazo-Acosta, Xavier Fettweis, Francesco Ficetola, Denis Fiorillo, Louis François, Amadou Gaye, Catalina González-Arango, Gerard Govers, Lourdes Guamán, Alain Hambuckers, Yassine El Hasnaoup, Alexandra-Jane Henrot, Nancy Hilgert, Kangyou Huang, Serge Janicot, Myriam Khodri, Inhye Kong, Albán Lazar, Claire Lazareth, SEE.UU.na León, Anne-Marie Lézine, María del Carmen López, Patricio López, Ana Mariscal, Carmen Mariscal, Melissa Martínez, Crystal McMichael, Jérémy Migliore, Juliette Mignot, Danilo Minga, Nancy Mitma-García, Armando Molina, Kabir Montesinos, Diego Mora, David Neill, Majda Nourelbait, Paulo de Oliveira, Manuela Ormaza, Sebastián Páez, Marc Paillet, Ximena Palomeque, Natalia Pardo, Silvana Patiño, Nicholas Patris, Augusto Pereira-Filho, Océane Perrot, Jorge Pinaya, Darwin Pucha-Cofrep, Marc Paillet, Kristof Porteman, Dunlián Qiu, Jeanine Rheemtulla, Miriam Reibán, Jack Rodríguez, Rachel Sales, Enno Scheffuss, Courtney Shadik, Zehao Shen, Pierre Taberlet, Gustavo Tenorio, Frank Troillet, Paul Valdes, Bryan Valencia, Nathalia Valencia, Veerle Vanacker, George Varela, Marcos Villacis, Andrea Villota, Paul Vintimilla, Malick Wade, Qiuchi Wan, Sara Wilson, Paul Zaharias, Zhuo Zheng.

**Diseño gráfico:** Jesús Rascón Barrios

**Coordinación de impresión y distribución:** Manuel Oliva, Jack Rodríguez

**Fotografías:** César Cotacachi, Michell León, Fausto Sarmiento, Elena V. Sarmiento

**Mapas:** Mario Donoso-Correa

**Edita:** Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM) - Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES), Fondo Editorial UNTRM Campus Universitario, Calle Higos Urco N° 342-350-356, Chachapoyas -Amazonas, Perú  
Primera edición - Marzo de 2021

ISBN: 000-000-00000-0-0

INDECOPI - Derecho de Autor: Partida Registral N° 00000-0000

DOI:xxxx

Copyright © 2021: UNTRM FONDO EDITORIAL en la presente edición.

Cualquiera de las opiniones expresadas en el presente libro son de responsabilidad de los autores, y no reflejan necesariamente las de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas y del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva.

Se autoriza la reproducción total o parcial del contenido de este libro siempre y cuando sea con fines educativos y científicos y se indique la fuente.

Esta publicación ha sido elaborada gracias al apoyo del *proyecto VULPES* (Vulnerabilidad de Poblaciones bajo Escenarios Extremos) como parte del Foro Belmont fomentando la investigación del cambio climático en montañas. Los insumos explicativos y casos de estudio embebidos en el texto provienen de los resúmenes de la conferencia internacional sobre “*Diversidad Vegetal Pasada, Cambio Climático y Conservación de Montañas*” organizada por el *proyecto VULPES* y el *Colaboratorio de Montología Neotropical* como socialización final de sus estudios de diversificación, distribución y conservación de plantas indicadoras de montañas tropicales.

DISTRIBUCIÓN GRATUITA- PROHIBIDA SU VENTA



## Presentación

Los “Flancos Andinos” son espacios constituidos por sistemas de montañas que se encuentran en la parte occidental y oriental de las cordilleras alto andinas. Según Javier Pulgar Vidal y su teoría de las 8 regiones del Perú, los flancos orientales son denominados como Selva Alta o Rupa Rupa, siendo un espacio geográfico que se encuentra entre la cordillera altoandina y la selva baja u Omagua. Además, reciben otros nombres como: Ceja de Selva, Bosques de Neblina, Montaña Alta, Ecosistemas de Transición, entre otros. Los Flancos Andinos se caracterizan por pisos altitudinales y algunas exclusivas zonas de vida que contemplan ecosistemas diversos y características propias que van cambiando paulatinamente conforme van acercándose hacia la selva baja o el llano amazónico; a esto se suma la constante interacción de los usos y costumbres de la gente que van cambiando el paisaje cultural con el transcurrir del tiempo.

La Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas-Perú, a través del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES CES) y la Universidad de Georgia USA, vienen trabajando de manera coordinada en el desarrollo de investigaciones en los ecosistemas frágiles de Ceja de Selva, lo cual ha conllevado a realizar varias publicaciones de manera conjunta.

Es un honor hacer la presentación de éste libro, que es el fruto del esfuerzo de dos grandes y renombrados investigadores que por largos años vienen investigando a los bosques de montaña, ellos son los profesores Fausto Sarmiento y Elena V. Sarmiento, a quienes tuvimos la oportunidad de tenerlos en nuestra universidad, y ha permitido que en la actualidad se vengán desarrollando y gestando muchos proyectos de investigación; estamos seguros que estos trabajos están fortaleciendo los lazos institucionales, académicos e investigativos entre las dos instituciones académicas.

Espero que este trabajo sea una herramienta para que los lectores enriquezcan sus conocimientos e incentive a desarrollar investigaciones científicas en temas relacionados con cambio climático y biodiversidad en los paisajes socio-ecológicos de los flancos andinos.

***Manuel Segundo Oliva Cruz, M.Sc***

*Director, Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva  
Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas  
Chachapoyas, Perú, Marzo 2021*



Fotografía de la Laguna de los Cóndores, en Chachapoyas, Amazonas, Perú. Este es un sitio sagrado en donde la naturaleza y la cultura se asocian con tumbas y sarcófagos en los acantilados y con remanentes de bosque andino en su perímetro.  
*Crédito fotográfico:* H. Michell León León ([www.photomichell-leon.com](http://www.photomichell-leon.com)).





## Índice de capítulos

<b>PRESENTACIÓN</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE CAPÍTULOS</b>	<b>8</b>
<b>ÍNDICE DE RECUADROS</b>	<b>9</b>
<b>PREFACIO</b>	<b>18</b>
<b>DEDICATORIA</b>	<b>22</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>23</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>25</b>
<b>II. TRANSFORMACIÓN DE LOS PAISAJES MONTANOS</b>	<b>55</b>
<b>III. CAMBIOS CLIMÁTICOS Y ASUNTOS METODOLÓGICOS</b>	<b>71</b>
<b>IV. LA VEGETACIÓN EN EL HOLOCENO TARDÍO</b>	<b>89</b>
<b>V. ACTUOECOLOGÍA DEL ANTROPOCENO</b>	<b>101</b>
<b>VI. MANUFACTURA DEL PAISAJE MONTAÑO</b>	<b>113</b>
<b>VII. CONSERVACIÓN DE BIODIVERSIDAD Y MANEJO DE RECURSOS</b>	<b>127</b>
<b>VIII. RESTAURACIÓN Y DESARROLLO REGENERATIVO</b>	<b>137</b>
<b>IX. PROSPECTIVA BIOCULTURAL Y MICRORREFUGIOS</b>	<b>151</b>
<b>X. CONCLUSIÓN</b>	<b>171</b>
<b>XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>179</b>
<b>XII. CODA</b>	<b>199</b>



## Índice de recuadros

- Recuadro 1: El “Período de Humedad en África” y los bosques de montaña en el norte de África** 37  
**Rachid CHEDDADI<sup>1</sup>, Majda NOURELBAIT<sup>1</sup>, Matthieu CARRE<sup>2</sup>, Enno SCHEFUSS<sup>3</sup>**  
<sup>1</sup>ISEM, Instituto Ciencias Evolución. Universidad de Montpellier. CNRS-UM-IRD, Francia. <sup>2</sup>LOCEAN, Universidad Pierre et Marie Curie, París, Francia. <sup>3</sup>MARUM, Universidad de Bremen, Alemania.
- Recuadro 2: Revisando la evidencia paleoecológica en la búsqueda de erupciones volcánicas pasadas en el norte de los Andes** 49  
**Catalina GONZÁLEZ-ARANGO<sup>1</sup>, Natalia PARDO<sup>2</sup>, N. Melissa MARTÍNEZ<sup>1</sup>, Tomás BRAVO<sup>3</sup>**  
<sup>1</sup>Departamento de Ciencias Biológicas, Universidad de los Andes, Bogotá-Colombia.  
<sup>2</sup>Departamento de Geociencias, Universidad de los Andes, Bogotá-Colombia.  
<sup>3</sup>Habitante de la Vereda El Silencio, Tablón de Gómez, Nariño-Colombia
- Recuadro 3: Journal of Mountain Science: Una plataforma importante para los investigadores de montaña** 51  
**QIU Dunlian**  
Instituto de Riesgos de Montaña y Medio Ambiente, Academia China de Ciencias, Chengdu 610041, China.
- Recuadro 4: Cambio de vegetación en los Tres Ríos Paralelos en China** 59  
**Zehao SHEN**  
Universidad de Peking. Peking. China.
- Recuadro 5: Microrrefugios, migración y conservación** 61  
**Mark BUSH<sup>1</sup>, Bryan VALENCIA<sup>2</sup>, Courtney SHADIK<sup>1</sup>**  
<sup>1</sup>Instituto de Ecología Global, Departamento de Ciencias Biológicas, Instituto de Tecnología de Florida. Melbourne, Fl. EE.UU..  
<sup>2</sup>Departamento de Geociencias, KIAM Universidad Nacional Amazónica, Tena. Ecuador.
- Recuadro 6: Patrones espacio-temporales de gentes precolombinas en la Gran Amazonía** 65  
**Crystal N.H. MCMICHAEL<sup>1</sup>, Mark B. BUSH<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>Departamento de Ecosistemas y Paisajes Dinámicos, Instituto de Biodiversidad y Ecosistemas Dinámicos (IBED), Facultad de Ciencias, Universidad de Amsterdam, Holanda.  
<sup>2</sup>Instituto de Ecología Global, Departamento de Ciencias Biológicas, Instituto de Tecnología de Florida. Melbourne, Fl. EE.UU..



**Recuadro 7: Mujeres indígenas del departamento del Cauca en la lucha territorial contra el desarrollo extractivista de la minería el suroeste colombiano** 67  
**Eduardo ERAZO ACOSTA**

Grupo de Investigación "Currículo y Universidad" Universidad de Nariño, Colombia.

**Recuadro 8. Importancia de mantener las colinas boscosas que rodean la ciudad de Guayaquil para la diversidad de la avifauna urbana** 69

**Nancy HILGERT, Virgilio BENAVIDES, George VARELA**  
BENHIL C. LTDA.

**Recuadro 9. Creando modelos para el clima, la vegetación y la biodiversidad del pasado** 75

**Paul J VALDES<sup>1</sup>, Taraka DAVIES-BARNARD<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad de Bristol, UK.

<sup>2</sup>Departamento de Matemáticas, Universidad de Exeter, UK.

**Recuadro 10. Comparación de los modelos estadísticos basados en procesos para calcular los rangos de distribución de las especies de Podocarpus y Afrocarpus en África central y la evaluación de su respuesta al cambio climático.** 76

**Louis FRANÇOIS<sup>1</sup>, Alexandra-Jane HENROT<sup>1</sup>, Marie DURY, Alain HAMBUCKERS<sup>2</sup>, Anne-Marie LEZINE<sup>3</sup>, Jérémy MIGLIORE<sup>3,4</sup>, Marc PAILLET<sup>1</sup>, Franck TROLLIET<sup>1</sup>, Rachid CHEDDADI<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Unidad de Modelaje Ciclos Climáticos y Biogeoquímicos, UR-SPHERES, Universidad de Liège, Bélgica.

<sup>2</sup>Unidad de Biología del Comportamiento, UR-SPHERES, Universidad de Liège, Bélgica.

<sup>3</sup>Laboratorio de Oceanografía y Clima, Universidad Pierre et Marie Curie, Paris, Francia.

<sup>4</sup>Biología Evolutiva y Ecología, Universidad Libre de Bruselas, Bélgica.

<sup>5</sup>Instituto de Ciencias de la Evolución, Universidad de Montpellier, CNRS-UM-IRD, Francia.

**Recuadro 11. Afinación de los resultados de un modelo dinámico de vegetación (CARAIB): La importancia de los rasgos de las plantas para mejorar la precisión de la predicción a nivel de especies arbóreas.** 78

**Alain HAMBUCKERS<sup>1</sup>, Marc PAILLET<sup>2</sup>, Alexandra-Jane HENROT<sup>2</sup>, Franck TROLLIET<sup>1</sup>, Rachid CHEDDADI<sup>1</sup>, Xavier FETTWEIS<sup>3</sup>, Yassine EL HASNAOUI<sup>1</sup>, Marie DURY<sup>2</sup>, Kristof PORTEMAN<sup>1</sup>, Louis FRANÇOIS<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Unidad de Biología del Comportamiento, UR-SPHERES, Universidad de Liège, Bélgica.

<sup>2</sup>Unidad de Modelaje Ciclos Climáticos y Biogeoquímicos, UR-SPHERES, Universidad de Liège, Bélgica.

<sup>3</sup>Instituto de Ciencias de la Evolución, Universidad de Montpellier, CNRS-UM-IRD, Francia.



<sup>4</sup>Laboratorio de Climatología, UR-SPHERES, Universidad de Liège, Bélgica.

<sup>5</sup>Laboratorio de Geología Marina, SIUMV, Marruecos.

**Recuadro 12. Evidencia de aridificación antropogénica abrupta en el Sahel occidental a partir de un registro paleoclimático de 1.600 años** **83**

*Mathieu CARRÉ<sup>1,2</sup>, Moufok AZZOUĞ<sup>3</sup>, Paul ZAHARIAS<sup>4</sup>, Abdoulaye CAMARA<sup>5</sup>, Rachid CHEDDADI<sup>6</sup>, Manuel CHEVALIER<sup>7</sup>, Denis FIORILLO<sup>8</sup>, Amadou T. GAYE<sup>9</sup>, Serge JANICOT<sup>4</sup>, Myriam KHODRI<sup>1</sup>, Alban LAZAR<sup>1</sup>, Claire E. LAZARETH<sup>1</sup>, Juliette MIGNOT<sup>1</sup>, Nancy MITMA GARCIA<sup>6</sup>, Nicolas PATRIS<sup>10</sup>, Océane PERROT<sup>6</sup>, Malick WADE<sup>11</sup>.*

<sup>1</sup>Universidades Sorbona (UPMC, Univ Paris 06)-CNRS-IRD-MNHN, Laboratorio LOCEAN, París, Francia.

<sup>2</sup>CIDIS-LID-Facultad de Ciencias y Filosofía-Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima, Perú. <sup>3</sup>Departamento de ingeniería de procesos, Facultad de Tecnología, Universidad de Bejaia, Algeria. <sup>4</sup>ISYEB – UMR 7205 – CNRS, MNHN, UPMC (Universidad Paris 6), EPHE – Museo Nacional de Historia Natural, Universidades Sorbona, París, Francia.

<sup>5</sup>Instituto Fundamental de Africa Negra, Universidad Cheikh Anta Diop, Dakar, Senegal.

<sup>6</sup>CNRS-UM-IRD-EPHE, Ciencias de Evolución, Universidad de Montpellier, CNRS-UM-IRD, Francia.

<sup>7</sup>Instituto de Dinámica de la Superficie Terrestre, Universidad de LaEE.UU.nne, Suiza.

<sup>8</sup>CNRS-MNHN, Arqueología, arqueobotánica, sociedades, prácticas ambientales. Museo Nacional de Historia Natural, París, Francia.

<sup>9</sup>Instituto Politécnico, Universidad Cheikh Anta Diop, Dakar, Senegal.

<sup>10</sup>IRD-CNRS-UM, Hidrociencias Montpellier, Montpellier, Francia.

<sup>11</sup>Laboratorio Simeon Fongang de física. Universidad Cheikh Anta Diop, Dakar, Senegal.

**Recuadro 13. Genética y biología de la conservación en el contexto de los refugios cuaternarios** **84**

**Pierre TABERLET**

Laboratorio de Ecología Alpina, CNRS UMR 5553, Universidad de Grenoble Alpina, Grenoble, Francia.

**Recuadro 14. Diversidad genética de *Fagus longipetiolata* en China subtropical** **86**

*Qiuchi WAN<sup>1</sup>, Frédéric BOYER<sup>2</sup>, Kangyou HUANG<sup>1</sup>, Zhuo ZHENG<sup>1</sup>, Rachid CHEDDADI<sup>3</sup>, Pierre TABERLET<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>School of Earth Science and Geological Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou, Guangdong, China. <sup>2</sup>LECA, University of Grenoble Alpes, Grenoble, France. <sup>3</sup>ISEM, University of Montpellier, France



- Recuadro 15. Efectos del cambio ambiental global actual en los bosques de montaña neotropicales** 87  
**Selene BÁEZ**  
Escuela Politécnica Nacional. Quito. Ecuador.
- Recuadro 16. El uso del fuego para identificar refugios vegetación del Holoceno en los Andes peruanos** 93  
**Rachel SALES, Mark BUSH**  
Instituto de Ecología Global, Departamento de Ciencias Biológicas, Instituto de Tecnología de Florida. Melbourne, Fl. EE.UU..
- Recuadro 17. Reconstrucción de la vegetación, el clima y el impacto humano en el Holoceno medio y tardío en el páramo del Cajas – Ecuador** 94  
**Manuela ORMAZARODRÍGUEZ, Susana LEÓN YÁNEZ.**  
Laboratorio de Paleoecología y Botánica Andina, Escuela de Ciencias Biológicas, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Recuadro 18. Tres milenios de dinámica de la vegetación y el clima en tres volcanes de la Cordillera Occidental del Ecuador: Mojanda, Pichincha y Chimborazo** 98  
**SUSANA LEÓN YÁNEZ, Andrea VILLOTA, Alex DÉFAZ, Carolina BOADA**  
Escuela de Ciencias Biológicas, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Recuadro 19: Dinámica del paisaje en ecosistemas andinos tropicales en respuesta a perturbaciones naturales y antropogénicas** 105  
**Veerle VANACKER<sup>1</sup>, Armando MOLINA, Pablo BORJA, Gustavo TENORIO, Sebastian PAEZ, Marlon CALISPA, Gerard GOVERS, Diego MORA, Pierre DELMELLE, Marcos VILLACIS, Nathalia VALENCIA, Paul VINTIMILLA, Felipe CISNEROS.**  
<sup>1</sup>Universidad de Lovaina, Bélgica.
- Recuadro 20: Los anillos de los árboles como pistas para obtener registros climáticos históricos en el sur de Ecuador** 107  
**Darwin PUCHA-COFREP, Miryam CHALÁN, Lourdes Guamán, Silvana PATIÑO, Ariana CUEVA, Jordy Alvarado.**  
Laboratorio de Dendrocronología, Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Nacional de Loja, Ecuador.
- Recuadro 21: Pasado y futuro de los bosques de las tierras altas de Brasil: Comprender los microrrefugios de la montaña y su relación con el cambio climático** 108  
**Paulo E. De OLIVEIRA<sup>1,2</sup>, Jorge L. D. PINAYA<sup>3</sup>, Gregório C. T. CECCANTINI<sup>4</sup>, Maria del Carmen S. LOPEZ<sup>5</sup>, Augusto J. PEREIRA FILHO<sup>6</sup>, Pedro L.P. CORRÊA<sup>7</sup>**  
<sup>1</sup>Instituto de Geociencias, Universidad de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.



<sup>2</sup>Acción y Ciencia, Museo Field de Historia Natural, Chicago, Illinois, EE.UU.

<sup>3</sup>Escuela Politécnica. Universidad de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.

<sup>4</sup>Instituto de Biociencias, Universidad de São Paulo. São Paulo, SP, Brasil.

<sup>5</sup>Instituto de Astronomía, Geofísica y Ciencias Atmosféricas, Universidad de São Paulo, SP, Brasil.

**Recuadro 22: Partes comprometidas con la conservación del río Machángara: un exitoso estudio de caso de veinte años en la ciudad de Cuenca** 110

**Antonio BORRERO-VEGA**

Electro Generadora del Austro ELECAUSTRO S.A., Universidad de Cuenca, Ecuador.

**Recuadro 23: Diversidad de la avifauna urbana en los bosques de las colinas de Guayaquil** 120

**Nancy HILGERT de BENAVIDES, Virgilio BENAVIDES, George D. VARELA BENHIL C. LTDA.**

**Recuadro 24: Identificar valores sociales para la conservación del paisaje: un caso del Parque Nacional El Cajas** 122

**Inhye KONG, Fausto SARMIENTO**

Colaboratorio de Montología Neotropical, Departamento de Geografía, Universidad de Georgia. Athens, Ga. EE.UU.

**Recuadro 25: Microrrefugios, migración y conservación** 123

**Mark BUSH<sup>1</sup>, Bryan VALENCIA<sup>2</sup>, Courtney SHADIK<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Instituto de Ecología Global, Departamento de Ciencias Biológicas, Instituto de Tecnología de Florida. Melbourne, Fl. EE.UU.

<sup>2</sup>Departamento de Geociencias, KIAM Universidad Nacional Amazónica, Tena. Ecuador.

**Recuadro 26: ¿Qué aprendemos de la última transición glacial-interglacial para comprender y predecir la respuesta de las poblaciones de Podocarpus de África ecuatorial occidental al cambio climático?** 131

**Anne-Marie LÉZINE**

Laboratorio de Oceanografía y de Clima: Experimentación y Aproximaciones Numéricas (LOCEAN). UMR CNRS 7159. Universidad Sorbona. París, Francia.



**Recuadro 27: Evaluación de los efectos de las actividades socioeconómicas en el cambio del uso del suelo para su posterior análisis en la construcción de Escenarios de Cambio Climático en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Cajas** 133

**Paula CORDERO**

CEDIA Universidad Católica de Cuenca, Universidad del Azuay y Universidad de Cuenca. Ecuador.

**Recuadro 28: Sucesión natural o asistida como enfoque de recuperación forestal en tierras abandonadas con diferente historia de uso de la tierra en los Andes del sur de Ecuador** 141

**Ximena PALOMEQUE**

Escuela de Ingeniería Agronómica. Universidad de Cuenca. Ecuador.

**Recuadro 29: Red de Restauración Naturaleza-Cultura: Un Proyecto Piloto en Ecuador** 143

**Ana MARISCAL<sup>1,2</sup>, Carmen MARISCAL<sup>1</sup>, Carlos ANDRADE<sup>1</sup>, Patricio LOPEZ<sup>1</sup>, Margot COHEN<sup>3,4</sup>, Chloé BROCHARD<sup>5</sup>, Elisabeth DIETZE<sup>1,6</sup>**

<sup>1</sup>Fundación Cambugan, Atacames N26 48 and Humberto Albornoz, Quito, Ecuador.

<sup>2</sup>Universidad Andina Simón Bolívar, Quito, Ecuador.

<sup>3</sup>Comisión Fulbright, Quito, Ecuador.

<sup>4</sup>Universidad San Francisco de Quito, Campus Cumbayá, Quito, Ecuador.

<sup>5</sup>Universidad de las Ciencias Po Toulouse, Toulouse, Francia.

<sup>6</sup>Instituto Alfred-Wegener, Centro Helmholtz de Investigaciones Polares y Marinas, Grupo de Sistemas Ambientales Polares Terrestres, GFZ Centro Alemán de Investigación de Ciencias de la Tierra, Sección Geoquímica Orgánica. Potsdam, Germany.

**Recuadro 30: Técnicas ancestrales para la restauración de ecosistemas degradados: un análisis de caso para una propuesta de restauración de una granja de tierras sagradas en Tumianuma, Loja, Ecuador** 147

**Virgilio BENAVIDES ANDRADE, Nancy HILGERT VALDERRAMA**

Escuela de Postgrado de Ciencias Ambientales. Universidad Nacional de Piura.

**Recuadro 31: La diversidad genética de las plantas y sus refugios a largo plazo** 155

**Mark BUSH<sup>1</sup>, Bryan VALENCIA<sup>2</sup>, Courtney SHADIK<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Instituto de Ecología Global, Departamento de Ciencias Biológicas, Instituto de Tecnología de Florida. Melbourne, Fl. EE.UU.

<sup>2</sup>Departamento de Geociencias, KIAM Universidad Nacional Amazónica, Tena. Ecuador.



**Recuadro 32: Diversidad genética, microrrefugios y conservación del cedro del Atlas en Marruecos** 156

**Gentile Francesco FICETOLA**<sup>1,2</sup>, **Rachid CHEDDAD**<sup>3</sup>, **Frederic BOYER**<sup>1</sup>,  
**Eric COISSAC**<sup>1</sup>, **Pierre TABERLET**<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Grenoble Alpina, CNRS, Laboratorio de Ecología Alpina (LECA), Grenoble, Francia.

<sup>2</sup>Departamento de Ciencia y Política Ambiental, Universidad del Estudio de Milán. Italia.

<sup>3</sup>ISEM, Universidad de Montpellier, CNRS, Montpellier, Francia.

**Recuadro 33: Impactos humanos precolombinos en los microrrefugios a media elevación en los Andes** 158

**Rachel SALES**<sup>1</sup>, **Crystal McMICHAEL**<sup>2</sup>, **Mark BUSH**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ecología Global, Departamento de Ciencias Biológicas, Instituto de Tecnología de Florida. Melbourne, Fl. EE.UU.

<sup>2</sup>Instituto de Biodiversidad y Ecosistemas Dinámicos. Universidad de Amsterdam, Holanda.

**Recuadro 34: Los pequeños fragmentos de bosque nuboso de montaña son importantes para conservar la diversidad de árboles en los Andes ecuatorianos y debemos trabajar con los agricultores para restaurarlos** 161

**Sarah Jane WILSON**, **Jeanine RHEMTULLA**, **Oliver COOMES**

Departamento de Geografía, Universidad McGill. Canadá.

**Recuadro 35: ¿Puede el turismo sustentable ayudar al cultivo de alimentos indígenas? El potencial para una relación simbiótica sostenible** 166

**B. Bynum BOLEY**

Escuela Forestal y de Recursos Naturales Warnell. Universidad de Georgia, Athens, Georgia. EE.UU..

**Recuadro 36: Recuadro 36: La transformación del paisaje tropandino en la búsqueda de legados ecológicos en microrrefugios que permitan la sustentabilidad regenerativa** 168

**Jack RODRIGUEZ**<sup>1</sup>, **Fausto O. SARMIENTO**<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Hoturis, Hotelería y Turismo. Hostería Cumandá, Jardín Etnobotánico Hermano. Baeza, Quijos, Ecuador. <sup>2</sup>Colaboratorio de Montología Neotropical, Departamento de Geografía, Universidad de Georgia. Athens, GA. 30602. EE.UU.

**Recuadro 37: De los microrrefugios y la montología a la genómica: hacia una ciencia transdisciplinaria de los estudios de montaña** 176

**Fausto SARMIENTO**

Colaboratorio de Montología Neotropical, Departamento de Geografía, Universidad de Georgia. Athens, Ga.30602. EE.UU.



Fotografía del grupo de editores y autores de los recuadros registrada durante la conferencia internacional VULPES sobre Diversidad Vegetal Pasada, Cambio Climático y Conservación de Montañas que ocurrió en la Universidad de Cuenca en Marzo 2019. *Crédito fotográfico:* Dunlian Qiu ([www.jms.cn](http://www.jms.cn))





## Prefacio

Para mí es un gran honor, inesperado, que los autores me hayan pedido un breve prefacio para el presente volumen. De hecho, fue tan inesperado que me sentí tentado a preguntarles: ¿Por qué yo? No soy geógrafo, geólogo, biólogo, paleoecólogo ni especialista en ninguna de las disciplinas afines. Tampoco tengo un alto perfil académico, aunque somos muy pocos quienes nos dedicamos a la arqueología de los flancos andinos orientales. En fin, no les pregunté... Me quedé contento de que se incluyera la voz de un antropólogo especializado en la arqueología del paisaje. Igual que las disciplinas aquí representadas, la arqueología ha adoptado la perspectiva cronológica definida tenuemente como “Antropoceno”, una era caracterizada globalmente por tener los paisajes remodelados por la gente desde hace miles de años.

Lo que puedo ofrecer aquí es la perspectiva de 35 años de trabajo de campo e investigación en los bosques montanos tropicales del noreste de Perú y los valles andinos adyacentes, incluida la región de Chachapoyas, donde los cambios ecológicos vertiginosos ocurren debido a la inmigración y el desarrollo expansivo de la “frontera agrícola”. Mi primera experiencia en el bosque montano tropical nuboso fue en 1985, cuando entré a pie por “la puerta del monte” para participar en el primer inventario de los recursos naturales y culturales dentro del flamante y desconocido Parque Nacional del Río Abiseo. Fui uno de tres estudiantes graduados –junto a Kenneth Young y Donald Rodbell– integrantes de un equipo interdisciplinario de la Universidad de Colorado-Boulder, la Universidad Nacional de Trujillo, y la Universidad Nacional Agraria-La Molina.

Siempre he reconocido el privilegio de investigar en el Gran Pajatén, patrimonio monumental icónico del peruanismo y reconocido sitio de patrimonio mundial de la UNESCO, y también de estudiar asentamientos antiguos cercanos al valle del “río sin nombre” (así fue etiquetado este río en los pocos mapas manuscritos por expedicionarios durante sus reconocimientos previos en 1965, 1966, 1972, y 1980). En nuestro proyecto de 1985 fuimos guiados por fotos aéreas de la década de los 1960s, aspecto que aumentó más el aura de aventura y romance de montaña. En realidad, fueron arduos los viajes de ida y vuelta, las excavaciones debajo de lonas impermeables, y la vida “primitiva” en las carpas. Durante muchos meses acumulados



durante las campañas de campo en el Parque Nacional entre 1985 y 2008, fui testigo de casi todos los extremos del clima, famoso por ser uno de los más caprichosos y a veces feroces del mundo. Después de los primeros días, extrañé mucho mi casa y mi cama. Pensé... ¿quién habría querido vivir aquí?

A la luz de mi linterna dentro de la carpa por las noches, leí los informes de los pioneros de la arqueología de estos bosques más conocidos como “ceja de selva” o “ceja de montaña.” Aunque las ruinas incaicas de *Machu Picchu* y del valle Vilcanota ya se apreciaban en aquel entonces, se puede decir que la arqueología del bosque montano oriental nació durante la década de los 1960s. Anteriormente, los especialistas en la arqueología de Sudamérica expresaron casi unanimidad con la opinión vertida en tomos sintéticos, como el '*Manual de los Indios Sudamericanos*' [sic] emitido por el Instituto Smithsonian, que “las vertientes orientales fueron deshabitadas y que ninguna sociedad podía florecer ni subsistir por su inclemencia medioambiental”. Además, la formación biogeográfica madura y completa actuó como una barrera infranqueable que impidió la expansión de la civilización andina más hacia el oriente, hacia las selvas bajas. En unos pocos momentos del pasado remoto, el bosque sirvió de umbral para movimientos migratorios bajo circunstancias atípicas, como por ejemplo los cambios medioambientales. El opositor más notorio de esta premisa fue el arqueólogo Julio C. Tello.

Pero durante los años 1960s hubo una coincidencia entre una nueva política implementada en el Perú por el entonces presidente Belaúnde, y la presentación de un modelo político-económico de gran influencia dentro de la comunidad académica de andeanistas. La política emitida desde Lima se dictó para aliviar problemas de tenencia y escasez de predios para la población campesina mediante el fomento de migración masiva hacia la selva central. El movimiento poblacional llegó a ser conocido históricamente como la “colonización de la de selva”, y el objetivo desarrollista adquirió un lema lapidario: la “conquista” de la selva. Un triste resultado de este capítulo de la historia es que la colonización desplazó de sus tierras ancestrales a muchas sociedades de pueblos originarios que habitaron las faldas orientales, como los *Asháninka* y las *Yánesha*, quienes ya habían sufrido mucho los abusos de ajenos y advenedizos en sus jivarías.

Simultáneamente, el antropólogo etnohistoriador John Murra realizó análisis de los censos de la época virreinal (conocidos como 'visitas') con los cuales extrajo evidencias de una práctica antigua de las comunidades serranas de “colonizar” los pisos



altitudinales por los dos flancos andinos, para asegurar la autosuficiencia económica de la comunidad entera a través de redes de intercambio basadas en relaciones de parentesco y distribución alimentaria en las laderas. El modelo se introdujo en 1964, y se publicó de forma final en 1972. El esfuerzo de las comunidades de mantener el “control vertical” de las zonas ecológicas mediante colonos instalados en los bosques montanos orientales llegó a ser conocido como la “colonización vertical”. Estos acontecimientos se destinaron a cerrar el círculo narrativo entonces vigente, cuando llegaron a Lima los relatos e informes de hallazgos de ‘ruinas’ por donde los inmigrantes (o colonos) de la sierra rozaron y quemaron el monte para crear campos de cultivo y pastos para el ganado. Estas noticias incentivaron a los arqueólogos a visitar varios sitios montanos y hacer reconocimientos breves que, efectivamente, confirmaron la presencia de asentamientos grandes y restos de sistemas extensos de terrazas agrícolas. También llegaron al recientemente “descubierto” asentamiento monumental de Gran Pajatén; por lo tanto, ya habían llegado a concluir científicamente que la arqueología de los bosques montanos orientales se podía explicar mejor por un movimiento colonizador por parte de sociedades serranas prehispánicas, lo que a la postre se concretizó con la conquista incaica en forma bien organizada. Cabe señalar que algunos arqueólogos ya sospecharon que hubo una ocupación más extensa de las vertientes orientales, lo que advirtieron dentro los informes técnicos, basados siempre en reconocimientos “relámpago”. La Dra. Patricia Lyon (1981), en *Una Frontera Imaginaria*, comentó: “dondequiera que una cantidad razonable de investigación se haya llevado a cabo, encontramos una ocupación y utilización continua del territorio desde las tierras altas hasta la montaña”.

Lo contado en los tres párrafos anteriores resume, en forma destilada, la historia de un marco interpretativo convertido en mito que dominaba en 1985, y que aún persiste tal vez en forma atenuada, pero terco y dogmático. Sin embargo, los datos arqueológicos recuperados hasta ahora dicen lo contrario. Algunos prosélitos siguen propagando el modelo “colonización” y, a menudo, lo hacen a través de sus discípulos. Pero para el visitante que examina de cerca al Gran Pajatén y los abundantes rastros de asentamiento humano en la nuboselva, se vuelve obvio que estos no son restos de una mera colonia. Además de asentamientos grandes con edificios decorados mostrando una estética singular, hay laderas cubiertas por sistemas extensos de terrazas agrícolas, muros curiosos por todos lados, y vestigios de un camino empedrado debajo de la espesura musgosa, todos los elementos de una sociedad entera, autónoma y autóctona... Se observan entierros humanos debajo de rocas, huesos que sobresalen de las grietas entre piedras y tumbas en acantilados con dinteles decorados y estatuillas,



restos de existencias vividas en lugares insólitos, inesperados.

Las excavaciones del subsuelo en Gran Pajatén rindieron granos de maíz y fragmentos de alfarerías foráneas y fechas radiocarbónicas de hasta 2500 años-calibrados antes del presente (AP) como evidencias de actividades tempranas de agricultura e intercambio a larga distancia. Excavaciones en la cueva *Manachaki* recuperaron fechas abarcando 12,000 años-calAP, y una secuencia tan larga como las de otras regiones andinas. Evidencias de intercambio a larga distancia vinculando el área del Río Abiseo con sociedades norteñas y sureñas predominaron hasta los últimos dos milenios cuando recién comenzó el tránsito y trueque Este a Oeste. En el sitio La Playa encontramos fragmentos de cerámica vidriada y una herradura de hierro, pruebas de que persistía una ocupación sostenida durante la época Colonial. Estudios complementarios de los documentos pertenecientes al área del Parque Nacional revelan que las comunidades del bosque referidas como *Sucos* y *Puymal* fueron inspeccionadas por el arzobispo Tomás Toribio Mogrovejo durante su segunda visita pastoral en 1593. Todos los datos indican una ocupación intensa del bosque nublado previamente no reconocida. Durante mi estadía en 1985, pregunté a campesinos de pueblos cercanos sobre el nombre del "río sin nombre" y me dijeron que lo llamaban río 'Montecristo'; así que, Montecristo fue el nombre que utilicé en mi disertación.

Lo que más aprecio del paradigma emergente de la montología es su enfoque holístico, pero aún crítico, al considerar todas las ramas del conocimiento, y buscar servir al bien común donde sea que toque. Son datos de la selva andina recuperados científicamente que pueden devolver sus historias a las poblaciones "olvidadas" de los bosques nublados. ¡La arqueología ya trabaja en forma interdisciplinaria! Me parece que ha llegado el momento, tal vez pasado de tiempo, de unir nuestros brazos y unir nuestras cabezas antes de que todos acabemos siendo "una historia sin gente". Escribiendo en plena pandemia, leyendo sobre la ola política rabiosa actual, revisando los últimos pronósticos sobre el cambio climático futuro, extraño mucho mi carpa en la montaña...

**Warren B. Church, PhD**

*Profesor de Antropología y Arqueología*

*Departamento de Ciencias Terrestres y Espaciales*

*Universidad Estatal de Columbus, Georgia, Marzo 2021*



## Dedicatoria

*Dedicamos esta obra a nuestros hijos,  
Fausto Daniel y Ana Carolina,  
a quienes hemos tratado de presentar el mundo y su belleza;  
la dedicamos también a los jóvenes investigadores  
en quienes se cimenta la confianza para un mejor futuro de los paisajes tropandinos,  
en donde se restauren los bosques neotropicales montanos  
y su patrimonio montológico,  
para que sigan albergando y regenerando  
su rica diversidad biológica y cultural.*

*En memoria del colega y amigo, Dr. Virgilio Benavides Andrade, autor del Recuadro  
30, quien tristemente sucumbió frente a la pandemia COVID-19 en Guayaquil*



## Agradecimientos

Los miembros del equipo internacional agradecen a los organismos que financiaron en sus respectivos países la ejecución del proyecto VULPES, dentro del marco del Foro Belmont, para incentivar la investigación científica del cambio climático en los paisajes de montaña. Ellas incluyen, entre otras, el Centro Nacional Francés para la Investigación Científica (CNR), la Fundación Nacional de Ciencia de los Estados Unidos de América (NSF), el Fondo Belga para la Investigación Científica (FNRS), la Fundación Nacional de Ciencias Naturales de China (NNSFC), la Agencia Nacional de Investigación de Francia (ANR), y la Fundación de Apoyo a la Investigación del Estado de São Paulo, Brasil (FAPESP). Agradecen además a todas las instituciones y personas que han hecho posible la realización de la Conferencia Internacional sobre “*Vegetación Pasada, Cambio Climático y Conservación de Montañas*” de la cual se afirman los temas de este libro. Nuestra gratitud a la Sociedad Nacional de Geografía de los Estados Unidos de América por hacer posible la colaboración regional andina para estudiar los flancos andinos y re-escribir textos de geografía crítica y decolonial sobre las selvas neotropicales de montaña. Los miembros del equipo nacional agradecen a las instituciones y personas que apoyaron e incentivaron la planificación y realización de la Conferencia Internacional de VULPES en América Latina, seleccionando a la ciudad de Cuenca (Ecuador) como la sede para la reunión final del proyecto, luego de las reuniones regionales mantenidas en Europa (Francia), África (Marruecos), y Asia (China). En particular, presentamos nuestro agradecimiento al rector de la Universidad de Cuenca como anfitrión del evento, que tuvo lugar entre los días 11 y 15 de Marzo de 2019. También nuestra gratitud al gerente de ELECAUSTRO por el auspicio económico que favoreció la participación estudiantil y la posibilidad de ofrecer salidas al campo a diferentes sitios en las provincias del Azuay, Cañar y Loja. Gracias por su apoyo al Ing. Nelson Ortega, director del Centro Panamericano de Estudios e Investigaciones Geográficas (CEPEIGE), al apoyo de la Universidad Católica de Cuenca y a la Universidad del Azuay, así como también a la Alcaldía de Gualaceo, la Mancomunidad El Collay y los estudiantes participantes de universidades de Quito, Cuenca, Guayaquil y Loja. Nuestro reconocimiento por su respaldo a *Journal of Mountain Science* y a PAGES (Past Global Changes magazine) por la divulgación internacional impresa, y a Mountain Research Initiative (MRI) y la red Mountain Sentinels por la divulgación internacional en línea virtual.



Nuestro profundo agradecimiento al rector de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM) y al director del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES\_CES) por la inclusión del libro en su programa editorial. Gracias también al Centro Willson para las Humanidades y las Artes de la Universidad de Georgia y a su director Nicholas Allen, por su apoyo para la impresión de este libro en castellano y para la distribución en la región. Finalmente, nuestro reconocimiento a la gestión del Colaboratorio de Montología Neotropical (NMC) de la Universidad de Georgia, Estados Unidos de América, y al apoyo ofrecido por sus oficinas de Compromiso Global y de Investigación con un fondo semilla de investigación colaborativa en montañas.



*“[La selva de montaña] es tensión, la tensión entre el que percibe y lo percibido, sujeto y objeto...”*

*El paisaje [montano] no es objetivo ni subjetivo;  
es precisamente un entretejido,  
una recolección simultánea;  
es el despliegue por medio del cual  
las versiones de uno y del mundo  
emergen como tal...”*

*John Wylie*



Fotografía del abra del Cajas, hacia *Wasiwayku*, en el flanco occidental de la reserva de la biosfera del Maciso del Cajas, mostrando la condensación adiabática de la tarde y la influencia de la precipitación topográfica en el crecimiento selvático de la ceja andina. *Crédito fotográfico:* Fausto O. Sarmiento (proyecto VULPES - <https://research.franklin.uga.edu/Montology/>).





## Introducción

La importancia de un mejor conocimiento sobre temas de montaña se ha hecho notable en años recientes debido al acelerado cambio climático y a la percibida destrucción de los bosques y otros ecosistemas de montaña (Sarmiento y Kooperman 2019), particularmente alrededor de la nueva perspectiva transdisciplinaria aplicada sobre los temas que afectan la zona tropical del planeta (Haller y Branca 2020). En efecto, la ejecución del proyecto sobre la Vulnerabilidad de Poblaciones en Escenarios Extremos (VULPES) del cambio climático en montañas ha permitido rescatar la información y confirmar los procesos que influyen y explican la dinámica de los paisajes de montaña (Cheddadi *et al.* 2019). En este sentido, la organización de tres reuniones regionales realizadas en las ciudades de París, Francia; Chefchaouen, Marruecos; y Guangzhou, China; y de una conferencia internacional como evento de diseminación final que se realizó en la ciudad de Cuenca, Ecuador, permitió acceder a estudios detallados y situaciones de caso que han servido para acentuar el entendimiento transdisciplinario de la ciencia de montañas (conocida como *Montología*) en pos de planificar y avanzar hacia un desarrollo sustentable (Sarmiento 2020a) que permita condiciones regenerativas, no sólo de la gran biodiversidad de los ecosistemas montanos, sino también de las manifestaciones culturales en ambientes de altura que son ahora patrimonio biocultural en riesgo de extinción, debido a la globalización y la homogenización antropogénica (Himiyama *et al.* 2020; Sarmiento y Frolich 2020).

La **montología** tiende a ofrecer perspectivas científicas y ontológicas desde varias culturas, atendiendo a informaciones obtenidas holísticamente, tanto de las ciencias exactas y naturales cuanto de las ciencias no tradicionales y sociales, y de las humanidades y el arte (*a la* Baruk Spinoza). Es en esta horizontalidad, en donde los saberes ancestrales se juntan con los saberes modernos para un mejor entendimiento decolonizado sobre la realidad de los ambientes de montaña, que la nueva epistemología de conservación se centra en microrrefugios de diversidad biocultural (Sarmiento *et al.* 2019a). La importancia de la aplicación de este ángulo transversal que corta a través de diferentes disciplinas y metodologías, haciendo posible no solamente un ejercicio interdisciplinario o incluso multidisciplinario, sino también integrador, holístico y transdisciplinario, permite un mejor entendimiento de la realidad de los paisajes de montaña (Ives 2013; Sarmiento 2020b). Es esta epistemología integradora



que permite poner a los valores y descripciones paisajísticos en una perspectiva de adaptación a la complejidad homeorética, y no solamente al equilibrio homeostático, que rige la dinámica resiliente de las montañas (Sarmiento y Frolich 2012). Este fenómeno montológico se aplica en general y en todas las latitudes; sin embargo, tiene un matiz ejemplar en los Andes tropicales (Sarmiento *et al.* 2017).

### Anotaciones del marco narrativo

Utilizamos el alfabeto fonético para escribir palabras "*Kichwa*" con cursiva, y las coloco entre 'comillas simples' o entre paréntesis; otras palabras extranjeras, incluidas las anotaciones científicas, también están *italizadas*, pero sin marcas. Usamos comillas dobles para denotar "significado alternativo" o para citar textualmente de otros autores. Los textos geocríticos se escriben en voz activa, en primera persona. Este capítulo se cruza con ángulos poco ortodoxos en el estudio geocológico de los bosques nubosos, que requieren que los lectores se familiaricen no solo con la terminología y la morfología del paisaje montañoso (*a-la* Carl O. Sauer), sino también con las explicaciones alternativas del geocriticismo de nuevas ecologías decoloniales de los Andes, y la necesidad de asumir un enfoque transdisciplinario para comprender los estudios de montaña, a saber, Montología (*a-la* Jack D. Ives). Con esta visión integradora y holística, intentamos guiar al lector a través de una expedición intelectual que podría conducir a los tres imaginarios: 1) descubrir nuevas narrativas geocríticas (*a-la* Paul-Michel D. Foucaul); 2) afirmar dogmas biogeográficos y de ecología de sistemas (*a-la* Eugenio P. Odum); o, 3) disuadir la curiosidad y encender el activismo a favor de la preservación, conservación, restauración y regeneración de estas selvas en las nubes o "nuboselva" de los paisajes tropandinos (*a-la* Larry S. Hamilton).

En cualquier caso, este capítulo inicial desencadena una investigación geográfica y ecológica de los ecotonos que se desarrolla en el marco de cambio climático y calentamiento global y la dinámica vegetacional de las selvas de montaña. En esta búsqueda de las fronteras y núcleos de las selvas nubladas (*a-la* Daniel W. Gade), nos convertiremos en exploradores de las líneas montañosas del paisaje, donde el giro inesperado, la roca resbaladiza, el poste espinoso, la alfombra cubierta de musgo, los jardines colgantes, el dosel brumoso y encapotado, los estanques anegados, la miríada de sonidos, los omnipresentes arcoíris, los sabores exquisitos, las picaduras venenosas y los elixires psicodélicos conformarán una colección de misterios discursivos (Pitches 2020) que finalmente informan y dilucidan la dinámica oculta que se puede percibir en la **ecorregión ecotonal andina** (EEA) y las líneas de árboles en los flancos andinos. La



llamada línea de árboles alpina (Malanson *et al.* 2011), siguiendo las tradiciones europeas de ver la selva andina como en los Alpes (*a-la* Alexander von Humboldt), es una línea que separa los bosques de los pastizales, una línea que divide las cimas y las colinas, una línea que dibuja linderos de agricultura y ganadería, una línea que imita cortafuegos y cortacéspedes, una línea que no es ni teórica ni práctica, sino imaginada ... ¡Una línea que es *al-Barzakh!* Entonces, para esta aventura epistemológica del bosque nublado, siéntese, relájese, tome su poncho y botas de caucho, limpie sus gafas de sol, rellene el repelente de insectos y el protector solar ... ¡y prepárese para sorprenderse!

## La ecorregión ecotonal andina (EEA)

Hemos seleccionado el título de “Flancos Andinos” para referirnos a un espacio casi desconocido, muchas veces ignorado o frecuentemente evitado de los paisajes andinos tropicales o **dominio Tropandino**, que, no obstante, es central para el mejor entendimiento de los procesos de cambio climático que se observan en las montañas de la cordillera de los Andes. En general, las estribaciones cordilleranas (*yunga*) se han considerado simplemente como una zona de transición entre la zona de altura o sierra, o **dominio Interandino**, sobre los 3.500 msnm. y la zona baja tropical a cada lado del eje longitudinal, sea la llanura amazónica al Este (*antisuyu*) o **dominio Cisandino** por estar del mismo lado que la ocupación colonial desde la Amazonía, por debajo de 600 msnm., o la llanura costera al Oeste (*kuchasuyu*) o **dominio Transandino**, por estar al otro lado de los Andes, hacia la costa del Pacífico, por debajo de los 600 msnm. (Haffer 1967). Muchos estudios se han realizado para enfatizar la gradiente altitudinal o los cambios graduales que pueden observarse a lo largo del declive andino (Kapelle y Brown 2001; Hernández y Naranjo 2007; Josse *et al.* 2007). Muy pocos estudios enfatizan la visión de que, en vez de ser un espacio de transición –como un *ecotono* entre lo alto y lo bajo– la zona de los flancos andinos o **dominio Subandino** es en realidad una ecorregión (EEA) en todo su propio derecho (Sarmiento 1987; Pulgar Vidal 1987; Pearce *et al.* 2020).

Los geógrafos de antaño, siguiendo los modelos hegemónicos positivistas en la descripción de los paisajes andinos, indicaron la presencia de distintas regiones naturales (9 en Venezuela, 6 en Colombia, 4 en Ecuador, 8 en Perú, 3 en Bolivia y 5 en Chile). Sin embargo, el patrón general, para quienes poseían territorio a cada lado de la divisoria continental, fue de identificar cuatro regiones naturales: **costa**, **sierra**, **selva** oriental (Orinoquía o Amazonía) y la región **insular** presente en los mares territoriales del océano Pacífico frente a cada país (PDVSA 1992; Rivera 2013; Tello 2009; Pulgar



Vidal 2003; Montes 2014; Borsdorf *et al.* 2020). Nosotros abogamos por la necesidad de revisar la geografía andina para 1) reformar los criterios de segmentación simplista, 2) para subrayar la importancia de las estribaciones de la cordillera andina (*ritisuyu*), y 3) para incluir esta quinta región natural, muy extendida por los países andinos, como es la región de las faldas de montaña del **dominio Subandino** (Sarmiento 2020b). Los ecólogos de antaño describían la ecorregión de los Andes del Norte, de los Andes Centrales y de los Andes del Sur como entidades fisiográficas distintas, desconociendo que muchos de los ecosistemas son complementarios y se encuentran en dinámico movimiento (Kakalis y Goetsch 2018); por ejemplo, encontramos bosques nublados desde México centro-oriental hasta la zona subtropical patagónica. Se sabe ahora que los páramos se extienden desde Guatemala y el sur de México hasta el noroeste argentino (NOA). Más aún, la clasificación física no concuerda con la clasificación cultural porque, por ejemplo, el Ecuador es físicamente considerado como parte de los Andes del Norte; sin embargo, culturalmente se considera como parte de los Andes Centrales. Abogamos por la necesidad de entender estos ecosistemas desde la óptica sincrética de la *consiliencia* (Wilson 1999), en la que se evidencia el conocimiento científico y tradicional de la manufactura de paisajes humanizados que priman en nuestra era, sean éstos concebidos como productos del *Piroceno* en la antropología ecológica, como del *Capitaloceno* en la ecología política, o como del *Antropoceno* en la geografía ambiental (Sarmiento 2016).

Esta vasta “región natural” o “paisaje manufacturado” de las laderas verdeantes a cada lado del macizo andino es muy importante y se extiende por gran parte de la geografía tropical mesoamericana, Costa Rica, Panamá, Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Argentina (Kapelle y Brown 2001). Además, en áreas de la cordillera subtropical y templada, en donde las alturas máximas bordean los 2500 msnm, como por ejemplo en la Araucanía chilena y argentina, dichos ambientes pertenecen a esta nueva región de las faldas de montaña (EEA) con su relieve colinado en el pie de monte andino. Lo novedoso en la región es que la montología ha avanzado el concepto híbrido de naturaleza y sociedad (Córdoba 2019; Odum y Sarmiento 1998) y presenta estos ambientes antaño considerados “prístinos” como paisajes socioecológicos productivos de montaña desde tiempos remotos hasta la actualidad.

### ¿Qué hay en el nombre? La etimología en juego.

Los diferentes descriptores usados para esta **quinta región natural** pedemontana incluyen varios términos: flancos, estribaciones, mesetas y laderas, región



andino-amazónica, región chocoandina, paisajes tropandinos, bosques montanos, selvas nubosas, bosques nublados, selva alta, ceja de selva, y ceja de montaña. En la coda final presentamos una lista exhaustiva. Sin embargo existen algunos matices dignos de discernir para apreciar la biogeografía crítica tropandina. A veces a la EEA se la refiere indistintamente en masculino (los *yungas*) o en femenino (las *yungas*), pero siempre haciendo referencia al verdor impresionante del dosel forestal que cubre los declives de precipicios y laderas, colinas y gargantas, lomas, bolsones y valles colgantes o abrigados, farallones, peñones y desfiladeros del repliegue andino. En realidad, incluso bajo las condiciones más inhóspitas imaginables, el paisaje cultural montano se evidencia con las construcciones monumentales que perfilan asentamientos humanos del pasado, como en '*Machu Picchu*', Gran Pajatén, '*Kuelape*' de Chachapoyas, '*Upano*' y '*Wapula*' del Sangay, Baeza de los Quijos, '*Sigchus*', '*Mindu*' y '*Tulipe*' de los Yumbos, o la “Ciudad Perdida Tairona” de los '*Caggaba*' o '*Kogi*', evidenciando el nexo natura-cultura a lo largo de la creciente medialuna andina y los habitantes pedemontanos de antaño o '*yumbu*', en plural '*yumbukuna*'.

Es muy claro que la hegemonía colonialista asignaba nombres sin respetar la cultura local o el significado geográfico o ecológico. Muchas veces incluso se usaban términos peyorativos para designar áreas ocupadas por los pueblos originarios sobre los cuales se imponían descriptores del Santoral romano, de políticos ilustres o de las efemérides patrias. Afortunadamente, esta moda de la geografía de antaño ha cambiado. Por ejemplo, hoy ya nadie se refiere a la laguna de San Pablo en la provincia de '*Imbabura*', en Ecuador; hoy todos la conocen como laguna '*Imbakucha*' respetando el nombre vernáculo. De la misma manera, la provincia de Santo Domingo de los Colorados es oficialmente descrita como Santo Domingo de los '*Tsachila*', siguiendo el modelo mexicano de incluir terminología geográfica híbrida castiza y vernácula. Los territorios de los “Aucas” son conocidos ahora como '*Waorani*', y las temidas “Jívarías” de los reductores de cabezas, son ahora llamadas territorios '*Shwar*' o '*Achwar*'. Un caso muy cercano es el de la “Colonia Alberto Sarmiento” ubicada en la orilla sur del río Tigre en las selvas pedemontanas del *Macuma*, provincia de Morona-Santiago, fundada en honor del más destacado “orientalista” ecuatoriano y que recientemente fuera oficializada en los mapas de las montañas amazónicas con el nombre vernáculo de '*Pomona*'. En la actualidad, es notorio la influencia angloparlante en el uso del término “bosque” en lugar de la palabra “selva”, que es el término que preferimos utilizar para los flancos andinos. En ciertos lugares influenciados por el turismo extranjero, el anglicismo permite referirse a sitios como “Copán pueblo”, o como “Gogta cascada”, evitando la raíz tradicional y la conjunción “de”.



Abogamos también porque se aclare finalmente que incluso el nombre mismo de “**Andes**” se deriva del término Castellano antiguo usado en taquigrafía de escribanos y cronistas, usando apócopos, epónimos y diacríticas para la escritura rápida de los nombres para esta zona de los flancos andinos (EEA), haciendo hincapié en el terraceado de la “gran cordillera de los andenes” o las “andenerías” ubicadas a lo largo de '*Ritisuyu*' o banda de nieves, y hacia el oriente o '*Antisuyu*' de la “Cordillera Real” o “cordillera general” (Sarmiento *et al.* 2019b).

Hay también que matizar el término “**andino**”. A diferencia de la creencia popular, muchos de los países 'andinos' tienen poca superficie en las tierras altas de la serranía o en las llanuras inundables de las tierras bajas; la mayor parte de sus territorios se encuentra en la EEA del *dominio Subandino*. Bolivia, por ejemplo, conocido país “andino” tiene cerca de las dos terceras partes de su territorio en la zona del flanco andino-amazónico (Babel 2018). Ecuador, pese a auto-identificarse como “país amazónico”, tiene cerca del 60% de su territorio sobre la cordillera de los Andes y la mayoría se distribuye en las estribaciones cordilleranas exteriores y las zonas bajas pedemontanas (Sarmiento 1987). La mayor extensión territorial montañosa está en Colombia, en donde la EEA domina la extensión de los ramales longitudinales andinos en estribaciones interiores, mucho de lo cual está ya transformado a pastizal, campo de cultivo, zona urbana u otra categoría de uso de la tierra que no sea bosque natural (López *et al.* 2019); por ejemplo, mucho de la reforestación hecha con pinos y eucaliptos ha creado extensiones significativas de plantaciones forestales (mal llamadas *bosques* por laicos e iletrados) en las laderas y valles andinos. Los puristas sugieren además que los paisajes tropandinos son el lugar natal de la ecología (Sarmiento *et al.* 1999). Allí se encuentra la montaña más alta del mundo, '*Chimburasu*', si se la mide con el radio desde el centro geométrico del planeta (6348 km) y no con la altitud promedio desde el nivel del mar (6263 msnm.) debido al achatamiento polar y el ensanchamiento ecuatorial (Ives 1999); otra importante distinción de los Andes ecuatoriales con sus selvas de montaña, es que sirvieron de inspiración a los científicos expedicionarios Alejandro de Humboldt y Aimé Bonpland para desarrollar su visión holística; por esto los **paisajes tropandinos** son considerados como el “*lugar natal de la ecología*” (Sarmiento 1995a, 1996, 1997a) y son reconocidos como el “origen de la geoecología (c.f., ecología de paisajes) y la montología” (Sarmiento 2020a).

Nótese que, en vez de bosques, nos referimos a “**selvas de montaña**” (incluyendo las selvas de neblina o nuboselva) para incorporar no solamente el



componente forestal sino también todos los otros grupos vegetales —los arbustos, las hierbas, las rastreras, las trepadoras, las epífitas, así como también otros organismos —hongos, bacterias, líquenes, algas, y micorrizas, que complementan el ecosistema forestal, al igual que todos los animales y las condiciones minerales, de suelo, de agua, de aire y de sus interacciones en el paisaje Tropical Andino (i.e., tropandino), y las transacciones con la cultura que los aprovecha (Gade 1999; 2015). Por esa razón, mantenemos la terminología ecológica de *selvas de montaña* en lugar de “bosques de montaña”, como se ha generalizado en la literatura (Brunjinzeel y Hamilton 2000) para insistir en una visión holística de los paisajes tropandinos.

Nótese además que nos referimos a la *ecorregión tropandina*, nombre acuñado por Troll (1968), como el término más correcto que el usado por Dinerstein *et al.* (1995), quienes usan el descriptor geográfico de "ecorregión de los Andes del Norte". Los paisajes tropandinos fueron ya precisados para la literatura ecuatoriana (Acosta Solís 1984; Sarmiento 1987) cuya identidad ese perfila básicamente en función de la *ecuatorialidad* espacial (Sevilla 2019) en vez de la *ecuatorialidad* física, la *ecuatorialidad* mental o la *ecuatorialidad* espiritual del trilema identitario andino (Sarmiento 2013) y la necesaria crítica con nuevas ontologías panandinas (Lozada y Tantaleán 2019) debido a la presencia sustantiva de microrrefugios de diversidad biocultural patrimonial.

## Selvas de Montaña o Bosques Montanos Tropicales de Neblina

La heterogeneidad espacial hace que el definir las selvas de montaña sea una tarea difícil, ya que existen diferentes criterios, no solamente biológicos o geográficos, sino también ecológicos y hasta culturales e históricos, que complican la existencia de un solo concepto con distintas variantes (véalos en Sarmiento 2001) y con muchas singularidades fitogeográficas (Huber y Riina 1997) y de afiliación colonialista y occidental.

Las *selvas de montaña tropicales ecuatoriales* en América son aquellas que se encuentran en las diferentes cordilleras y ramales de los Andes asociados con la línea equinoccial o Ecuador. La incidencia del componente vertical las diferencia de aquellas que se encuentran en las llanuras bajas subyacentes, ofreciendo cortes de la corteza terrestre que separa las cuencas hidrográficas, como sucede en '*Kutawasi*' generando el cañón más profundo del mundo. El cañón de Cotahuasi es casi el doble de profundo que el Cañón del Colorado. Otros ejemplos son el cañón del Colca, el cañón del Sonche, y el cañón del Guayllabamba. Las selvas de montaña acogen la mayoría de



la biodiversidad del país, ya que su verticalidad se extiende a lo largo de muchos pisos climáticos altitudinales y posee además una solapación latitudinal norte-sur que se complementa con la variación local y microrregional generada por los efectos ecológicos de los paisajes montañosos, como valles de abrigado, bolsones, rinconadas, alomados, sombras de lluvia, collados, cerrazones, abras y planicies altoandinas.

A diferencia de lo que se observa en los *bosques tropicales de la llanura baja*, en las selvas tropicales de montaña (*sacha*) –y especialmente en las selvas nubladas (*puyu*), la estructura horizontal del bosque está determinada por la pendiente de la ladera, la solapación de inclinación y/o el declive de la prominencia topográfica. La proliferación de estructuras arbóreas de soporte o contrafuerte, como raíces zancudas o tablares, afianza los tallos en la pendiente para obtener el crecimiento vertical del fuste favoreciendo un dosel continuo que tapiza la ladera; sin embargo, muchos árboles son doblados y torcidos por la gravedad y el viento, por el peso del jardín epifítico y por la apertura del dosel que posibilita copas extensas pero colgantes, así como una gran variedad de raíces adventicias o rastreras y troncos sulcados, indehiscentes, con estolones y espinas que se adhieren al sustrato vertical y epifítico, exhibiendo caulifloría pronunciada. La estructura horizontal de la selva de neblina está condicionada (1) por la exposición al frente de viento o '*wira*' (efecto Venturi) en los encañonados y bocacostas; (2) por la exposición al viento en la cima (efecto Bernoulli) haciendo peinar el dosel con la llovizna permanente o '*paramuna*' y soportar el frío viento del risco formando el chaparral o bosque enano; y (3) por la cercanía de la montaña a la masa continental (efecto telescópico o Massenerhebung) haciendo que la línea meteorológica de nubosidad sea más baja en las cimas aisladas de las montañas costaneras y amazónicas, y más alta en las cordilleras de mayor elevación del eje andino que reciben lluvia o '*para*'. Es común encontrar claros del bosque (*sacha takishka*) generados por la caída de ramas recargadas de vegetación, por el desmoronamiento del árbol completo, o por la generación de derrumbes y riadas o '*wayku*', propios de las zonas empinadas deleznable, que en muchos casos son aprovechados por los pobladores locales como locus de deforestación ulterior ('*chakra*') debido a la "limpieza" catastrófica del desastre.

En los *Bosques Montanos Tropicales de Neblina* (BMTN) o selvas nubladas, la abundancia de especies, su frecuencia y dominancia varía de acuerdo a la ubicación del sitio de estudio a cada lado de la cordillera de los Andes y en relación a su localización geoespacial (latitudinal, longitudinal y altitudinal). En la EEA, la estructura vertical de la selva en las laderas, a diferencia de lo que se observa en bosques



tropicales de llanura, no presenta estratificación evidente desde el suelo hasta el dosel, debido a que existe un *traslape continuo* de los diferentes estratos a medida que se incrementa la pendiente en el sotobosque, haciendo que la copa de un árbol inferior se encuentre al nivel de las ramas de otro más cercano, y al nivel de las raíces del árbol superior al nivel del observador. En muchas laderas pronunciadas, el *jardín epifítico* y su manto de musgo recubren toda la estructura (incluidos los troncos, las ramas, las raíces, las piedras, el suelo) formando un tapiz continuo que homogeniza la masa forestal reduciendo la estratificación vertical en el “pensil” tropical e imprime el característico olor a *petricol*, debido a la potente esencia de *geosmin* producida por la liberación de esporas en el sotobosque desde la biota bacteriana estrepptomycética del suelo. Esta característica definió su imaginario colonial de aquel entonces considerada inhóspita e impenetrable hilea montañosa en el bosque “nuboso”. A las selvas de montaña de neblina, o nuboselva, a veces se las conoce por esta característica como los “bosques musgosos” haciendo énfasis en la proliferación de briófitas y hepáticas adheridas a las estructuras sobre terreno permanentemente anegado o recubierto por una densa niebla que, cual marea costera, baña las estribaciones del BMTN en el flujo del vaivén adiabático diario. Por ejemplo, Churchill (1995) estima que los Andes tropicales alojan sobre 2058 especies de musgos, el lugar más diverso del mundo.

Estas “mareas” de neblina son tan importantes que imprimen un ritmo circadiano de humedad (*'puyu'*) de vaivén de las tardes y noches, o un ritmo circanual de la marea de nubes estacional que condensa la brisa marina (*'kamanchaka'*) empujada hacia los repliegues cordilleranos formando la vegetación de Lomas en los desiertos pacíficos andinos de Chile y Perú a lo largo del año. A esto también se debe la presencia de la resolana umbría (*'garwa'*) en la costa pacífica. Dependiendo de la estacionalidad de la oscilación sureña del fenómeno El Niño (ENSO), hay temporadas en que la nubosidad del Pacífico alcanza a sobrepasar la barrera andina hacia la Amazonía, y otras temporadas (e.g., La Niña) en que los vientos alisios del oriente atraviesan la barrera orográfica hacia el occidente costero, como se ha registrado con los isótopos de Oxígeno capturados en las burbujas dentro del hielo, obtenidos en las perforaciones en los glaciares andinos (Thompson *et al.* 1984) y en la sedimentaciones de las cenizas de las erupciones del volcán Sangay en la Amazonía que impactan fuertemente a Pallatanga, Bucay y otras pequeñas ciudades costeras hacia el Golfo de Guayaquil en el océano Pacífico.

En el nuevo marco crítico de biogeografía, concebimos a la selva de montaña en la EEA como un artefacto escalar cambiante en ambas dimensiones, con



interdigitaciones de **historicidad** (c.f., escala temporal o sucesoral) y de **espacialidad** (c.f., escala espacial, real o óptica) de los paisajes socioecológicos de montaña. Seguimos aquí el *dictum* del arqueólogo Warren Church (1996) quien ha enfatizado que “las selvas de montaña fueron ‘pobladas’ miles de años antes de que fueran ‘colonizadas’ por los europeos”, demostrando su carácter híbrido de cultura-naturaleza y explicando la presencia de los legados ecológicos que aún hoy se conservan entre las ruinas de construcciones megalíticas, ciudadelas y bastiones montanos hoy recubiertos por BTMNs. Sin embargo, a nivel mundial, pero especialmente en las regiones donde la ‘caracterización del paisaje’ espacio-temporal de rasgos funcionales se ha planteado para crear un “*sentido de lugar*”—que los haga únicos y, por tanto, convertidos en áreas protegidas por su “*esencia del lugar*”, aún persisten en la actualidad los remanentes de bosque antiguo que sobreviven como **microrrefugios de biodiversidad** pasada, atrayendo la vista y la mente de quienes los recorren. Debido a nuestra afinidad con el reino Neotropical, incluimos la mayoría de los ejemplos o estudios de caso de los Andes tropicales y subtropicales; sin embargo, se pueden señalar casos extremos de bosques nubosos, desde los patagónicos o incluso los magallánicos de *Terra Australis*, donde la niebla mística que los envuelve es tan espectacular como en la media luna andina (Rozzi 2004), hasta los bosques de neblina de las montañas veracruzanas. También podrían extraerse ejemplos importantes de las montañas boscosas del Caribe, en Jamaica, República Dominicana o Puerto Rico. Como ejemplo de la dinámica de los bosques montanos a nivel global, influenciados por los climas cambiantes a lo largo del tiempo, incluimos la descripción del proceso de diversificación de los cedros atlánticos en Marruecos (Recuadro 1).

**Recuadro 1: El “Período de Humedad en África” y los bosques de montaña en el norte de África**

**Rachid CHEDDADI<sup>1</sup>, Majda NOURELBAIT<sup>4</sup>, Matthieu CARRE<sup>2</sup>, Enno SCHEFUSS<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>ISEM, Universidad de Montpellier, CNRS-UM-IRD, Francia. <sup>2</sup>LOCEAN, Universidad Pierre et Marie Curie, París, Francia. <sup>3</sup>MARUM, Universidad de Bremen, Bremen, Alemania.

*rachid.cheddadi\_at\_umontpellier.fr*

**Introducción:** El Sahel y el Sahara fueron “verdes” entre ca. 15.000 AP (antes del presente) y 5.000 AP. Aunque no fue sincrónico en todo el norte de África, este Período de Humedad en África (AHP, por sus siglas en inglés) se describe en muchos sitios y a través de varias aproximaciones geográficas y biológicas. Los registros de polen fósil de los cinturones subtropical y del Sahel indican que las especies de plantas se propagaron durante el AHP desde los trópicos hacia el norte hasta los cinturones del Sahel y el Sahara.



Los estudiosos han relacionado el aumento de la humedad durante el AHP principalmente a un desplazamiento hacia el norte de la zona de convergencia intertropical (ITCZ, por sus siglas en inglés) en el norte de África. Una síntesis reciente (Shanahan *et al.*, 2015) ha demostrado que el ITCZ se ha movido a más de 25° N durante el AHP y los análisis de n-alcanos de cuatro núcleos marinos (Tierney *et al.*, 2017) han propuesto una expansión de la ITCZ más al norte, hasta ca. 31° N que corresponde a las fronteras del sur del Mediterráneo.

En el presente estudio, investigamos los cambios climáticos pasados durante el AHP en un transecto que abarca latitudes entre ca. 32° N y 33.5° N en la parte más septentrional de África. Las variables climáticas del pasado reconstruidas indican que todo el norte de África era más húmedo durante el AHP, pero probablemente las fuentes de humedad eran diferentes en África tropical y el área del Mediterráneo.

**Materiales y métodos:** Se utilizaron cinco registros de polen fósil que abarcan al menos los últimos 16.000 años en un transecto en las montañas del Atlas marroquí para reconstruir los cambios climáticos pasados en el norte de África (figura 1). Los cinco registros de polen fósil se fecharon utilizando un conjunto de fechas de radiocarbono y luego se aplicó una escala de tiempo calibrada. Se utilizaron conjuntos de polen de cada registro fósil para inferir variables climáticas pasadas. El enfoque estadístico toma en cuenta los dos sesgos bien conocidos en las reconstrucciones climáticas basadas en polen: (1) un conjunto de polen fósil puede no tener un análogo moderno estricto (Jackson y Williams 2004) y (2) el rango climático de una especie/género puede cambiar con el tiempo (Cheddadi *et al.*, 2016). El método utilizado (Cheddadi *et al.*, 2017) se basa en la hipótesis de que la co-ocurrencia de taxones de plantas en un ensamblaje en cualquier momento puede ocurrir solo bajo un rango de clima adecuado común o una superposición del rango climático para todos los taxones de plantas que componen ese ensamblaje. Con tal hipótesis, no se debe esperar que dos especies de plantas puedan coexistir en un conjunto si sus rangos climáticos generales no se intersectan. Asignamos los taxones de polen fósil a las especies modernas, y posteriormente calculamos un valor mediano ponderado y sus desviaciones estándar del rango de clima abarcado por todas las especies modernas asignadas. El enfoque de reconstrucción del clima utilizado toma en cuenta las ocurrencias diferenciales de los taxones de polen en el registro fósil mediante la realización de un cálculo de dejar fuera uno. Para cada muestra de fósiles, se elimina un taxón conocido y se calcula una mediana ponderada (utilizando los porcentajes de polen como peso) de todos los taxones restantes. Para cada muestra, calculamos la mediana ponderada tantas veces como taxones hay en cada muestra fósil. El valor climático final es el valor mediano de todas las iteraciones. Además, las desviaciones estándar corresponden al valor mediano de todas las desviaciones estándar. El enfoque adicional de dejar-uno-fuera minimiza el efecto de una representación excesiva o insuficiente de algunas especies de polen o las que muestran grandes variaciones en el registro fósil.

Además de los conjuntos de polen, estudiamos los n-alcanos del registro más al sur que se recuperó en el lago Tislit (ubicado a 32.2° N) y lo comparamos con el registro marino más al norte GC27 (Tierney *et al.*, 2017).

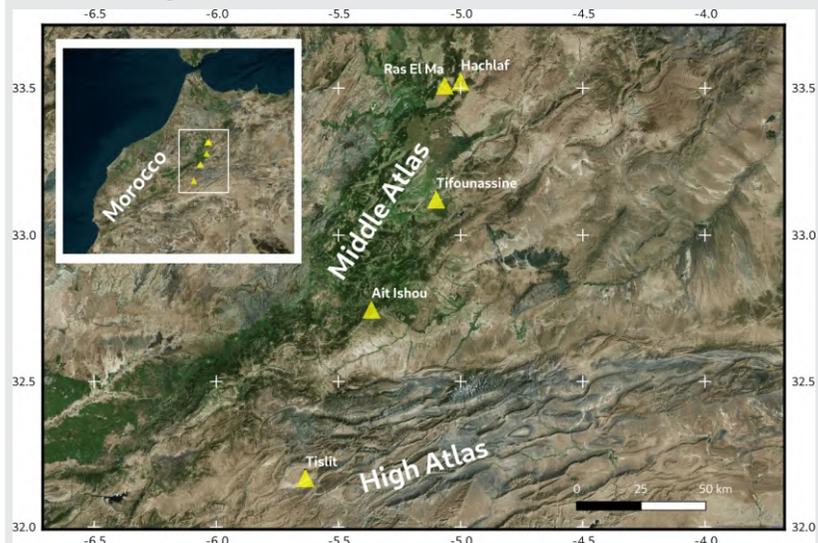


**Resultados y discusiones:** La temperatura media reconstruida de enero muestra una sorprendente similitud con los cambios de temperatura de la superficie del mar en el Mar Mediterráneo Occidental (Cacho *et al.*, 1999), mientras que la precipitación anual reconstruida y los datos de n-alcanos están bien correlacionados con la precipitación anual reconstruida y n-alcanos obtenidos de los registros marinos en el Océano Atlántico frente a África (Tierney *et al.*, 2017).

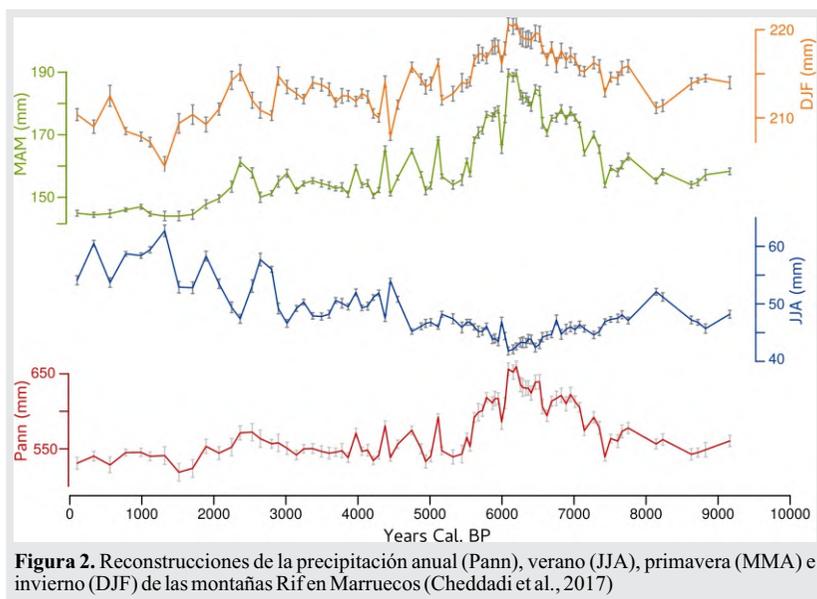
Otra reconstrucción climática en las montañas del Rif (figura 2), al norte de Marruecos, también muestra un aumento de la humedad durante el Holoceno. Sin embargo, la distribución estacional reconstruida de las precipitaciones muestra que el aumento de la cantidad anual de precipitaciones está relacionado con un aumento de las precipitaciones de invierno y de primavera que la del verano, lo que sugiere que la fuente de humedad fue probablemente del Mar Mediterráneo. en lugar de estar relacionado con un desplazamiento hacia el norte de la ITCZ hasta Marruecos durante el AHP.

**Conclusiones:** Los cinco registros fósiles de nuestro transecto se recolectaron en latitudes superiores a 31° N y, sin embargo, indican un aumento concomitante de la precipitación anual con otros registros continentales en el norte de África y núcleos marinos del continente. Nuestras reconstrucciones climáticas pasadas sugieren que:

- todo el norte de África, desde el Ecuador hasta el Mar Mediterráneo (hasta 36° N) estuvo húmedo durante el AHP, incluso si el momento de inicio y final de este AHP "extendido" no fue sincrónico en todo el norte de África
- los mecanismos climáticos que llevaron a tal aumento de humedad fueron probablemente diferentes de los trópicos a las fronteras mediterráneas.



**Figura 1.** Localización de los registros fósiles en Marruecos



### ¿Por qué los llamamos bosques nublados? La onomástica en juego

Como lo dicta el único mandamiento de la geografía, *sensu* Sauer, "Conoce tu Palabra" nos guiará para comenzar la exploración de los nombres de lugares montanos con casos en que los científicos hayan usado términos incorrectos. Mediante el uso de la toponimia crítica, etimología y la onomástica (Vuolteenaho 2009), se revelará el verdadero significado de las palabras de los bosques nublados para comprender mejor las complejidades del sistema adaptativo de la EEA.

Durante la década de 1980, el difunto profesor Larry S. Hamilton dirigió un esfuerzo para fusionar una red global de estudiosos interesados en las selvas de montaña, encabezados por las aspiraciones institucionales del Centro Este-Oeste en Hawai'i, el Servicio Forestal de los EE.UU. y los científicos del Bosque de Luquillo liderados por Fred Scatena en Puerto Rico, y James Juvik de la Universidad de Hawai'i, Hilo, así como catalizadores de investigación básica sobre hidrología forestal por LA Bruijnzel y sus colaboradores en universidades europeas y norteamericanas (Hamilton *et al.* 1993). Las actas de la conferencia, publicadas primero como un libro del Centro Este-Oeste y luego como número especial de la serie *Estudios Ecológicos* de Springer,



provocaron un frenesí de artículos publicados en los años siguientes. El capítulo introductorio del volumen de *Estudios Ecológicos* dejó una clara impresión de que era el tema de botánicos, ecólogos forestales e hidrólogos (Hamilton *et al.* 1994). Hubo escasez de contribuciones de las ciencias sociales, particularmente la ecología política, la geografía humana o la antropología ambiental. Esa falencia se corrigió parcialmente cuando se celebró otra conferencia internacional en el Jardín Botánico de Nueva York, en su mayoría energizada por E. Forero, S. Churchill, H. Balslev y J. Luteyn, botánicos que deseaban resaltar el uso de las extensas y antiguas colecciones botánicas. (Churchill *et al.* 1995). Esta conferencia internacional en los Jardines del Bronx destacó los énfasis florísticos y cladísticos, pero también fue decorada con algunos trabajos etnobotánicos y algunos análisis socioeconómicos de las plantas útiles de las selvas de montaña y la preocupación por el impacto humano en esos ecosistemas montañosos (Sarmiento 1995b). No fue sino hasta que se volvió a celebrar otra reunión mundial, esta vez en la isla grande de Hawai'i (Bruijzeel *et al.* 2011) que la dimensión humana y la necesidad de gestión estaban en el centro de la preocupación científica sobre del bosque nublado, impulsando la necesidad de integración e investigación multidisciplinaria (Martín y Bellingham 2016).

Quizás provocado por la inminente frontera de deforestación de estos orobiomas en el mundo en desarrollo, la difícil situación de las EEA y otros bosques nublados se convirtió en el objetivo de programas internacionales, no solo de conservación de la biodiversidad y captura de agua, sino también de otros servicios ecosistémicos, prevención del hambre, alivio de la pobreza, identidad nacional, inspiración y espiritualidad, a más de las perspectivas negativas del cambio climático (Foster 2001). Hubo programas sobre bosques nublados en la UICN, en el WCMC, en la Alianza para las Montañas de la FAO, CONDESAN, ICIMOD, GMBA, GLORIA, MRI y otras iniciativas multinacionales para impulsar las necesidades científicas y de difusión de proyectos de montaña al siguiente nivel. Además, se crearon diversas ONGs con objetivos específicos de trabajar con los problemas de los bosques nublados (Bubb *et al.* 2004). Sin embargo, prolíficos escritores sobre ciencias sociales han profundizado en las nociones de paisajes fabricados, arqueología del paisaje, sistemas socioecológicos híbridos, relaciones acopladas de la naturaleza-sociedad en los bordes del bosque y la EEA, y han publicado su investigación en varias revistas profesionales con revisión por pares. Recientemente, un esfuerzo renovado para traer el conocimiento ecológico tradicional (TEK) y la etnoecología hace que el estudio de las montañas y los bosques nubosos sea un vívido frente de erudición (Taylor 2010; Sarmiento y Hitchner 2017; Sarmiento 2021). Se formula un llamado especial a la acción ambiental



(Frascaroli y Fjeldsted 2018) y se celebran paneles especiales dentro de conferencias internacionales sobre montañas (e.g., Perth I, II y III en Escocia; Montañas 2018 en Nova Friburgo, Brasil; la conferencia internacional en Cuenca, Ecuador 2019; y la Conferencia Global de Montañas 2019 en Innsbruck, Austria). En estas oportunidades, la jerga montológica se evidencia como necesaria y el uso de la terminología de ecología de montaña se vuelve imprescindible (Resler y Sarmiento 2018).

### Fenología del paisaje y mitos amenazadores de la línea de árboles

Al cambiar el orden retórico, destaco estos ambientes de bosques nublados debido a su característica principal: son "bosques en las nubes". Literalmente, se convierten en islas en el cielo, donde el ritmo circadiano de las mareas atmosféricas entrantes baña las laderas de las montañas, al menos una vez al día. Cuanto más alta es la base de las nubes, más difícil es identificar la línea de árboles que es útil para separar el bosque y la pradera, ya sea Páramo propiamente dicho o pastizales de tierras altas. De hecho, el efecto de la marea alta de nubes es tan claro que varias plantas muestran las adaptaciones de raíces aéreas, incluso los neumatóforos, al igual que sus primos lejanos en los manglares junto a la orilla del mar. La *precipitación horizontal* afecta la pendiente según el aspecto de la montaña. En algunos casos, como en el desierto de Atacama, este fenómeno conocido localmente como '*kamanchaka*' proporciona la única fuente de agua para soportar la vegetación de "Lomas" y la fauna xerófila en el mismo ambiente semidesértico. En la actualidad, con la llegada de los avances tecnológicos (e.g., redes con telas hidrofóbicas y riego por goteo), la captura de la niebla '*kamanchaka*' con la técnica de "cosecha de nubes" ha transformado esos valles que alguna vez estuvieron secos, en canastas de verduras y fruta fresca, convirtiéndolos en proveedores de las economías globales. Hoy en día, los aguacates, los melones, las uvas, los arándanos y una miríada de otros productos alimenticios han cambiado las economías de las antiguas ciudades mineras abandonadas en el desierto, debido a la captura de la neblina con trampas de niebla que sirven como esponjas para recoger el agua de riego, al igual que lo hacían las hojas y ramas de los árboles del bosque de Lomas, ahora casi inexistente.

Esto se ejemplifica en la literatura de las zonas más secas con el mito de *Garóé*, el "árbol fuente" o "árbol de lluvia" (*Oreodaphne* sp) de las Islas Canarias (Gioda *et al.* 1995) y el arbusto de argán (*Spinosa argania*) con cabras trepadoras de árboles de las montañas marroquíes (Delibes *et al.* 2017). En los confines más húmedos de las montañas Tilarán de Costa Rica, el jardín epífita (que incluye musgos, líquenes,



hepáticas, helechos, incluso bromelias en tanques y bayas pequeñas) aumenta la capacidad de las hojas y ramas de los árboles para actuar de la misma manera cuando las nubes descienden (Lyon 2019). Precisamente en el Pico del Teide en las Islas Canarias, Alejandro de Humboldt, en 1799, proporcionó por primera vez un bosquejo del perfil de la montaña con la ubicación de la línea de árboles, algo que luego pudo expandir para explicar las diferentes zonas de vegetación a lo largo de las laderas del Chimborazo en su famoso "*Naturgemälde*" o "*Tableau Physique*" de 1807, que establece el dogma de la zonificación altitudinal en la geoecología de montañas (Appenzeller 2019).

Cabe recordar que, influenciados por la ley de Humboldt, científicos de la montaña, incluidos Lauer, Acosta-Solís, Budowsky y especialmente Troll, desarrollaron un enfoque matizado de la EEA a la luz de la erudición, principalmente alemana, que siguió a la escuela de zonas altitudinales (Appenzeller 2019). Aceptamos que como estudiantes, inicialmente también nosotros percibimos las montañas segmentadas, determinadas por la envoltura climática de temperatura, precipitación y evapotranspiración. Por ejemplo, las tierras altas de la Isla Santa Cruz de las islas Galápagos se presentaron con líneas de separación que aíslan la "pampa insular" de helechos (*Pteridium aquilinum aracnoides*) de los tramos superiores desde el matorral inferior de "cacaotillo" (*Miconia robinsoniana*) y la "selva insular" principalmente de *Scalesia pedunculata* (Sarmiento 1987), lo que nos llevó a recibir una mención de honor del Premio Príncipe de Asturias para Jóvenes Investigadores de la Naturaleza.

Estos puntos de vista sobre la dificultad de la separación entre bosque y pastizal pronto fueron cuestionados por biogeógrafos incluyendo: Hans Ellenberg (1958, 1979), quien pidió a los ecólogos que se preguntaran más a fondo si existen bosques o praderas en la EEA; Knapp (1991), quien retrató a los Andes como sistemas dinámicos adaptados a través del tiempo; Baeid (1999), quien llamó la atención del factor humano en los bosques de *Polylepis*; Luteyn y Balslev (1992), quienes compilaron evidencia para determinar la quema de ecosistemas de páramo y cómo el fuego influencia la estructura y composición de la comunidad; Gade (1999) quien fusionó cultura y natura andina; y Sarmiento y Frolich (2002) y Sarmiento (2012), quienes cuestionaron la naturalidad de la línea de árboles andina, argumentando la importancia de la agroecología y la dimensión humana como impulsores de la dinámica de la línea de árboles en los paisajes rurales transformados de la EEA (Sarmiento 2021). Esta es precisamente la fuente de investigación académica que motiva nuestros estudios sincréticos, convergentes y consilientes de montología Neotropical.



## Mareas atmosféricas y ritmos fluviales de las selvas montanas

El calentamiento adiabático diurno empuja el vapor de agua tibia hacia los alcances más elevados, creando coalescencia de núcleos de condensación diminutos, formando una niebla de frentes de condensación que nunca termina de enfriarse lo suficiente (*'puyu'*) como para producir lluvia fría (*'para'*) sino una matriz de neblina continua y temperada (*'garwa'*) que empapa horizontalmente la selva. El empuje continuo de los vientos alisios mueve lentamente la gran masa de nubosidad hacia el terreno inclinado, lo que lo hace ideal para la presencia de muchas briófitas que decoran cada centímetro cuadrado de la superficie de contacto, ya sean raíces, tallos, ramas, hojas, incluso flores o frutas, albergando una presencia masiva de comensales en medio de las pequeñas gotas de la neblina fría (*'paramuna'*) azotada por el viento. ¡Los estanques, bofedales, pantanos y sustratos rocosos ricos en *Spahgnum* realmente actúan como una esponja gigante que absorbe más del doble de su peso en agua! (Nadkarni y Solano 2002).

Las ramas ricas en *Tillandsia*, soportan el aumento de peso de la masa foliar humedecida y otra flora epífita (*'waikundu'*), contribuyendo a la función de esponja del "cinturón" del BMTN o nuboselva (*'yunga'*). Sin embargo, también existe el flujo nocturno de los vientos catabáticos que llevan la carga de niebla fría y pesada hacia el fondo del valle (*'tutapuyu'*). En las montañas tropandinas es muy común ver las nubes acumuladas abajo en el plan del valle al amanecer, cubriendo ciudades, aldeas, cultivos, plantaciones de árboles y bosques remanentes, sumergidos bajo un "mar de nubes" (*'puyumanta'*) que desaparece tan pronto vuelve el calor de la mañana que disipa la neblina. Este proceso es mucho más obvio en las zonas en las cuales los ríos atmosféricos que transportan la humedad condensada en nubes desde sitios muy lejanos en la Amazonía o en el océano Pacífico, en lo que se conoce como "bocas de montaña" o "bocacosta". Las zonas en donde las cascadas atmosféricas se precipitan en forma de lluvia coinciden con la presencia de la barrera montañosa cuya elevación genera la "lluvia orográfica" característica de las montañas. Podemos decir que las selvas de montaña capturan los **ríos atmosféricos** y los transforman en torrentes superficiales que bajan por la extensión de la EEA hacia las llanuras subyacentes. Por ejemplo, no es coincidencia que en la zona de Ceja de Selva en el Perú se concentren impresionantes cascadas, como la Catarata de Gocta, la tercera más alta del mundo, generando una nueva versión de turismo de aventura al descender con cuerda orillando las cascadas. Tampoco lo es que en la nuboselva del Sangay en el Ecuador exista el pueblo '*Shwar'*', conocido como el pueblo de las "cascadas sagradas" con su mitología de origen referido a la abundancia de los saltos de agua.



Como los ritmos circadianos marcan la rutina diaria de nubosidad de ida y vuelta, la diferencial térmica es tan importante como para provocar mediciones extremas de frío y calor. Es común que la EEA exhiba “las cuatro estaciones en un solo día”. En los trópicos, la estacionalidad se expresa también en el ritmo circanual, pero en lugar de tener el invierno y el verano como los impulsores térmicos opuestos, es la abundante lluvia y su completa falta lo que atrae a la fenología. La “época seca” podría durar varios meses, así como la “época lluviosa” podría ser prolongada y severa. Se han registrado mediciones anuales de precipitación récord mundial cerca de la estación pluviométrica de Puyo hacia el Amazonas, y también cerca de la estación pluviométrica de Lita hacia el Chocó, dos de los lugares más lluviosos del planeta, donde la gente a menudo menciona que solo hay dos estaciones en el año: invierno y diluvio (Sarmiento 1987). En estos lugares más húmedos, el crecimiento vigoroso del bosque a gran altura hace que sea difícil encontrar una región de ecotono de línea de bosque andina (EEA), y debe inferirse solo de aproximaciones o evidencias de la presencia de plantas “indicadoras”, como por ejemplo la presencia de guarumos *Cecropia* sp. o las palmas de cera *Ceroxylum* sp. en los límites inferiores, o la presencia del helecho arbóreo *Cyathea* sp. o el romerillo *Podocarpus* sp. en el cinturón boscoso del flanco, y la presencia de *Blechnum* sp. o *Buddleia* sp. en los límites superiores. Por el contrario, en los extremos más secos, las formaciones de bosques nubosos en las cuencas hidrográficas semidesérticas de Atacama están formando la vegetación de “Lomas”, con copas verdes de algarrobos *Prosopis* sp. o *Cestrum* sp. que forman el oasis que sigue los cauces de los ríos secos de verano. Las líneas de árboles de las montañas xerofíticas y lomas costeras del Pacífico están definitivamente limitadas por la continua explotación de llamas y guanacos, y más recientemente de cabras y ovejas, que cortan las laderas y se alimentan de todo lo que esté verde, incluyendo cactus, e.g., *Echinopsis atacamensis*. En el otro flanco, se encuentran áreas más secas en los extremos del norte, y en las sierras bajas, por lo que la herbivoría también es un factor importante para controlar la vegetación, ausente de coníferas pero abundante en Cactácea, Fabácea y Burserácea. Por ejemplo, el uso del tallo del cardo grande (*Echinopsis terscheckii*) para las construcciones coloniales usando el “saguaro argentino” de la zona del sitio sagrado de Quilmes en Tucumán nos ofrece evidencia del valor de la neblina como factor determinante en la EEA.

### Marea, altitud y actitud o voluntad de las personas

Con este movimiento “intermareal” de niebla, es obvio que el contenido de agua de las interfaces atmosférica y terrestre esté saturado y permanezca anegado



durante varios días, incluso durante períodos secos de lluvias. La vida arbórea se ve estresada por la presencia segura de las nubes, la limitación de nutrientes y otros factores asociados con el rápido crecimiento, la acidez, la lixiviación y la descomposición de la materia orgánica, de modo que la ruptura del enorme peso del jardín epifítico es uno de los principales factores de sucesión ecológica, creando brechas en el dosel y activando la dinámica de los parches de bambúes (*Chusquea sp*) y la regeneración de la matriz boscosa en las laderas por pequeños claros y pequeños deslizamientos de tierra (Myster y Sarmiento 1998). La llegada de la marea montana determina que la precipitación horizontal que lo baña todo, obligue al habitante montuno a usar poncho y sombrero, y en ocasiones plástico impermeable...

Esta ruptura común de las ramas o la caída completa de los árboles retorcidos, también desencadena deslizamientos de rocas, deslizamientos de tierra y otros procesos erosivos amenazan a los pobladores de montaña. Por ejemplo, el 'wayku' de los Andes centrales es el fenómeno de las fuerzas destructivas de los lahares, deslizamientos de rocas, deslizamientos de tierra y fallas en las pendientes que descienden destrozadas sobre el lecho del río creando estragos de correntadas y “reventazones” río abajo. El exceso de agua no es el único culpable, por esporádico o episódico que sea, pero los temblores frecuentes, incluso los terremotos y los flujos explosivos de lagos glaciares también contribuyen a este mosaico geodiverso de topografía accidentada. Sin embargo, como se ha demostrado profusamente en otros lugares, la construcción con un diseño defectuoso de las carreteras en zigzag (*kingu'*) y las rutas de senderismo y trueque de contrabando (*kulunku'*), se encuentran entre los factores más perniciosos de destrucción y cambio de las selvas de montaña (Sarmiento 1995c; Laimer 2017).

El hecho de que la carretera contornea el cauce del río en el fondo del cañón es frecuentemente la imagen de las rutas modernas. Sin embargo, los arquitectos paisajistas ahora están reviviendo técnicas antiguas para construir caminos de montaña por las cimas sin el efecto perjudicial de la destrucción de taludes, como lo hicieron los pobladores de los asentamientos montanos o *'Yumbu'* y perfeccionados por los *'Inka'* para cruzar precipicios, peñascos y laderas boscosas al implementar la impresionante Red Vial Andina (*'Kapak Ñan'*) que ha sido incluida dentro del inventario de patrimonio mundial de la UNESCO (Penney y Oschendorf 2015).

### Diferenciación como respuesta de variación latitudinal

Está claro que la ubicación y extensión de la EEA cambia con la latitud, debido a tres factores principales: en primer lugar, la incidencia de la luz solar directa en



las exposiciones norte o sur después de los trópicos de Cáncer o Capricornio determinará la presencia/ausencia de una estación de crecimiento en primavera y verano y de una estación marchita para el otoño y el invierno hacia las montañas subtropicales o templadas. Mientras que los árboles del Neártico podrían distribuirse en estas selvas de montaña como *Quercus* sp. en Costa Rica, los equivalentes ecológicos del sur Neotropical están presentes y vienen desde el cono sur, como *Podocarpus* sp. en Colombia o *Jubaea* sp en Ecuador. En segundo lugar, la extensión de la EEA está directamente relacionada con el verdeante altitudinal provocado por la ubicación de la pendiente en relación con la masa geomorfológica de la montaña. En todo el sur de los Andes, por ejemplo, la línea de árboles parece ser solo un límite agudo alrededor de 1.800 msnm., ya que muchos de los volcanes más altos no alcanzan los 2.500 msnm. De hecho, es posible caminar desde el glaciar directamente al bosque de *Araucaria* sin un ecotono aparente presente en ningún lado de la masa del glaciar, mientras que en las montañas ecuatoriales la composición y estructura del bosque permanecen robustas, pero con una notable reducción de la estatura del fuste y la torsión de los tallos. Finalmente, la gran extensión longitudinal de la cordillera de los Andes permite que la influencia meteorológica afecte la manifestación de un cinturón continuo de bosque nublado, como ocurre en la media luna andina ('*yunga*'), o distribuido de manera irregular entre los picos de las montañas más altas aisladas de la cordillera principal. Hay mucha más prominencia hacia las latitudes medias en Chile, Bolivia y Perú, lo que crea condiciones atmosféricas que podrían cambiar violentamente. Las condiciones microclimáticas generadas por la presencia de acantilados altos o remanentes en riscos aislados de las selvas tropandinas son una consideración importante en el estudio de la distribución de EEAs y la robustez de un ecotono distintivo en la región de la línea de árboles andina.

Se ha observado el curioso efecto de la poca fluctuación anual de la temperatura, con tan sólo episódicas heladas a lo largo del invierno, y se ha registrado una precipitación bastante uniforme (horizontal y de otro tipo) como la envoltura climática que identifica las permanentemente húmedas selvas de montaña con ritmos circanales; sin embargo, al no tener prácticamente ningún cambio en la fotoperiodicidad, las abundantes 12 horas de energía radiante diaria durante todo el año (ya sea con luz solar en cielo azul abierto, con niebla UV- $\beta$  de resolana o con una mayor incidencia de luz infrarroja debido a la cobertura total de nubes) desencadena una gran diversificación en flora y fauna (Kappelle y Brown 2001) debido a la propensión para mutación generada por las condiciones electromagnéticas ultravioleta de los bosques nublados. Esta comunidad propensa a la mutación muestra la tasa de evolución más



rápida debido a la "transiliencia" entre las tasas de extinción de corta duración, como las observadas en las orquídeas en la granja Centinela en el oeste de Ecuador (Dodson y Gentry 2001) en que comunidades enteras de orquídeas habían desaparecido en tan sólo dos décadas. Las extinciones de tipo **Centinela** son la amenaza más grave para la conservación de la biodiversidad en las áreas de bosque nublado, ya que éstas constituyen puntos críticos para la biodiversidad (Myers 2003); de ahí que las condiciones meteorológicas de nubosidad y fotoperiodicidad tengan consecuencias biológicas trascendentales en el terreno montañoso.

En última instancia, no olvidemos la ciclicidad bianual, quinquenal, decadal o centenal impulsada por las fuerzas planetarias que rigen períodos de tiempo mucho más largos, como la vecería de los papayos de monte (*Vasconcellea pubescens*) cada dos años más o menos; formación de deltas de ríos atmosféricos cada cinco años más o menos; o la Oscilación Septentrional de El Niño (ENSO) cada diez años más o menos; o fuerzas biológicas, como la aparición de poblaciones de cícadas gigantes (*Quesada gigas*) y otros insectos cada veinte años más o menos; el florecimiento explosivo y fructificación sincronizada de bambú de montaña (*Chusquea* spp) cada cuarenta años más o menos, y su correspondiente incremento de la masticidad en población de roedores como la vizcacha (*Lagidium peruanum*); la floración de algas de las cianobacterias relacionadas con la toxicidad de los lagos de agua dulce cada siglo más o menos; o la saturación masiva de hemoglobina de algunos lagos que se tiñen de rojo (e.g., 'yawarkucha') cada trescientos años más o menos debido a la floración de algas (*Dunaliella* c.f. *salina*) o la eutrofización por *Halobacteria* y *Dinoflagelata* microfítica. Finalmente, los episodios eruptivos efímeros, si no cíclicos con una recurrencia irregular, alteran gravemente la dinámica de la vegetación en las selvas de montaña, como son los terremotos y temblores, y en particular, las erupciones volcánicas. Estos ciclos atemporales más grandes crean un mosaico vivo en los bosques tropicales montanos de neblina que está hecho de componentes espaciales distintos y en varios períodos de tiempo, donde el **mosaicismo** (distribución "pixelada" de los micrositos teselares -ecotopos- en forma de mosaicos) muestran rasgos funcionales (o **celularidad** del paisaje). Estas mismas características han permitido que el "libro de la selva andina" sea escrito y reescrito con diferentes estilos culturales en el Holoceno, por lo que los geocólogos lo consideran no solamente un "ecosistema natural" excepcional, sino también un "**palimpsesto mejorado**" por el legado ecológico determinando el nicho fundamental o el entramado real o realizado de la EEA. Como ejemplo de la investigación sobre la afectación volcánica, incluimos el Recuadro 2.



**Recuadro 2: Revisando la evidencia paleoecológica en la búsqueda de erupciones volcánicas pasadas en el norte de los Andes**

**Catalina GONZÁLEZ-ARANGO<sup>1</sup>, Natalia PARDO<sup>2</sup>, N. Melissa MARTÍNEZ<sup>2</sup>, Tomás BRAVO<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias Biológicas, Universidad de los Andes, Bogotá-Colombia.

<sup>2</sup>Departamento de Geociencias, Universidad de los Andes, Bogotá-Colombia.

<sup>3</sup>Habitante de la Vereda El Silencio, Tablón de Gómez, Nariño-Colombia

c.gonzalez2579\_at\_uniandes.edu.co

El norte de los Andes de América del Sur es una región muy compleja en términos de su geología, biodiversidad, clima e historia cultural. Una vasta colección de registros palinológicos en el área ha proporcionado una comprensión integral de la respuesta de la vegetación a la variabilidad climática en diferentes escalas de tiempo. Sin embargo, a pesar de que el área comprende más de 20 volcanes activos que han modificado paisajes durante milenios, los impactos del vulcanismo en los ecosistemas terrestres rara vez han sido abordados por el paleoecólogo en la región. Aquí, proporcionamos información sobre las primeras vías sucesionales que se desarrollan en sustratos volcánicos en los Andes tropicales del suroeste de Colombia que se basan en el conocimiento local, descripciones de observación y parcelas de vegetación que podrían usarse para interpretar registros palinológicos en entornos volcánicos similares. Además, sintetizamos todas las fechas disponibles del carbono-14 derivadas del carbón vegetal y los paleosuelos transportados por el volcán que quedaron enterrados bajo la tefra en toda la región durante el Holoceno y los comparamos con registros palinológicos existentes y bien fechados. Descubrimos que muchos sitios podrían contener información "oculta" sobre la respuesta de la vegetación al vulcanismo y podrían informar sobre el momento y la intensidad de las erupciones pasadas. El vulcanismo debe considerarse entonces como uno de los principales factores que promueven la heterogeneidad ambiental temporal y espacial en el área con importantes implicaciones para el mantenimiento de la biodiversidad tropical.

### Efectos paisajísticos ecotónicos de la línea de árboles

Ya sea en América, África o Asia, el apareamiento de la zona de convección intertropical (ZCIT) define la permanencia del cinturón de bosque nublado; sin embargo el límite de bosque/pasto recibió el nombre de Europa: línea de árboles *alpina*. En este capítulo, seguiré los consejos de Acosta-Solís para enfatizar el uso de la línea de árboles "andina" en lugar de la línea de árboles "alpina", por la importancia de resaltar los modelos no ortodoxos seguidos en los neotrópicos, lo que desafía el paradigma Humboldtiano de cinturones altitudinales (Acosta-Solís 1976; Sarmiento 2000, 2002; Varela 2008). Esto se refleja en la orientación de las laderas boscosas, ya que el efecto de sombra de lluvia es crítico en presencia/ausencia de la biota expuesta a la precipitación horizontal a lo largo de la extensión longitudinal de los Andes. Un caso obvio es que la gente vive en las altas montañas de los Andes tropicales y no en los Alpes. De manera similar, dependiendo de dónde exista la selva de montaña en los trópicos, habrá



diferencias significativas en la ubicación de la base de la nube y, por lo tanto, el ecotono de la línea de árboles en los páramos de Centroamérica o el Caribe, los zacatonales de México o Guatemala, los páramos venezolanos, colombianos y páramos del norte de Ecuador, jalca del sur de Ecuador y norte de Perú, punas del sur de Perú, Bolivia, norte de Chile y Argentina, páramos en el noroeste argentino, y prados del sur de Chile y Argentina.

La pendiente y el aspecto determinan la ubicación de la línea de árboles **alpina** en la exposición diferencial norte/sur en Europa, mientras que en la línea de árboles **andina** la exposición al oeste/este determina la ubicación de la EEA. En la zona ecotonal expuesta a la topografía accidentada, las plantas de las laderas de sotavento pueden experimentar fuertes vientos laterales, que provocan que las tierras del cañón y los acantilados, incluidas las cornisas arboladas, tengan árboles marcados con una corona abanderada, por su forma obviamente impactada por los vientos laterales a lo largo de la quebrada; sin embargo, si los fuertes vientos son adiabáticos, se mueven verticalmente desde la parte inferior de la colina hacia la cumbre, empujando el dosel más cerca del suelo. La velocidad del viento continuo "peina" las hojas y "tuerce" las ramas, típicas de los bosques cumbreños. Dependiendo de la fuerza del viento y su velocidad, se observa casos extremos, generando el chaparro o *Krumholtz* de baja estatura y tallos que abrazan el suelo o '*chaupicaspi*' típico del bambú de montaña (*Chusquea* sp), las palmeras de montaña (*Geonoma* sp) y la hoja ancha *Gunnera* sp. Más arriba, las plantas adoptan la estrategia de agrupamiento para crecer como roseta (e.g., frailejón, almohadilla, puya, romerillo). En ambos casos, debido al intenso flujo del viento, se previene la desecación del tejido foliar mediante el desarrollo de hojas y espinas coriáceas, o el recubrimiento con vellosidades y tricomas en el área foliar, de modo que las hojas simulan que el sistema funciona como en el desierto, a pesar de estar anegado (c.f., la *sequía fisiológica*).

Conocido también como el efecto telescópico, el efecto "*massenerhebung*" correlaciona el tamaño de una isla y su distancia desde las áreas continentales hasta el cinturón altitudinal más bajo/más alto de los BMTN. No es sorprendente que encontremos junglas insulares de bosque maduro aislados en el archipiélago de Galápagos a 500 msnm, y la formación equivalente de selva continental a 2.500 msnm en la cordillera andina a más de 600 millas náuticas de distancia. En los Andes, ya sea en el flanco occidental (c.f., dominio *Transandino*) o en el flanco oriental (c.f., dominio *Cisandino*), ambos efectos determinan la dura pendiente semidesértica xerofítica en sotavento, mientras que la abundante cubierta forestal trae la hilea hidrofítica hacia el barlovento. Innumerables registros de esta humedad perspícaz debido al efecto *Phön* en la



"sombra de lluvia" o "abrigado" y el efecto de masa/energía, hicieron la diferencia entre la enigmática estratificación de las montañas (Rahbek 2019) y la diferenciación altitudinal de la EEA en las laderas exteriores de los paisajes tropandinos, ya que los valles colgantes y la "ceja de selva" o 'yungas' están saturados de agua y plantas, mientras que las laderas interiores, hacia los valles más secos (c.f., dominio *Interandino*), albergan "bolsones", "hoyas", "vegas" y "pampas" donde se podría usar poca vegetación "natural" para dibujar una línea de árboles. De hecho, muchos geobotánicos no la pueden clasificar como una zona natural y la refieren como la "*Antropofitia Humboldtiana*" (Acosta-Solís 1976). Estas investigaciones se encuentran diseminadas para la comunidad científica por medio de revistas profesionales con revisión arbitrada por pares a nivel mundial. La temática cubierta por varias de las plataformas de comunicación más utilizadas: *Mountain Research and Development*, *Artic*, *Antarctic and Alpine Research*, *Review of Alpine Geography*, *Pirineos the Journal of Mountain Ecology*, *Journal of High Andean Research* y la revista *Journal of Mountain Science*, ejemplifican este campo dinámico de investigación científica, como se incluye en el Recuadro 3.

### Recuadro 3: *Journal of Mountain Science*: Una plataforma importante para los investigadores de montaña

#### ***QIU Dunlian***

Instituto de Riesgos de Montaña y Medio Ambiente, Academia China de Ciencias, Chengdu 610041, China.

*Qiudunlian\_at\_imde.ac.cn*

**Descripción:** *Journal of Mountain Science* (JMS) es una de las cuatro revistas en inglés indexadas por "Science Citation Index" (SCI) que se enfoca específicamente en la publicación de resultados de investigación de montañas en el mundo. JMS es una revista internacional arbitrada por pares sobre ciencias de la montaña. JMS, fundada en 2004, está patrocinada por el Instituto de Riesgos de las Montañas y el Medio Ambiente, y la Academia China de Ciencias, publicada por Springer y Science Press de China.

JMS se publica mensualmente desde 2016. Se publica tanto en acceso abierto (OA) como en formas suscritas. Los autores correspondientes de los países o instituciones que figuran en los socios del acuerdo pueden tener artículos publicados en forma OA sin cargo adicional (<https://www.springer.com/gp/open-access/springer-open-choice/springer-compact>).

JMS ha sido indexado / resumido por muchas bases de datos importantes que incluyen Science Citation Index Expanded (SciSearch), SCOPUS, Google Scholar, ASFA, CAB Abstracts, Chinese Science Citation Database, EBSCO, Geobase, GeoRef, ProQuest, Water Resources Abstracts. El texto completo se puede evaluar en SpringerLink y en China National Knowledge Infrastructure (CNKI).

**Política editorial:** Los miembros del Consejo Editorial son científicos de 23 países u organizaciones internacionales en el mundo. Los autores son de más de 70 países y los revisores de más de 90 países. JMS solicita contribuciones y se distribuye en todo el mundo.

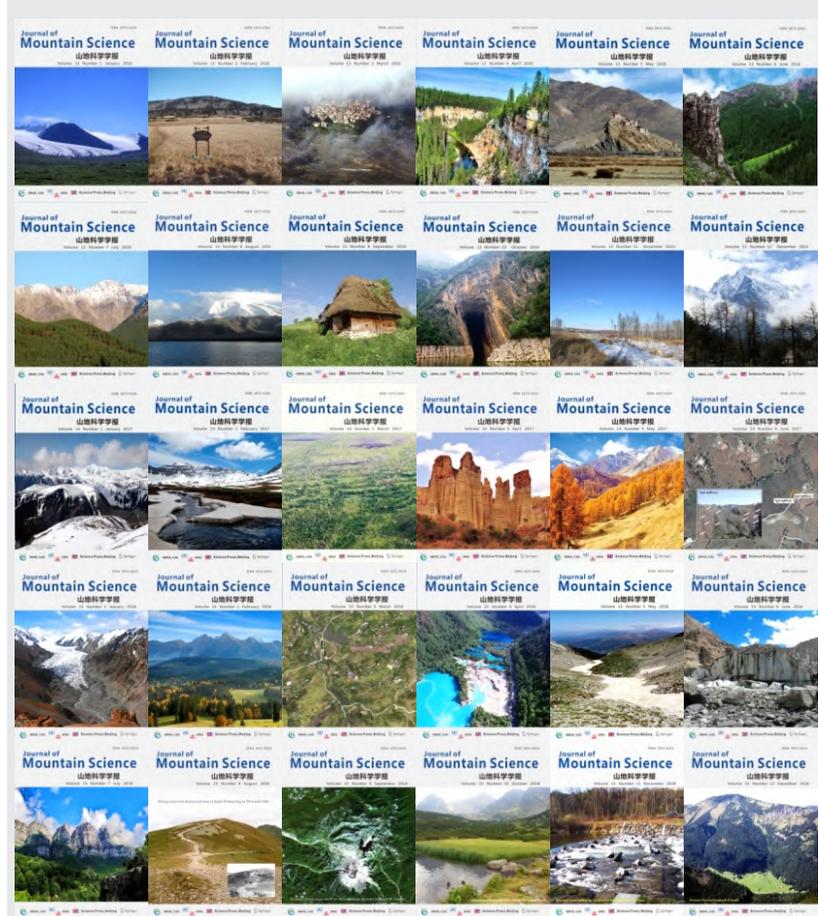
JMS está dedicado a las montañas y las ecorregiones de tierras bajas circundantes de particular importancia mundial, con un énfasis particular en las tierras altas y montañas importantes del mundo. JMS publica trabajos de investigación y técnicos, y revisa estos temas: cambio en el



entorno de las montañas, ecología de las montañas, peligros y riesgos de las montañas, estudio y utilización de los recursos de las montañas, planificación del desarrollo de las montañas y medios de vida de las montañas.

**Contactos:** Página principal: <http://jms.imde.ac.cn/>  
<https://www.springer.com/earth+sciences+and+geography/journal/11629>  
Envío de manuscritos: <https://mc03.manuscriptcentral.com/jmsjournal>  
Correo electrónico para comunicación general: [jms@imde.ac.cn](mailto:jms@imde.ac.cn)

### Portadas de la revista Journal of Mountain Science de 2016-2018





## A manera de conclusión

Muchos otros efectos ecológicos de montaña se encuentran en los BMTN, incluido el poco estudiado efecto de cascada. No me estoy refiriendo al fenómeno físico real del movimiento descendente, a veces catastrófico, relacionado con rocas, deslizamientos de tierra, derrumbes u otras formas de movimiento de masas o de aguas. Las *cascadas tróficas* generadas por la introducción de algunas especies animales deben entenderse mejor. Por ejemplo, antes de la declaración de la Reserva Faunística Chimborazo en 1976, no existía vicuña en el área. Después de un exitoso proyecto piloto y luego de un esfuerzo concertado para promover el valioso comercio de lana con las comunidades cercanas, la imagen del páramo "natural" con los icónicos camélidos ahora se utiliza para promover el ecoturismo en Ecuador. Un importante ejemplo del efecto en cascada trófica fue detectado también con la introducción de la mosca negra y la infección pernicioso de los herbívoros voraces como ovejas, cerdos, vacas. El ganado libre itinerante del pasado ha permitido la presencia de toros salvajes o (re)asilvestrados que subsisten en libertad en las extensiones de páramo y que tradicionalmente se usaban en las fiestas de los pueblos andinos con corridas de toros "bravos". Estas especies cimarronas han producido una cascada de efectos que han motivado la "domesticación" del paisaje, a veces llamada la "mediterrización" del paisaje debido a las prácticas tradicionales de quemadas sucesivas y ganadería extensiva. Graves cascadas tróficas se evidencian con la desaparición de predadores del bosque, como el puma (*Puma concolor*) y el oso de anteojos (*Tremarctus ornatus*), por no decir la incursión de plantas exóticas invasoras.

Estos efectos no son sino una muestra de la compleja red de informaciones, interacciones, e implicaciones (las tres "ies" del geoletrado) que están en juego para entender la selva de montaña. El hecho de que los Bosques Montanos Tropicales de Neblina (BMTN) han suscitado interés científico en esta era de cambio climático y calentamiento global no es coincidencia: todos los investigadores sugieren considerar a la **Ecorregión Ecotonal Andina** (EEA) como el "canario de la mina" para usar la metáfora de la urgencia de indicadores de deterioro ambiental y en particular del calentamiento global. La influencia del calentamiento (como la migración superior del límite de la línea de árboles andina, o el derretimiento de los glaciares y su concomitante reducción del caudal hídrico disponible en las zonas bajas) y el cambio ambiental (como la sustitución del bosque por plantaciones forestales, la ampliación de la frontera agrícola, y la desaparición de la fauna y flora nativas de las selvas de montaña) está a la vista y merece ser mejor entendida como el proceso de transformación de los paisajes montanos.

Esta página se ha dejado en blanco a propósito.



# 2

*“Cambia lo superficial, cambia también lo profundo,  
cambia el modo de pensar, cambia todo en este mundo.  
Cambia el clima con los años, cambia el pastor su rebaño,  
y así como todo cambia, que yo cambie no es extraño...”*

*...Y el sol en su carrera cuando la noche subsiste,  
cambia la planta y se viste de verde la primavera.  
Cambia el pelaje la fiera, cambia el cabello el anciano,  
Y así como todo cambia que yo cambie no es extraño...*

*...Pero no cambia mi amor por más lejos que se encuentre,  
ni el recuerdo ni el dolor de mi pueblo y de mi gente.  
Y lo que cambió ayer tendrá que cambiar mañana,  
Así como cambio yo en estas tierras lejanas...”*

*Julio Numhauser*



El derecho de vía de la Carretera Loja-Zamora en el sitio de San Francisco, en el área de influencia del Parque Nacional *Podocarpus*; el primer plano con la vegetación madura y la influencia de la construcción de la vía, el cableado eléctrico de alta tensión y el deterioro generalizado por la deforestación galopante y la erosión de las laderas que bordean el área protegida.

*Crédito fotográfico:* Fausto O. Sarmiento (proyecto VULPES - <https://research.franklin.uga.edu/Montology/>)





## Transformación de paisajes montanos

Muchas investigaciones se han realizado para explicar por qué las formaciones vegetales en las cuencas altas de las montañas muestran la fisonomía de los bosques de cumbreras, chaparrales, páramos o áreas calvas (Allen *et al.* 2004; Young y León 2006; Malanson *et al.* 2007; Körner 2012; Mathisen *et al.* 2014; Wang *et al.* 2016; Malanson y Resler 2016; Möhl *et al.* 2019 y en otras fuentes). La mayoría de las referencias disponibles se refieren al estudio de parámetros físicos y explicaciones positivistas de la lluvia, las condiciones del suelo o la disponibilidad de nutrientes. En las últimas décadas, sin embargo, un esfuerzo renovado de comprender los gradientes de muchos tipos, sean altitudinales, de nutrientes, térmicos, de uso agrícola, ganadero y de otra naturaleza, desde puntos de vista alternativos se ha hecho evidente; las ciencias sociales, las humanidades e incluso las artes y la literatura están cada vez más disponibles en las fuentes académicas y de referencia “gris” sobre montañas (Naess 1989; Chepstow-Lusty 1996; Bowman *et al.* 2002; Sarmiento y Frolich 2002; Varela 2008; Sarmiento 2012; Sarmiento *et al.* 2017; Huisman *et al.* 2019; Pitches 2020, y en otras fuentes) para la narrativa geocológica y el geocriticismo.

Hay cuatro temas emergentes que coinciden con ambos frentes: en primer lugar, que **no existe una "línea" en la línea de árboles**; el mosaico límite tiende a ser un ecotono que muestra diferentes estructuras internas, como el borde de perturbación, el “*saum*”, la sombra de goteo, la repisa y el velo, que difícilmente se puede representar con una línea. En segundo lugar, éstas son montañas forestadas en la *ecoregión ecotonal andina* (EEA) de la línea de árboles que **se extiende varios cientos de metros** por la pendiente abajo, exhibiendo una marcada ecoclina en ecología funcional, mientras que otras tienden a localizarse alrededor de acantilados, promontorios o repisas (Resler 2006; Elliott y Kipfmüller 2010; Sylvester *et al.* 2014). En tercer lugar, que **no hay duda de que el impacto humano ha causado la ubicación** del borde del bosque/pasto en una zona en la que los incendios naturales son inexistentes (Vimeux 2009); cada sitio registrado evidencia quema intencional, debido principalmente al manejo del fuego y la intensidad del pastoreo, el mosaico límite resultante en la EEA se asemeja más al propósito previsto de la agricultura o la cría de ganado en vez de a una formación natural siguiendo envolturas climáticas (Sarmiento y Frolich 2002; Gehrig-Fasel, *et al.* 2007; Argañaraz *et al.* 2015; Mische y Mische 2000). Finalmente, **la presencia del impacto**



**humano** registrado como “familiarización” y no como “domesticación” en el bioma Neotropical (Fausto y Neves 2017), y los recientes sorprendentes hallazgos de utensilios, otros artefactos, canchas y residencias construidos con una desafiante arquitectura (Church y von Hagen 2008; Guengerich 2016; Ugalde 2017) y en estudios de arqueología del paisaje montano del flanco andino amazónico (Walker 2012; Vogel 2012; Yépez y León 2015; Núñez-Cortés 2020) llevan a concluir que el *enfoque montológico es apropiado* para entender mejor la selva de montaña del EEA.

### Las envolturas climáticas y el cambio de uso de la tierra

En las selvas de montaña se ha registrado ejemplos que calzan bien en las predicciones hechas con los modelos de distribución de especies basados en combinaciones de temperatura, precipitación pluvial y evapotranspiración potencial. Sea que se aplique el diagrama de Holdridge (1967) o que se siga la clasificación de las zonas de vida de Tosi (1980), la envoltura climática (o sea esta combinación hidrotérmica) pronosticará el tipo de vegetación a encontrarse, o sea la “Vegetación Potencial”. Sin embargo, en la práctica, al recorrer sitios en los que se esperaría encontrarla, el investigador verifica la ausencia de estas “obvias” especies, pero registra además el incremento de nuevas especies, muchas de ellas introducidas, exóticas o invasoras, que se han domesticado efectivamente convirtiéndose *de facto* en especies naturalizadas de la “Vegetación Actual o Realizada” con las que los habitantes de la zona se han forjado su noción de identidad paisajística (Kareiva *et al.* 2007). Por ejemplo, en los valles interandinos, muy poca gente sospecha siquiera que el verdor proveniente de las hierbas de los pastos son introducidos de África (*Pennisetum clandestinum*), o mucho de la cobertura arbórea es procedente de Australia (*Eucalyptus globulus*) o Norteamérica (*Pinus radiata*). Como un ejemplo del tipo de estudios de la vegetación tradicionales incluimos el Recuadro 4.

#### **Recuadro 4: Cambio de vegetación en los Tres Ríos Paralelos en China**

**Zehao SHEN**

Universidad de Peking. Peking. China.

*Shzh\_at\_urban.pku.edu.cn*

En los valles secos de la región de los Tres Ríos Paralelos, un punto de acceso mundial de biodiversidad en el noroeste de la Provincia Yunnan de China, investigamos la vegetación utilizando seis transectos de muestreo a lo largo de los gradientes altitudinales en los aspectos oriental y occidental del río *Nu-Irrawaddy*, el río *Lancang-Mekong* y el río *Jinsha*. Comparamos la distribución, según la elevación del terreno, de la riqueza de especies de plantas y



las tasas de rotación de especies a lo largo de los seis transectos, y explicamos los patrones usando las variables de clima, geografía y vegetación. La zona de vegetación seca y cálida estaba dominada por arbustos y hierbas y se encontraba por debajo de la altitud de 3.000 m.s.n.m. En elevaciones más altas, arbustos y hierbas fueron reemplazados por una zona forestal. La riqueza de especies de plantas aumentó con la elevación, la precipitación media anual y la latitud, especialmente para especies de hierbas y arbustos, y también se relacionó con el río, las zonas de vegetación y la longitud. La riqueza de especies de arbustos también aumentó significativamente en toda la región de oeste a este. La riqueza de especies de hierbas y arbustos en el río *Nu-Irrawaddy* fue mayor que la del río *Lancang-Mekong* y el río *Jinsha*, mientras que la diferencia de riqueza de especies entre los tres ríos no fue significativa para los árboles. La riqueza de especies de hierbas en la zona forestal fue menor que en las zonas de arbustos y hierbas. La tasa de rotación de especies de diferentes zonas presentó patrones de gradiente altitudinal inconsistentes, pero todos los valores máximos aparecieron en los ecotonos entre las comunidades de arbustos, en las altitudes más bajas del transecto, y las comunidades forestales, en las altitudes más altas. El ecotono arbusto-forestal se encuentra a una altitud de 1.900 a 2.100 m.s.n.m. en el valle del río *Nu-Irrawaddy*, a 2,300–2,400 m.s.n.m. en el valle del río *Lancang-Mekong*, y a 2.700–2.900 m.s.n.m. en el valle del río *Jinsha*. Las tasas medias de rotación de especies entre la sección de arbustos y hierbas y la sección de bosque dentro de cada transecto fueron menores que las de la misma sección de vegetación entre diferentes transectos dentro de la misma cuenca, y también menores que las tasas de rotación promedio para la misma sección de vegetación en los seis transectos.

El aislamiento espacial, la diferencia climática y el tipo de vegetación juntos podrían explicar ~67.5% de la variación en la tasa de rotación de especies entre las 12 secciones de vegetación de los seis transectos altitudinales, contribuyendo independientemente en un 35.5%, 32% y 0.5%, respectivamente. Estos resultados muestran el papel principal del clima en la determinación de la riqueza de especies entre los tipos de vegetación, mientras que el aislamiento geográfico entre los ríos es un factor dominante en el ensamblaje (por ejemplo, la composición de especies) de las comunidades de plantas.

Los *cambios en el uso de la tierra* en las selvas de montaña son evidentes: así por ejemplo, de tener cobertura forestal se ha pasado a tener una cobertura herbácea o gramínea; o del pastizal se ha pasado a la cobertura urbana, siguiendo la ley de transformación del paisaje antropogénico (Sarmiento 1982). Por el contrario, en algunas circunstancias se ha mantenido la misma cobertura de bosque, pese a que las actividades que la comunidad exhibe en la actualidad son muy diferentes de las del pasado reciente o más aún del pasado remoto (Walker 2012; Loughlin *et al.* 2018). Es por esto que se estudia la transformación del paisaje con un ángulo más amplio que un simple cambio en el uso de la tierra o de modificación geoespacial por cambio de cobertura vegetal, sino que se incluyen también los profundos cambios ecosociales que han transformado las comunidades y paisajes montanos manteniendo su cobertura original que no se captura por teledetección; por ejemplo, la historicidad paisajística



muestra que en el valle del río Quijos, el bosque “primario” se mantiene pese a que la agricultura de subsistencia ha dejado paso a la operación ecoturística, que en muchos casos ha prevenido la deforestación y ha aumentado la extensión de bosque “secundario” en una transición forestal efectiva, resultante de las relaciones de poder de la política de explotación y de protección existentes (Sarmiento 1997b; Loughlin *et al.* 2018). Debido al reciente desarrollo conceptual de los paisajes “manufacturados” o los sitios híbridos de cultura-natura en las montañas, la idea de conservar bosques remanentes como ejemplos de la biodiversidad natural se mantiene como una opción para conservar los microrrefugios para la **diversidad biocultural** y el patrimonio mixto de dichos paisajes tropandinos. Sin embargo, debemos considerar que estos remanentes son en realidad reliquias mantenidas en el escenario de cambio climático y que han sido expuestas también a la dinámica de la transformación del paisaje por milenios, lo que hace que el legado ecológico sea un indicador importante para el manejo del BTMN.

La transformación del paisaje sigue la tendencia homeorrética de *flujos adaptativos*, a diferencia de lo que se creyó en el pasado, que la sucesión ecológica llevaría a una *clímax estable sin perturbación* en la meseta homeostática del equilibrio montano (Suárez *et al.* 2011). En el presente, los bosques que han mantenido su fisionomía son considerados como refugios de biodiversidad. Debido a que ellos ocupan ahora una mínima extensión de su distribución pasada en la matriz humanizada, se los considera como microrrefugios de diversidad biocultural. Como ejemplo de este nuevo paradigma, incluimos el Recuadro 5.

#### **Recuadro 5: Microrrefugios, migración y conservación**

**Mark BUSH<sup>1</sup>, Bryan VALENCIA<sup>2</sup>, Courtney SHADIK<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Instituto de Ecología Global, Departamento de Ciencias Biológicas, Instituto de Tecnología de Florida. Melbourne, Fl. USA.

<sup>2</sup>Departamento de Geociencias, KIAM Universidad Nacional Amazónica, Ecuador.  
*mbush\_at\_fit.edu*

**Introducción:** Los microrrefugios son entornos locales a pequeña escala que permiten que las poblaciones persistan a través de condiciones climáticas adversas, mientras que otros miembros de la población desaparecen. Los microrrefugios se pueden ver como poblaciones o como configuraciones. Argumentamos que el valor futuro para la conservación de los microrrefugios es principalmente como configuración. Es la diferencia de un parámetro ambiental clave de la estadística general de la matriz circundante que persistirá, incluso cuando las especies individuales cambian. Un valle fresco puede calentarse, pero continuará fresco con relación a la región circundante.



En el pasado, los microrrefugios permitían a los sobrevivientes de la adversidad climática reactivar las expansiones subsiguientes de la población, desde un rango de ubicaciones geográficas lejos de la población principal. Estos puntos de partida locales, reducen las distancias de migración y permiten que las especies se mantengan cerca del equilibrio con el cambio climático. La evidencia de la existencia de microrrefugios se basa en parte en la observación moderna y en parte en una inferencia que proporciona una explicación lógica de las tasas de migración improbables. Los árboles generalmente migran en ca. 0.1 - 1 km por año. La aparente expansión y contracción de las poblaciones en entornos tanto templados como tropicales bajo el cambio climático pasado requiere tasas 10-100 x más rápidas a menos que se invoque la presencia de microrrefugios.

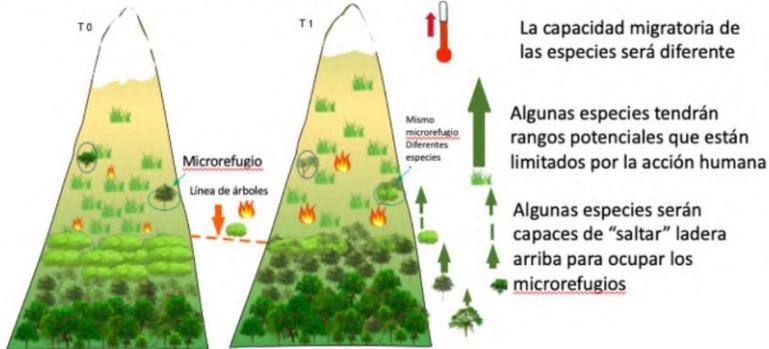
**Identificación de microrrefugios:** Identificar los microrrefugios individuales es un desafío, pero en algunas localidades de Perú y Ecuador pudimos rastrear la persistencia de las especies de *Polylepis* en todo el Holoceno, asignamos estas ubicaciones como microrrefugios. Otros ajustes vieron a *Polylepis* desaparecer durante la mitad del Holoceno. Sugerimos que la topografía local empinada fue fundamental para la supervivencia de *Polylepis*, ya que actuó como un cortafuegos, por lo que durante las principales sequías del Holoceno medio se quemaron los paisajes más planos y perdieron sus bosques de *Polylepis*, los sitios más empinados conservaron sus poblaciones. También demostramos que el clima dentro de un microrrefugio no es constante, por lo que es improbable que un solo entorno sea adecuado para todas las especies que están presentes en el inicio. En otras palabras, los microrrefugios no protegerán a todas las especies de la extinción local. En algunos entornos, los microrrefugios son productos de la actividad humana, es decir, islas libres de fuego, pero es probable que las especies que contienen estén conformadas por el uso de la tierra de la matriz circundante.

Los microrrefugios deben verse en el contexto de paisajes en constante cambio en los que las especies se enfrentan a filtros de condiciones marginalmente aceptables tanto en el espacio como en el tiempo. Los microrrefugios sirven como escalones para algunas especies y como centros de población para otras. Cuanto más prolongado sea el aislamiento de una población en un microrrefugio, menor será su probabilidad de supervivencia. Las teorías biogeográficas y de metapoblación de las islas son directamente aplicables a la forma en que vemos la posible supervivencia de las especies individuales o la diversidad dentro de los microrrefugios.

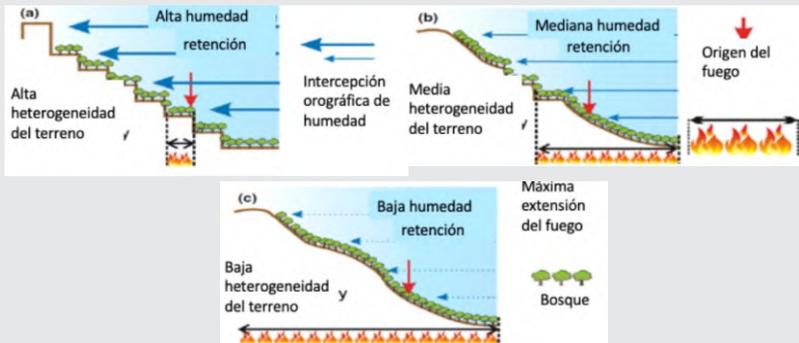
**Conclusión:** Durante la última era glacial, el cambio climático rápido y frecuente, de calor a frío y de húmedo a seco, llevó a las poblaciones a reconectarse y limitó la duración del aislamiento microrrefugial. El largo y constante calentamiento del Holoceno ya ha llevado al aislamiento microrrefugial a nuevos límites. Con el calentamiento continuo, no podemos prever condiciones más frías que permitan que los microrrefugios andinos vuelvan a conectarse. Cuando se combinan con los sistemas humanos de fragmentación del uso de la tierra y el calentamiento proyectado, anticipamos que muchas, si no todas, las especies que se producen en los microrrefugios modernos, húmedos y frescos se extinguirán localmente. Pero debido a que el microrrefugio ofrece condiciones menos extremas que el ambiente circundante, se convertirá en un refugio para la próxima ola de especies que necesitan condiciones más frías y húmedas que la configuración de la matriz. Por lo tanto, la conservación de los microrrefugios es esencial para mantener la diversidad de las montañas, pero debemos pensar que promueven la diversidad esencial del hábitat, en lugar de proteger una especie dada.



## Microrefugios y migraciones individualísticas



**Figura 1.** El calentamiento conduce a migraciones ascendentes, pero también aumenta la probabilidad de incendio. Las personas mantienen la línea de árboles a través de la quema, por lo que el bosque andino superior es comprimido desde abajo por el cambio climático y desde arriba por el uso humano de la tierra. Los microrefugios persistirán, pero las especies que poseen se darán vuelta.



**Figura 2.** La topografía como factor en la configuración de la ubicación de los microrefugios altoandinos. Las pendientes empinadas atrapan las nubes y están mojadas. La base de la pendiente es a menudo un pedregal que, combinado con la humedad, crea un incendio. Por lo tanto, las pendientes pronunciadas predicen ubicaciones microrefugiales (Valencia et al. 2016, New Phytologist).

### Agradecimientos

Nuestro agradecimiento a las personas y los gobiernos de Perú y Ecuador que nos han permitido estudiar sus ecosistemas. Reconocemos con gratitud la financiación del Foro de Belmont a través del NSF ICER-1624207 por financiar esta investigación.



### La transformación espacial revisitada

En la ecología clásica, la idea del bosque virgen, prístino o primario dio paso a la creencia generalizada de que los ecosistemas “naturales” existían sin necesidad de considerar a los humanos (Odum 1971). Habían existido así desde las eras geológicas muy antiguas y dichos ecosistemas transcurrieron sin la presencia humana, albergando fauna y flora que evolucionó siguiendo únicamente la selección natural (*sensu* Charles Darwin). La noción de la estabilidad de las comunidades “clímax” infundió una mal-planteada homeostasis del ecosistema, en donde las condiciones de equilibrio primaban para determinar qué tipo de comunidad vegetal o animal podría vivir en dichos bosques, elucidados por estudios de biogeografía tradicional, sistemática y bioecología, mostrando una gráfica muy parecida a las ondas pulsantes constantes del espectro electromagnético convencional. Sin embargo, la investigación socioecológica reciente de la ecología moderna, luego de cuestionar los supuestos que fundamentaban esta visión hacia el equilibrio, llevó a plantear oxímoros evidentes entre la realidad y la ficción teórica de las interacciones que no llevaban al equilibrio, sino más bien al “desequilibrio”, o sea la tendencia permanente de homeorresis a estar en un constante flujo de vaivén (Botkin 1990; Rowe 1995), como lo que se observa en gráficas del comportamiento estocástico de los bonos y acciones en los mercados financieros. Con estos nuevos entendimientos, incluso la teoría evolutiva cambió para incluir la noción de que el cambio de selección se daba no sólo por la competencia concurso del más fuerte o mejor dotado, sino considerar que las asociaciones mutualísticas que evitaban el conflicto por simbiosis era el sendero evolutivo de preferencia por ayuda mutua (*sensu* Peter Kropotkin). Aún más, con la crítica fundamentada sobre la falta de una escala definida, el uso de la palabra “ecosistema” fue dando preferencia a la palabra “paisaje” para denotar el estudio de un ente concreto, definido en lo que se aprecia desde el ojo del investigador con escalas espaciales y temporales definidas (Forman 1995; Naveh *et al.* 2002).

Esta consideración dinámica, con elementos auto-organizativos y de auto-trascendencia hacia nuevos estados cambiantes permitió reconocer que el ecosistema total humano es más bien un palimpsesto compuesto de varias copias renovadas en cada versión, lo que requiere intuir que los paisajes son dinámicos y adaptativos (Rodiek 1988) y que fluyen siguiendo el paradigma de pulsos (Odum *et al.* 1995). Muchos de los ecólogos tradicionales dieron el salto hacia la integración disciplinaria y asumieron el compromiso de entender la ecología como una ciencia social y presentaron las opciones de hibridación haciendo que la ecología fusione la ciencia y la sociedad (Odum y Sarmiento 1998). En este sentido, es claro concluir que las transformaciones



que ha enfrentado la selva andina en la EEA ha dado como resultado un mosaico fusionado de elementos naturales y culturales que permite calificarla como un paisaje construido, manufacturado, híbrido o de fusión (Walker 2012; Roberts *et al.* 2017). Este cambio de paradigma al través de disciplinas se perfila claramente al repensar la divisoria andina-amazónica (Pearce *et al.* 2020). Como ejemplo del cambio de paradigma experimentado en una de las regiones de bosque húmedo tropical tradicionalmente consideradas como prístinas, la Gran Amazonía, incluimos el Recuadro 6.

***Recuadro 6: Patrones espacio-temporales de gentes  
precolombinas en la Gran Amazonía***

*Crystal N.H. MCMICHAEL<sup>1</sup>, Mark B. BUSH<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Departamento de ecosistemas y paisajes dinámicos, Instituto de Biodiversidad y Ecosistemas Dinámicos (IBED), Facultad de Ciencias, Universidad de Amsterdam, Holanda.

<sup>2</sup>Instituto de Ecología Global, Departamento de Ciencias Biológicas, Instituto de Tecnología de Florida. Melbourne, Fl. USA.

*c.n.h.mcmichael\_at\_uva.nl*

**Introducción:** Un objetivo actual en muchas disciplinas científicas es incorporar datos sobre el uso de la tierra por los humanos y el cambio en los modelos climáticos y de vegetación globales del presente. Aquí, hemos utilizado datos arqueológicos y paleoecológicos existentes para proporcionar una reconstrucción espacio-temporal de la historia humana en la Gran Amazonía durante el Holoceno. Utilizamos un modelo de distribución por conjuntos basado en una base de datos de materiales georreferenciados y fechados por datación de radiocarbono (<sup>14</sup>C), y de factores ambientales, para predecir los cambios en las distribuciones espaciales de lugares ocupados por los humanos en el pasado.

**Resultados:** Ejecutamos estos modelos para los períodos de precultivo (de hace 13,000 a 6,000 años), cultivo temprano (de 6000 a 2500 años) y cultivo tardío (de 2500 a 500 años). Los modelos de conjunto sugieren que las personas habitaban principalmente las áreas periféricas de la Gran Amazonía, la cual incluía las regiones andinas, y las secciones orientales del río Amazonas principal y sus afluentes más grandes durante el período de precultivo. Las poblaciones humanas comenzaron a crecer exponencialmente durante el período de cultivo temprano y la gente se extendió y se expandió hacia los bosques interiores y a lo largo de los canales de los ríos en la Amazonía occidental. Las poblaciones continuaron creciendo durante el período de cultivo tardío en estas mismas regiones.

**Conclusión:** Nuestros resultados sugieren que muchos bosques, particularmente en las regiones andinas y las regiones periféricas y ubicaciones fluviales en la Amazonía, aún pueden estar en recuperación de las perturbaciones que han ocurrido repetidamente a través del Holoceno. Estos



resultados sugieren que es probable que se encuentren microrrefugios climáticos en áreas que no fueron ocupadas repetidamente por personas en todo el Holoceno, pero en su lugar es probable que se encuentren en áreas que contienen niveles relativamente bajos de disturbios humanos pasados.

Si bien los estudiosos de la conservación han generalizado las implicaciones del **cambio climático global**, especialmente las del efecto invernadero (Suárez *et al.* 2011), en la investigación del clima y sus variables, es importante darse cuenta que el *clima meteorológico* es tan solo uno de los distintos climas que afectan las condiciones del paisaje montano. Por ejemplo, tan importante como el clima meteorológico es el *clima político* y debido a los avatares políticos pasados, como guerras, aplicación de sanciones e incentivos o afiliación a importaciones, el paisaje ha sido afectado grandemente, especialmente en los últimos cinco siglos de dominancia europea en América (Levis *et al.* 2017). Se ha estudiado los efectos de la persistencia de la domesticación de plantas en la composición florística de la Amazonía, como ejemplo del impacto antropogénico en la distribución vegetal actual (McMichael *et al.* 2017), lo que constituye legados ecológicos bioculturales ancestrales. De la misma manera el *clima religioso* ha generado transformaciones fundamentales que han impreso una nueva identidad y patrones de comportamiento que han afectado gravemente el entorno. El *clima económico* de bonanza o de escasez ha influido directamente en presentar el paisaje montano modificado hacia plantaciones monoespecíficas, eliminación de especies consideradas como económicamente significativas, destrucción del bosque por requerimientos técnicos de producción agroindustrial, etc. Si bien el cambio climático es un factor preponderante en la transformación paisajística de la montaña a gran escala de tiempo y de espacio, es también útil ubicar los climas políticos, religiosos o económicos que operan en la EEA para establecer una mejor evaluación de dicha transformación, considerando los pulsos y las presiones de los paisajes socioecológicos productivos (Klein *et al.* 2019), afectados por impulsores de presión constante y por impulsores de pulsos episódicos y efímeros tanto en escalas nacionales o internacionales y en esquemas de subsistencia local o de mercado global. Como ejemplo de estos cambios que afectan la transformación en las selvas de montaña, incluimos un ejemplo del suroeste colombiano en el Recuadro 7.



**Recuadro 7: Mujeres indígenas del departamento del Cauca en la lucha territorial contra el desarrollo extractivista de la minería el suroeste colombiano**

**Eduardo ERAZO ACOSTA**

Grupo de Investigación "Currículo y Universidad" Universidad de Nariño, Colombia.  
*rueduardo2000\_at\_hotmail.com*

**Introducción:** Debido al deterioro ambiental global, el análisis de América Latina y el trabajo de las mujeres indígenas, el movimiento indígena Colombia-Ecuador, epistemes en el marco del cambio climático, la devastación de la llamada *Allpamama* de las comunidades originarias de la región andina, es urgente y necesario hablar sobre cifras reales, sobre resultados de investigaciones científicas que explican el deterioro ambiental y llamados a la acción, como el del Comité Landau, o las disertaciones a favor del cambio climático, como formas de atención urgente contra los efectos nocivos en el territorio y la resiliencia al cambio climático.

**Problemática:** De parte de la ciencia hay varios llamados como el del investigador del cambio climático global, pero desde las mismas comunidades originarias hay procesos de contribución epistémica que urgen un nuevo cuidado de la naturaleza. El análisis de la ecología, el cuidado del medio ambiente y el cambio climático en América Latina se utiliza en el marco de la convocatoria posterior al conflicto en Colombia; la paz se presenta a nivel internacional como la única realidad, sin duda dando lugar a una miríada de proyectos de mega-minería y los factores de extracción a favor del desarrollo globalizado, que afectan aún más las condiciones de los excluidos históricamente, los pueblos originarios ubicados en lugares estratégicos, debido a la riqueza en páramos, enagua, y en la biodiversidad que recibe ataque continuo y sistemático, con amenazas, desplazamiento forzado, asesinatos, por cuestionar el modelo de megadesarrollo que favorece el daño a la *Allpamama* y, sobre todo, aumenta los factores de violencia y exclusión en el país, no así para los medios de comunicación que sirven al unísono con los intereses oligopólicos nacionales e internacionales.

**Conclusión:** Las mujeres dentro del movimiento indígena juegan un papel fundamental, ya que son líderes comprometidas y, sobre todo, depositarias del conocimiento ancestral de la defensa de la *Allpamama*; su liderazgo es parte del mismo episteme de las comunidades indígenas, sobre la forma de entender la madre tierra, tomándose en cuenta en la formulación de planes de vida y organización comunitaria, comenzando por el reconocimiento de la oralidad, como un factor en la transmisión de la defensa del conocimiento ancestral, sumado al desarrollo de los ejes de vida y planes comunitarios: económicos, políticos, educativos y ambientales, como factores asociados al cuidado de la supervivencia de la vida y las ontologías comunitarias favorecidas por la narrativa feminista de equidad y previsión.

## El conflicto periurbano y el frente rurbano

Pese a que la mayoría de estudios de transformación del paisaje en las montañas neotropicales se basa en casos de cambio de uso de la tierra o cambio de



cobertura vegetal en zonas periféricas de las áreas protegidas o en paisajes rurales (Walker 2012), es muy importante incluir conceptos de la transformación en los cambios que se experimentan tanto en los centros urbanos tradicionales cuanto en las periferias rurales y urbanas que interaccionan en novedosas estructuras '*rurbanas*' y cambios sociales ciudadanos en las montañas tropicales. Las áreas metropolitanas de la región experimentan primacía demográfica, haciendo que el número de habitantes sea considerablemente mayor que la segunda ciudad más grande, fácilmente observable en Santiago, Lima, Bogotá o Ciudad de México, cuya primacía sigue atrayendo millones de futuros urbanitas. Las grandes capitales han incrementado no sólo en extensión territorial horizontal sino también en construcciones verticales cada vez más altas en los núcleos urbanos zonificados como distritos bancarios, o de utilización comercial y residencial. Como ejemplo de la magnitud del crecimiento vertical urbano incluimos la gran torre Costanera, en el corazón comercial de Santiago de Chile, cuyo contexto de rascacielos como torres de vidrio, ha hecho que la gente describa ese distrito con el nombre de "*Sanhattan*" haciendo referencia a la semejanza con la "gran manzana" de Manhattan, Nueva York.

Otro efecto importante de las "ciudades intermedias" se refleja en la transformación del predio amplio y huertos familiares de antaño, en amplias avenidas y construcciones multifamiliares que sirven para atraer a los campesinos que, en éxodo hacia la metrópolis, se asientan temporalmente en zonas periféricas y parques industriales que tienden a congestionarse y a redefinir su intención inicial hacia la masificación y facilitación de construcciones baratas y de baja calidad. Debido a su localización preferencial en el pie de monte o en las zonas bajas cercanas, estas ciudades retienen su capital forestal significativo, lo que justifica el sobrenombre de "*jardín de la patria*" como sucede en Tucumán, Argentina, en Ibagué, Colombia o en Chachapoyas, Perú. Sin embargo, la transformación del paisaje montano se manifiesta en la sustitución de la flora nativa por plantaciones exóticas, como el eucalipto o el pino, y en la preferencia dada a los modelos arquitectónicos modernos en vez del mantenimiento de los patrones de construcción republicanos patrimoniales. Como ejemplo de las opciones de incluir mecanismos de conservación de montañas tropicales en cascos urbanizados, incluimos el Recuadro 8 con un ejemplo de la ciudad de Guayaquil en Ecuador.



**Recuadro 8. Importancia de mantener las colinas boscosas que rodean la ciudad de Guayaquil para la diversidad de la avifauna urbana**

Nancy HILGERT, Virgilio BENAVIDES, George VARELA  
BENHIL C. LTDA.  
nancyperegrinus\_at\_gmail.com

**Introducción:** En la ciudad de Guayaquil, fundada en el sur de Ecuador en los manglares de la ecorregión de bosque seco de Tumbes en peligro de extinción, hay aproximadamente 300 especies de aves, incluidas 115 especies adaptadas para vivir y anidar en entornos urbanos rodeados de plantas, estructuras metálicas y de hormigón; también se alimentan de manjares a punto de estar contaminados y resisten el ruido extremo. Aprovechan cualquier espacio y lo reclaman como su territorio, lo que dificulta su desplazamiento si el hábitat ofrecido es ligeramente satisfactorio para su subsistencia, o si hay nuevos hábitats para ciertas aves que recientemente algunos podrían considerar ciudadinas, y otros que están simplemente migrando.

**Problemática:** La diversidad de la avifauna también se debe a la existencia de áreas verdes, estuarios, riberas, manglares, jardines, parterres, avenidas arboladas, parques lineales y, en general, todo tipo de plantas en el paisaje urbano, que proporcionan una variedad de ecosistemas vestidos con una naturaleza que poco a poco se estabiliza ecológicamente. Esto ofrece a la gran diversidad aviar del sector urbano nuevos hábitats para vivir. Además, la ciudad está rodeada de diversos ecosistemas y está enmarcada por Áreas Importantes para la Conservación de las Aves (IBA) que incluyen áreas protegidas estatales y privadas, y áreas no protegidas.

**Resultados:** La mayoría de las colinas de más de 100 msnm están protegidas por el Municipio de Guayaquil y obtienen la categoría de Vegetación y Bosques Protectores (BVP) del Ministerio del Medio Ambiente, y son las siguientes: BVP Bosqueira (100 sp.); BVP Paraíso (150 sp); BVP Palo Santo (50 sp); BVP Cerro Blanco (230 sp); BVP Prosperina (160 sp), y con muchas áreas protegidas nacionales como el Área de Recreación Nacional Isla Santay (128 sp); Área Nacional de Recreación de Samanes (130 sp); Área Nacional de Recreación Parque Lago (160 sp); Reserva de Producción de Fauna Manglares El Salado (120); las marismas y manglares de Guayaquil (150 sp); Reserva ecológica Manglares Churute, con muchas de estas colinas que alcanzan los 300 a 700 msnm. Entonces, la importancia de mantener sus bosques es vital para la diversidad de la avifauna urbana y la vida silvestre de Guayaquil. Podemos encontrar que 9 de estas especies están en peligro de extinción, incluyendo el guacamayo de Guayaquil (*Ara ambiguus guayaquilensis*), ave símbolo de la ciudad, el loro ecuatoriano (*Amazona lilacina*), el halcón de lomo gris (*Pseudastur occidentalis*), también podemos encontrar especies de aves endémicas y cuasi endémicas (46) el loro del Pacífico, el turpial coliamarillo, tres especies de tangaras, la paloma de tierra ecuatoriana, el periquito de mejillas grises, el piculeto ecuatoriano, el pájaro carpintero de espalda escarlata, la cola de la columna vertebral de cabeza negra, el ermitaño del barón, el trogón ecuatoriano, el pájaro hormiguero, el cucarachero con ceja, la eufonia coroninaranja y la alondra peruana. En el entorno de los manglares es fácil observar la garceta grande, la garceta blanca, la garza azul, la garza tricolora, la espátula rosada, el ibis blanco, el martín pescador verde y el martín pescador anillado.



**Conclusión:** La Empresa Pública Municipal de Turismo, Promoción Cívica y Relaciones Internacionales de Guayaquil está promoviendo la conservación de la biodiversidad de la ciudad a través del turismo y la educación ambiental mediante la creación del programa "Guayaquil es su destino para disfrutar de su naturaleza", "Guayaquil es su destino urbano para la observación de aves en el lado del mangle Estero Salado y en la ruta de los parques lineales".

En conclusión, la transformación del sistema socio-ecológico de montaña no se circunscribe a la zona rural o a las áreas "naturales" que se encuentran protegidas mediante algún sistema de conservación formal, sea estatal o privado. En la ecorregión tropandina se observan los cambios que han transformado al paisaje montano incluyendo los asentamientos humanos ancestrales, las aldeas, los pueblos y ciudades intermedias, e incluso en las grandes ciudades andinas.



# 3

*“Estas selvas nubladas andinas existen en la misma zona de elevación en que se encuentran en otros lados del mundo, por lo que pueden caracterizarse como selvas de poca elevación, selvas de gran elevación y selvas enanas, expuestas a la niebla y la lluvia empujadas por el viento en las alturas...”*

*Las selvas nubladas andinas son únicas e importantes no solamente porque existen sobre un extenso gradiente altitudinal sino también sobre un gradiente latitudinal...*

*La interacción de estos dos gradientes genera una variación increíble; por lo tanto, posibilita el entendimiento más completo de la selva nublada de lo que fue previamente posible...”*

*Randall Myster*



Vista panorámica del valle interandino de la provincial de Azuay en rumbo a la provincial de Loja, con ejemplos de silvicultura de plantación de pinos y eucaliptos, manejo de forrajes con pasto *kikuyu*, y recolonización de incendios con pirófitas indicadoras de sucesión secundaria, como *Pteridium* y *Puya* sp. Crédito fotográfico: Fausto O. Sarmiento (proyecto VULPES- <https://research.franklin.uga.edu/Montology/>).





## Cambios climáticos y asuntos metodológicos

El cambio climático se ha convertido en uno de los frentes de investigación más activos de las últimas décadas, especialmente luego de que la Convención Marco sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas (UNFCCC) favoreció la formulación interdisciplinaria sobre el estado del clima, basada en investigaciones realizadas por científicos altamente calificados que conformaron el panel intergubernamental de cambio climático (IPCC) que formula reportes técnicos que guían el entendimiento actual del proceso, con énfasis regionales a nivel global, incluyendo los Andes Tropicales (Anderson *et al.* 2017). Su formulación es hecha por el frente político de las naciones involucradas, tanto en la generación de contaminación y gasto de carbono, cuanto por las naciones que, sin tener mayor participación en la generación de gases de invernadero, son las que con mayor riesgo enfrentan las consecuencias del calentamiento global, como son: los deshielos de los glaciares tanto polares cuanto glaciares de la zona nival de muchas montañas, el aumento del nivel del mar, la acidificación del océano y la exageración de los extremos climáticos de lluvia, sequía, tormentas de viento, de arena, de incendios desastrosos, sea para la biota regional o para la población local. Estas reuniones, conocidas como las Conferencias de las Partes (COP) han generado instrumentos legales como acuerdos y tratados internacionales, como los logrados en Berlín (COP1), Kioto (COP3), Copenhague (COP15), París (COP21) y Madrid (COP25).

La discusión sobre el conocimiento exhaustivo originalmente liderada por el Programa Internacional para la Dimensión Humana (IHDP) del Programa Internacional sobre Cambio Climático (IPCC) se ha permeado al frente político en donde no hay consenso, acuñándose el término de “*incertidumbre ambiental*” que lleva finalmente a lo que se da en llamar “*escepticismo ambiental*” propio de quienes no confían en los científicos asalariados ni en el principio de precaución; sin embargo, en el frente científico de las “torres de marfil” no existe controversia sobre las causas y consecuencias del calentamiento global y su repercusión en los ecosistemas terrestres y marinos, especialmente en las zonas tropicales de montaña (Jomelli *et al.* 2009; Schoolmeester *et al.* 2016), a pesar de la dificultad de evaluar adecuadamente los impactos sobre la distribución de la fauna y flora en los flancos andinos (Báez *et al.* 2011) y la poca información generada por las estaciones meteorológicas a nivel regional o local (Anderson *et al.* 2017).



Una de las herramientas más poderosas de la ciencia para presentar escenarios futuros es el modelaje climático, mediante el cual se aplican algoritmos con diferentes parámetros que crean distintos resultados (Scheller 2018). Los resultados fácilmente se grafican en los modelos de circulación atmosférica global y se presentan códigos de color que identifican el incremento de temperatura o precipitación pluvial registrada en el potencial aumento futuro o para vislumbrar la posibilidad de las condiciones existentes en el pasado. Como ejemplo, incluimos el Recuadro 9 que explica el modelaje al pasado del clima y la fitodiversidad.

***Recuadro 9. Creando modelos para el clima, la vegetación  
y la biodiversidad del pasado***

***Paul J VALDES<sup>1</sup>, Taraka DAVIES-BARNARD<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>Universidad de Bristol, UK

<sup>2</sup>University of Exeter, UK

*p.j.valdes\_at\_bristol.ac.uk*

Hoy en día cada vez hay más pruebas de que una mejor comprensión de la biodiversidad y vegetación actual depende de un mejor conocimiento de los cambios del pasado. Hay paleodatos que proporcionan información esencial, pero siempre tendrán una cobertura espacial y temporal limitada. El crear modelos puede proporcionar información adicional importante, pero a menudo funciona a escalas espaciales demasiado grandes para los estudios ecológicos. Esta presentación expondrá nuevas simulaciones de modelos climáticos para la última deglaciación y el Holoceno, combinadas con métodos estadísticos de reducción de escala para proporcionar una reconstrucción de alta resolución temporal y espacial del clima y la vegetación desde el Último Máximo Glacial, hace 21,000 años. Esta presentación también mostrará los resultados de un nuevo modelo de biodiversidad, cuyo enfoque se basa en el rasgo funcional de la planta, y que se conoce como el modelo dinámico de vegetación global y de diversidad de Jena (JeDi-DGVM).

### **Los modelos estadísticos**

Con precisión matemática se utilizan modelos estadísticos que permiten establecer las posibles rutas que el sistema intervenido podría utilizar para efectivizar su respuesta a un disturbio o a una serie de perturbaciones resultantes de la alteración de los patrones de “normalidad” a los que se ve expuesto el ecosistema de montaña. Los resultados de modelos estadísticos cubren curvas de regresiones lineares simples o regresiones logísticas compuestas, pudiendo también representar situaciones en las que las coordenadas se intersectan en condiciones de equilibrio distintas del acostumbrado rango homeostático del balance del sistema. Por lo tanto, debido a que en las



condiciones naturales del paisaje tropandino el cambio es constante, para utilizar los modelos estadísticos es importante establecer el condicionante de *Ceteris Paribus*; es decir, si todo lo demás permanece igual, el cambio observado obedece al factor estudiado.

Esto nos lleva a cuestionar el concepto de lo que se considera “normal” y criticar el hecho de que las condiciones cambiantes pueden llegar a promover un nuevo estado que podría ser considerado “normal” en las cambiadas condiciones. Es así como el modelaje espacial implica el reconocimiento de modelos **neutros** en los cuales las condiciones de normalidad están definidas por los parámetros utilizados en el estadio inicial, o *Status Quo Ante* que puede generar situaciones alternas en el siguiente estadio. Como un ejemplo de la aplicación de modelos estadísticos en el estudio de la distribución de biodiversidad, incluimos el Recuadro 10 con referencia al estudio de dos especies africanas de interés como indicadoras de los efectos del cambio climático en su distribución.

**Recuadro 10. Comparación de los modelos estadísticos basados en procesos para calcular los rangos de distribución de las especies de *Podocarpus* y *Afrocarpus* en África central y la evaluación de su respuesta al cambio climático**

Louis FRANÇOIS<sup>1</sup>, Alexandra-Jane HENROT<sup>1</sup>, Marie DURY, Alain HAMBUCKERS<sup>2</sup>, Anne-Marie LEZINE<sup>3</sup>, Jérémy MIGLIORE<sup>3,4</sup>, Marc PAILLET<sup>1</sup>, Franck TROLLIET<sup>1</sup>, Rachid CHEDDADI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Unidad de Modelaje de Ciclos Climáticos y Biogeoquímicos, UR-SPHERES, Universidad de Liège, Bélgica.

<sup>2</sup> Unidad de Biología del Comportamiento, UR-SPHERES, Universidad de Liège, Bélgica.

<sup>3</sup> Laboratorio de Oceanografía y Clima, Universidad Pierre et Marie Curie, Paris, France.

<sup>4</sup> Biología Evolutiva y Ecología, Universidad Libre de Bruselas, Bélgica. <sup>5</sup> Instituto de Ciencias de la Ecolución, Universidad de Montpellier, CNRS-UM-IRD, France.

Louis.Francois\_at\_uliege.be

**Introducción:** Uno de los objetivos principales del proyecto VULPES (vulnerabilidad de las poblaciones en un escenario extremo, <https://vulpesproject.wixsite.com/vulpes>) es estudiar los impactos del cambio climático en varias especies focales de árboles forestales de montaña, especies que hoy en día tienen una distribución fragmentada, y cuya mayoría se considera casi amenazada, vulnerable o en peligro de extinción, según la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales (UICN). *Podocarpus latifolius* se encuentra entre estas especies de árboles focales de VULPES. Está clasificada como de menor preocupación en la lista roja de la UICN y crece en los bosques de montaña del centro y sur de África. Las especies estrechamente relacionadas son las del género *Afrocarpus*, que exhiben el mismo tipo de distribución en África. Esta distribución es relativamente amplia, ya que se extiende desde las tierras altas de Etiopía hasta Sudáfrica para *Afrocarpus*, y desde las montañas del Rift de África Oriental hasta Angola y Sudáfrica, y hasta Camerún



para *Podocarpus*. Sin embargo, hoy en día, estas especies están restringidas a parcelas que ya no son típicas para ellas dentro de los bosques de montaña y los bosques afro-templados. Por lo tanto, comprender cómo responderán estas especies al cambio climático es fundamental para su conservación, ya que la migración hacia nuevas áreas potenciales no siempre es posible bajo un cambio climático rápido y fuertes presiones humanas.

**Resultados:** En esta contribución, comparamos simulaciones de los rangos de distribución sobre África Central de las especies de *Podocarpus* y *Afrocarpus* obtenidas con el modelo dinámico de vegetación CARAIB y con un modelo de regresión logística basado en nichos ecológicos. El modelo basado en nichos reproduce con relativamente buena precisión las distribuciones actuales de ambos géneros, con la excepción de que se predice que *Podocarpus* estará presente en las tierras altas de Etiopía, y *Afrocarpus* en Angola, aunque estas no se observan en estas áreas. El modelo dinámico de vegetación se ejecuta primero para ambos géneros por separado y el cálculo de la productividad primaria neta (PPN) se usa para hacer el mapa de la distribución de las especies. Este procedimiento proporciona rangos de distribución muy amplios, ya que la PPN es muy alta en las montañas ( $> 1000 \text{ g C año}^{-1}$ ) donde se observan las especies, pero aún es bastante significativa en las tierras bajas ( $600\text{-}800 \text{ g C año}^{-1}$ ) donde están ausentes. Suponemos que la PPN refleja la distribución del nicho potencial (fundamental) de la especie en lugar de la distribución del nicho obtenido (realizado). En otras palabras, la ausencia actual en las tierras bajas no se debería a condiciones climáticas desfavorables, sino a una ventaja competitiva reducida en comparación con las especies de árboles de la selva tropical y/o capacidades limitadas de dispersión. Para verificar esta hipótesis, se realizó una simulación del modelo dinámico de vegetación con 91 especies de árboles africanos de tierras bajas y áreas montañosas. Después de solo  $\sim 1000$  años, la abundancia de *Podocarpus* y *Afrocarpus* en la simulación se reduce fuertemente en las tierras bajas, mientras que permanece alta en las montañas. Estas distribuciones de las especies en el modelo dinámico ahora están cerca de las producidas por el modelo basado en nichos y de las distribuciones observadas.

**Conclusión:** El modelo dinámico de vegetación sugiere que *Podocarpus* y *Afrocarpus* tienen una distribución de potencial amplia, mientras que la distribución realizada es mucho más estrecha. Si es así, el efecto del cambio climático en estas especies puede ser menos severo de lo esperado, o al menos en gran medida, condicionado por la respuesta de la especie competidora.

## Los modelos climáticos

Un modelo es una representación en miniatura de la realidad. Los expertos modeladores se han especializado en generar programas de computadora que facilitan integrar millones de datos climáticos obtenidos de varias estaciones meteorológicas a lo largo de las últimas décadas. Estos megadatos contribuyen a un intervalo de confianza cercano al utilizado en las ciencias exactas (p-value: 0.01) y ciertamente dentro del utilizado en las ciencias sociales (p-value: 0.05). Por esta razón estas simulaciones climáticas se consideran estadísticamente significativas, resultantes de muchas horas de cómputo en “supercomputadoras” y se valoran como herramientas técnicas de alta



calidad y precisión. No son solamente el resultado de la geovisualización especial de mapas, sino que representan una robusta integración de un sistema de información geográfica relacional que permite representar gráficamente la posibilidad de realidades alternativas de acuerdo a las condiciones establecidas en sus algoritmos. Por ejemplo, entre varios de los modelos disponibles, se ha utilizado un modelo dinámico de asimilación de carbono en la biosfera, llamado CARAIB por sus siglas en inglés) que permite establecer la dinámica de la vegetación basada en los procesos fotosintéticos y sus parámetros relacionados, como el tamaño de las hojas y la productividad primaria neta. Incluimos el Recuadro 11 para ilustrar cómo el modelamiento ayuda en la predicción de los árboles y su dinámica espacial.

**Recuadro 11. Afinación de los resultados de un modelo dinámico de vegetación (CARAIB):  
La importancia de los rasgos de las plantas para mejorar la precisión  
de la predicción a nivel de especies arbóreas**

*Alain HAMBUCKERS<sup>1</sup>, Marc PAILLET<sup>2</sup>, Alexandra-Jane HENROT<sup>2</sup>, Franck TROLLIET<sup>2</sup>,  
Rachid CHEDDADI<sup>3</sup>, Xavier FETTWEIS<sup>4</sup>, Yassine EL HASNAOUI<sup>5</sup>, Marie DURY<sup>2</sup>, Kristof  
PORTEMAN<sup>1</sup>, Louis FRANÇOIS<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Unidad de Biología del Comportamiento, UR-SPHERES, Universidad de Liège, Bélgica.

<sup>2</sup>Unidad de Modelaje de Ciclos Climáticos y Biogeoquímicos, UR-SPHERES, Universidad de Liège, Bélgica.

<sup>3</sup>Instituto de Ciencias de la Evolución, Universidad de Montpellier, CNRS-UM-IRD, Francia.

<sup>4</sup>Laboratorio de Climatología, UR-SPHERES, Universidad de Liège, Bélgica.

<sup>5</sup>Laboratorio de Geología Marina, SIUMV, Marruecos.

*alain.hambuckers\_at\_uliege.be*

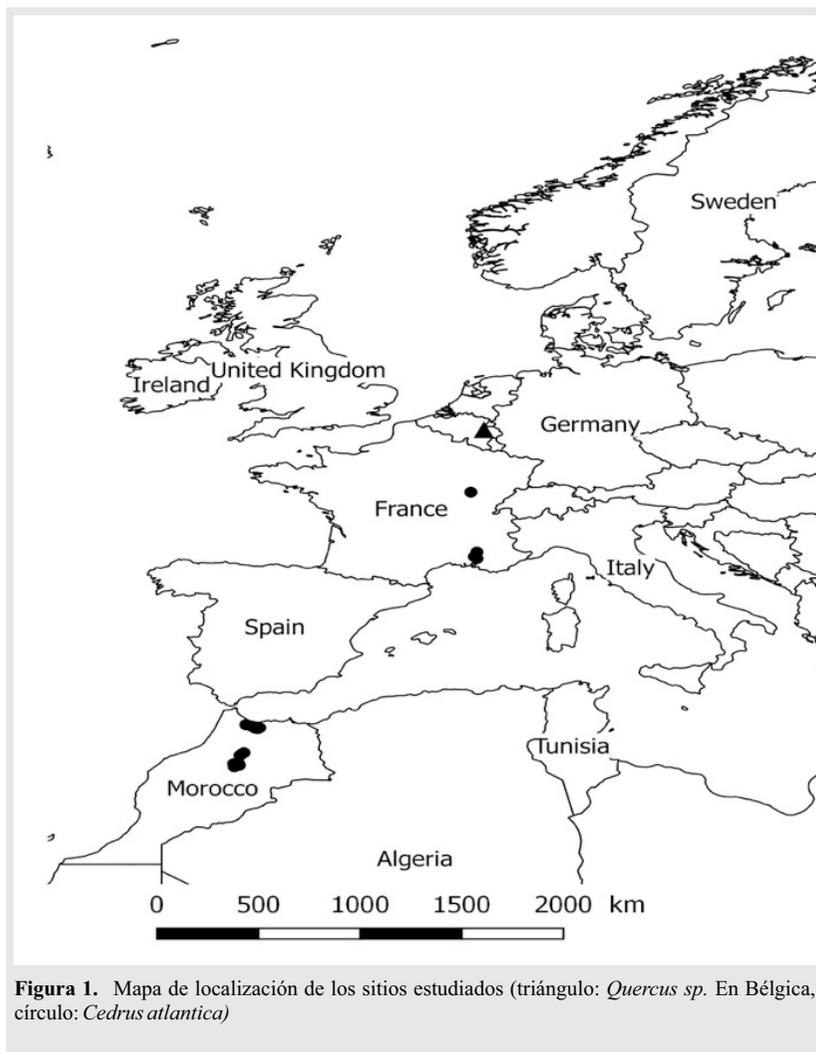
**Introducción:** Los modelos de vegetación dinámica (DVM) son modelos basados en procesos que combinan las entradas y las salidas de los submodelos, posiblemente en ciclos de retroalimentación, para simular las funciones de la planta. Los submodelos computan las condiciones externas e internas de la planta y las reacciones fisiológicas de los datos ambientales (clima, intensidad de luz, concentración de CO<sub>2</sub> en el aire, propiedades del suelo). Las DVM son herramientas de elección para predecir el futuro y el pasado de la vegetación teniendo en cuenta las variaciones climáticas. El uso de DVM para simular el crecimiento y el rango de las especies plantea nuevas preguntas para corregir los valores de los rasgos y validar los resultados.

**Problemática:** Los rasgos constituyen la especificidad de cada especie y varían entre ellas. Entre los rasgos, los umbrales bioclimáticos se deducen de las muestras de distribución. Los otros rasgos se refieren a la estructura, la bioquímica y la fisiología. Sin embargo, parece que los rasgos importantes que controlan la fotosíntesis, la respiración o las relaciones hídricas podrían variar fuertemente dentro de cada especie en respuesta a las condiciones ambientales.

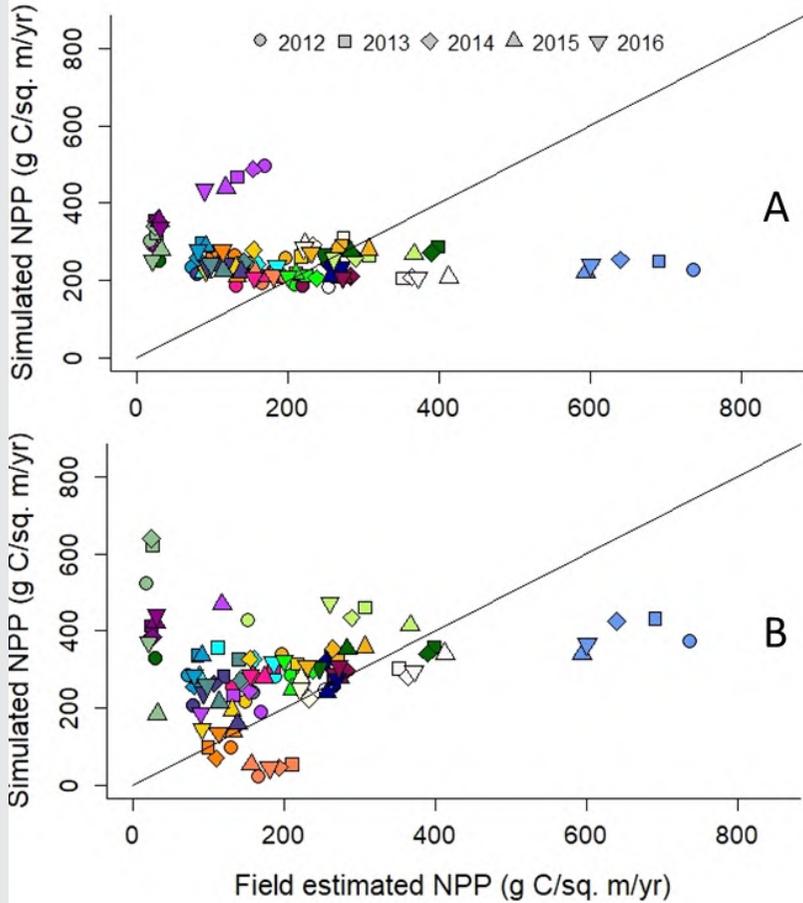


**Resultados:** Estudiamos *Cedrus atlantica* (Endl.) Manetti ex Carrière, en Marruecos (norte de África) en su distribución natural y en plantaciones en Francia. Es una especie arbórea amenazada de importante valor económico. También estudiamos *Quercus robur* L. y *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. en el este de Bélgica. En una serie de localidades, determinamos varios rasgos (área foliar específica, hoja C/N, albura C/N, así como para el cedro, longevidad de la hoja) y evaluamos la biomasa y la productividad primaria neta como datos de validación, gracias a los bosques. Usamos inventarios, análisis de dendrocronología y ecuaciones alométricas combinadas con estimaciones del índice de área foliar. Comparamos las simulaciones de modelo del DVM CARAIB al variar el conjunto de rasgos (estimaciones directas del sitio o valores predeterminados, es decir, del tipo funcional de la planta a la que pertenecen las especies) con los estimados de campo de la productividad primaria neta.

**Conclusión:** Descubrimos que los valores predeterminados de los rasgos proporcionan información suficiente para que el DVM calcule valores de salida aproximados, pero no tiene capacidad para reproducir variaciones entre sitios. Por el contrario, los rasgos *in situ* mejoran sustancialmente esta capacidad, lo que indica que los rendimientos de la planta son el resultado de la aclimatación a la evolución de las condiciones ambientales locales. Dado que nuestras estimaciones de rasgos podrían estar relacionadas con las condiciones climáticas del sitio, se prevé introducir las ecuaciones empíricas que relacionan los valores de los rasgos con el clima en el DVM para hacerlos dinámicos, lo que podría mejorar la predicción de la variación interanual.



**Figura 1.** Mapa de localización de los sitios estudiados (triángulo: *Quercus sp.* En Bélgica, círculo: *Cedrus atlantica*)



**Figura 2.** Las comparaciones entre la productividad primaria neta estimada en el campo de *Cedrus atlantica* y los resultados del DVM parametrizado, (A) con rasgos del tipo funcional de la planta (área foliar específica, hoja C:N, albura C:N, puntos con el mismo color pertenecen a el mismo sitio) o (B) con rasgos estimados en el campo.



Una contribución importante en el modelamiento espacial es la inclusión de consideraciones sociales que afectan directamente al clima, incluyendo el incremento de aerosoles en el comportamiento meteorológico de las lluvias en las montañas. La precipitación orográfica es sensitiva a los impulsores antrópicos de presiones y pulsos, sino también que la planificación efectiva de la conservación de la biodiversidad montana requiere evaluar los cambios pasados y futuros en los contextos culturales, históricos y políticos locales. En relación a los paisajes tropandinos, los modelos del sistema terrestre (ESMs) sugieren que la reducción en la precipitación sobre la mayoría de los trópicos durante el siglo XX se ha debido en gran parte al incremento en las emisiones de aerosol a lo largo del Antropoceno (Wang 2005), lo que ha repercutido también en la dinámica de las fluctuaciones de altitud en los glaciares de los Andes tropicales (Jamelli *et al.* 2009).

Con excepción de la Amazonía, y especialmente luego de los desastrosos incendios sufridos en 2019 en toda la cuenca amazónica, esta tendencia retrocede en el siglo XXI con un aumento en la precipitación sobre Asia, África central y los Andes tropicales a medida que los gases de invernadero llegan a ser la respuesta dominante del ESM (Kooperman *et al.* 2018). A pesar de que los cambios promedio de multimodelos son muy grandes, algunos modelos muestran un comportamiento contrario en escalas regionales y las limitadas observaciones de datos históricos llevan a incertidumbre sobre los cambios pasados y futuros. Por lo tanto, es muy importante resaltar el intercambio complejo de la permanencia de servicios ecosistémicos culturales en vista del inminente aumento de la cantidad e intensidad de lluvias en el futuro (Sarmiento y Kooperman 2019).

Sin embargo, también gracias al modelamiento climático al pasado, se puede comprobar que no siempre los efectos antropogénicos llevan a un estado de precipitación incrementada; por el contrario, los efectos nocivos de la deforestación y otros impactos que tienen que ver con la migración altitudinal de especies forestales como respuesta al calentamiento global, permiten que el rango de distribución altitudinal se extienda hacia límites más elevados y/o hacia confines más templados que los tropicales. Como un ejemplo ilustrativo de la situación de modelación paleoclimática efectiva incluimos el estudio interdisciplinario hecho en el África subsahariano del Sahel Occidental en el Recuadro 12.



**Recuadro 12. Evidencia de aridificación antropogénica abrupta en el Sahel occidental a partir de un registro paleoclimático de 1.600 años**

**Mathieu CARRÉ<sup>1,2</sup>, Moufok AZZOU<sup>3</sup>, Paul ZAHARIAS<sup>4</sup>, Abdoulaye CAMARA<sup>5</sup>, Rachid CHEDDADI<sup>6</sup>, Manuel CHEVALIER<sup>7</sup>, Denis FIORILLO<sup>8</sup>, Amadou T. GAYE<sup>9</sup>, Serge JANICOT<sup>4</sup>, Myriam KHODRI<sup>1</sup>, Alban LAZAR<sup>1</sup>, Claire E. LAZARETH<sup>1</sup>, Juliette MIGNOT<sup>4</sup>, Nancy MITMA GARCIA<sup>6</sup>, Nicolas PATRIS<sup>10</sup>, Océane PERROT<sup>6</sup>, Malick WADE<sup>11</sup>.**

<sup>1</sup>Universidades Sorbona (UPMC, Univ Paris 06)-CNRS-IRD-MNHN, Laboratorio LOCEAN, París, Francia.

<sup>2</sup>CIDIS-LID-Facultad de Ciencias y Filosofía-Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima, Perú. <sup>3</sup>Departamento de ingeniería de procesos, Facultad de Tecnología, Universidad de Bejaia, Algeria. <sup>4</sup>ISYEB – UMR 7205 – CNRS, MNHN, UPMC (Universidad Paris 6), EPHE – Museo Nacional de Historia Natural, Universidades Sorbona, París, Francia.

<sup>5</sup>Instituto Fundamental de Africa Negra, Universidad Cheikh Anta Diop, Dakar, Senegal.

<sup>6</sup>CNRS-UM-IRD-EPHE, Instituto de Ciencias de la Evolución, Universidad de Montpellier, CNRS-UM-IRD, Francia.

<sup>7</sup>Instituto de Dinámica de la Superficie Terrestre, Universidad de Lausanne, Suiza.

<sup>8</sup>CNRS-MNHN, Arqueología, arqueobotánica, sociedades, prácticas ambientales. Museo Nacional de Historia Natural, París, Francia.

<sup>9</sup>Instituto Politécnico, Universidad Cheikh Anta Diop, Dakar, Senegal.

<sup>10</sup>IRD-CNRS-UM, Hidrociencias Montpellier, Montpellier, Francia.

<sup>11</sup>Laboratorio Simeon Fongang de física atmosférica y oceánica. Universidad Cheikh Anta Diop, Dakar, Senegal.

*matthieu.carre\_at\_locean-ipsl.upmc.fr*

Dado que las incertidumbres del modelo climático se mantienen muy grandes para las futuras lluvias en el Sahel, se requiere una perspectiva multicentenaria para evaluar la situación del clima actual del Sahel en el contexto del calentamiento global. Presentamos aquí el primer registro de variabilidad hidroclimática en los últimos 1.600 años en Senegal, obtenido a partir del análisis de isótopos de oxígeno estables ( $\delta^{18}\text{O}$ ) en los yacimientos arqueológicos de conchas del delta del Saloum. Durante el período preindustrial, la región era relativamente húmeda, con una humedad máxima alcanzada durante el período comprendido entre 1.500 AD y 1.800 DC, conocida como la *Pequeña Edad de Hielo*. Se observa un vínculo negativo significativo en la escala centenaria entre la temperatura global y la humedad en el Sahel que no concuerda con los efectos esperados de los cambios latitudinales de la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ) durante el último milenio. En el contexto de los últimos 1.600 años, el Sahel occidental parece estar experimentando hoy condiciones de sequía sin precedentes: la rápida aridificación que comenzó ca. 1.800 AD y la reciente aparición de la sequía del Sahel desde el punto de variabilidad natural a un forzamiento antropogénico de la tendencia secante del Sahel. Esta nueva perspectiva a largo plazo sugiere que la recuperación de las precipitaciones del Sahel en la última década solo puede ser el resultado de la variabilidad interna a corto plazo. Además, este nuevo enfoque respalda los modelos climáticos que predicen un aumento de la sequía del Sahel bajo un futuro clima de efecto invernadero.



## Metodologías asociadas de genética y conservación

Una opción muy útil en la caja de herramientas de la conservación de diversidad biocultural es la genética. En realidad, el cambio observado en las ciencias naturales a favor de integrar estudios matemáticos y moleculares proporciona un acercamiento más certero de las antiguas descripciones morfológicas en las que se basaba la taxonomía de Linneo y la sistemática en botánica y zoología. En la actualidad se han reformulado los catálogos de identificación de especies y se ha priorizado el parentesco genético de los individuos. Es así como en el pasado se hablaba de especies distintas al tener distintos colores y dimensiones corporales, y ahora ellas se han agrupado en una sola especie. Muchos géneros han cambiado y hasta familias enteras han integrado individuos de muy distintas apariencias, como lo que sucede con la familia Emberizidae en las aves, o la familia Leguminosae en las plantas. Luego de la inclusión de análisis bioquímicos y moleculares, la posibilidad de integrar estudios genéticos se ha estandarizado para efectos de conservación.

Mas aún, luego de la popularización de metodologías genómicas y establecimiento de secuencias de ADN para muchos de los organismos, el mapa genético (incluso el humano) es ahora muy bien conocido. Como ejemplo de esta nueva tendencia de estudios de secuenciación génica se han determinado no solo la ubicación taxonómica de especies y variedades geográficas sino también su posible origen remoto o la elección de rutas de distribución espacial de acuerdo a las condiciones topográficas, la orogenia y las condiciones ambientales de los períodos geológicos del pasado remoto y reciente en las selvas de las montañas tropicales (Pinaya *et al.* 2019). Como ejemplo de la aplicación de la metodología genómica incluimos el Recuadro 13.

### *Recuadro 13. Genética y biología de la conservación en el contexto de los refugios cuaternarios*

**Pierre TABERLET**

Laboratorio de Ecología Alpina, CNRS UMR 5553, Universidad de Grenoble Alpes, Grenoble, Francia.

[pierre.taberlet\\_at\\_univ-grenoble-alpes.fr](mailto:pierre.taberlet_at_univ-grenoble-alpes.fr)

El clima global ha fluctuado mucho durante los últimos tres millones de años, lo que ha llevado a grandes cambios en la distribución geográfica de la mayoría de los organismos vivos. Tales cambios en el rango de distribución pueden tener consecuencias genéticas dramáticas, particularmente si el tamaño de la población es bajo en alguna etapa de los microrrefugios. Primero presentaremos el conocimiento actual sobre estos cambios de rango en zonas boreales, templadas y tropicales.



Uno de los parámetros clave es la importancia del cambio de rango, y existen marcadas diferencias entre las áreas tropicales y templadas. Además de estas consideraciones sobre el cambio de distribuciones, es importante aclarar los conceptos de la genética de conservación, con un énfasis particular en la genética de poblaciones pequeñas que podrían conducir a la depresión reproductiva y extinción de la endogamia. Luego, estableceremos el vínculo entre los cambios de rango del Cuaternario y la genética. Más específicamente, examinaremos las posibles consecuencias genéticas de los diferentes procesos para colonizar nuevas áreas y preservar (o no) la diversidad genética. Durante un cambio de rango, pueden ocurrir dos situaciones contrastadas: (i) la distancia de dispersión puede ser muy alta (varias docenas de kilómetros), lo que lleva a repetidos efectos fundadores y, en consecuencia, a una fuerte pérdida de diversidad, o (ii) la distancia de dispersión puede ser muy pequeña, (unos pocos cientos de metros) que preserva la diversidad genética inicial mediante un cuello de botella localizado. Además, otros parámetros extremadamente importantes son el tamaño de los microrrefugios durante el período de menor población y el número de dichos refugios que puedan permanecer como tales durante las épocas glaciales de menor expansión y durante los episodios de calentamiento con un potencial cambio de rango generalizado.

Una metodología que suma adeptos es la posibilidad de realizar inventarios taxonómicos utilizando la técnica de estudio del ADN ambiental (eDNA) haciendo códigos de metabar. Para ello se colectan varias muestras sin el previo aislamiento del organismo en cuestión; dichas muestras pueden obtenerse de suelo, agua, aire o materia fecal, en un diseño experimental de bloques al azar, o puede también ser de transectos aleatorios de acuerdo al grado de dificultad del terreno, y se preparan para hacer una extracción de las partes de ADN retenido en el suelo como evidencia de la presencia de grupos filogenéticos definidos. Al hacer un muestro sistemático longitudinal en un transecto en la ladera de la montaña se puede confirmar la abundancia de organismos indicadores o de taxones propios de las zonas altitudinales de vegetación (Taberlet *et al.* 2018). Al hacer muestreos continuados con este método se puede establecer un monitoreo real de la presencia de los organismos que forman el patrimonio del paisaje montaño. Una de las grandes dificultades en el entendimiento de las repercusiones del cambio climático en las montañas neotropicales radica precisamente en la falta de datos en general, o en la falta de un seguimiento sistemático de los pocos datos existentes que permitan el seguimiento de pautas de comportamiento del ecosistema, o el monitoreo del comportamiento de la especie en relación a los parámetros climáticos que afectarán los paisajes tropandinos. Como ejemplo del estudio de un taxón indicador incluimos el Recuadro 14.



## Recuadro 14. Diversidad genética de *Fagus longipetiolata* en China subtropical

Qiuchi WAN<sup>1</sup>, Frédéric BOYER<sup>2</sup>, Kangyou HUANG<sup>1</sup>, Zhuo ZHENG<sup>1</sup>, Rachid CHEDDAD<sup>3</sup>, Pierre TABERLET<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Earth Science and Geological Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou, Guangdong, China. <sup>2</sup>LECA, University of Grenoble Alpes, Grenoble, France. <sup>3</sup>ISEM, University of Montpellier, France.

[frederic.boyer\\_a\\_univ-grenoble-alpes.fr](mailto:frederic.boyer_a_univ-grenoble-alpes.fr)

**Introducción:** Hoy en día, hay cuatro especies de hayas en China (*Fagus longipetiolata*, *F. lucida*, *F. engleriana* y *F. hayatae*). Entre las especies estudiadas en el proyecto VULPES, *longipetiolata* es una especie de árbol de montaña caducifolio que tiene el rango más extendido en la China subtropical; sin embargo, su rango está muy fragmentado con individuos escasos que componen cada población. El objetivo de nuestro estudio es evaluar la diversidad genética moderna de *F. longipetiolata* en todo su rango y evaluar el potencial de su persistencia en sus refugios modernos.

**Resultados:** Se tomaron muestras de 20 poblaciones de *F. longipetiolata* (87 individuos incluyendo un "grupo externo" *F. lucida*) en China subtropical para el análisis de ADN que cubre la mayor parte del rango de especies. Secuenciamos cada individuo muestreado con baja cobertura. Esta secuenciación de baja cobertura permitió ensamblar la secuencia completa del genoma cloroplástico y la secuencia completa del grupo de ADN ribosómico nuclear (ADNr, que contiene el marcador ITS) para *F. longipetiolata*. Sobre la base de estas secuencias de referencia, pronosticamos polimorfismos de nucleótido único en todos los individuos que brindan información sobre el cloroplasto y la diversidad nuclear dentro de, y entre, las poblaciones.

Analizamos de forma independiente los cloroplastos y la diversidad genética de ADNr. Para ambos marcadores, se pudieron detectar tres grupos genéticos principales. A nivel cloroplástico, incluso si la señal parece estar estructurada localmente (los individuos de las mismas poblaciones tienden a estar genéticamente cercanos), no se puede detectar una estructura geográfica a nivel de rango de especies. Para el análisis de ADNr, los haplotipos parecen estar distribuidos aleatoriamente dentro del rango de especies. No se puede destacar un vínculo claro entre la distribución de haplotipos cloroplásticos y ADNr nr.

**Conclusión:** Este estudio destaca la baja concordancia en la diversidad genética de cloroplastos y ADNr para *F. longipetiolata* dentro del rango de especies en la China subtropical. Varios escenarios posibles podrían explicar el patrón de distribución genética observado. Se necesitan más investigaciones para llegar a una conclusión. Por lo tanto, planeamos diseñar marcadores de microsat en función de las secuencias de ADN que ya se adquirieron para obtener más información sobre la estructura genética nuclear y aplicarla a un mayor número de individuos. También planeamos adquirir datos genéticos sobre las especies estrechamente relacionadas de *Fagus*, ya que podría evaluar los posibles intercambios de material genético que ocurren (y ocurrieron en el pasado) entre especies y comprender mejor la estructura genética moderna observada para *F. longipetiolata*.



## Modelos de predicción de efectos

Existen esfuerzos colaborativos para la preparación de reportes regionales que incluyan estudios de caso locales realizados en cada país y presentar una visión regional o internacional de los efectos posibles y de las prioridades de investigación que motivan anticipar medidas de adaptación al cambio climático en los Andes tropicales (Schoolmeester *et al.* 2016; Carrión y Sandoval 2020), en especial con respecto al potencial hídrico y los servicios ecosistémicos que podrían verse afectados en relación al calentamiento global (Encalada *et al.* 2019) y en la destrucción masiva de la frontera agrícola que continúa eliminando los microrrefugios tropandinos (Wilson y Coomes 2019). Un punto importante que refuerza la noción de que no solamente se trata del cambio climático que habrá que modelar sino y fundamentalmente del cambio global que afecta los paisajes tropandinos, incluyendo los climas religiosos, políticos, de inversión, etc. (Sarmiento *et al.* 2020; Aguirre 2010). Como una ilustración de las prioridades de estudio de los efectos del cambio global, incluimos el recuadro 15.

### *Recuadro 15. Efectos del cambio ambiental global actual en los bosques de montaña neotropicales*

**Selene BÁEZ**

National Polytechnic School, Quito, Ecuador.  
*Selenebae\_at\_gmail.com*

Actualmente, el cambio ambiental global amenaza la biodiversidad y la función del ecosistema de los bosques neotropicales de montaña debido al cambio climático, la deforestación y el crecimiento de la población humana. A pesar de su importancia global primordial, los bosques tropicales de montaña han sido inesperadamente el foco de pocos estudios empíricos, especialmente si se comparan con otras regiones neotropicales, incluida la Amazonía. Por ejemplo, el Andino Tropical es uno de los puntos críticos de biodiversidad global más ricos en especies, ya que alberga el 15% de las especies de plantas del mundo en solo el 1% de la superficie terrestre del mundo (> 45,000 especies). Esta región contiene aproximadamente el 10% de las especies conocidas de plantas vasculares, y > 3.300 especies de vertebrados, de las cuales aproximadamente la mitad son endémicas; además, tiene un valor de conservación crítico debido a las altas tasas de diversificación biológica evolutiva.

En consecuencia, mi charla resumirá el conocimiento disponible, principalmente proveniente de estudios realizados a largo plazo y a gran escala espacial, sobre la forma en que los bosques de montaña neotropicales responden a los diferentes factores estresantes ambientales relacionados con el cambio ambiental global. Me centraré en las respuestas forestales en términos de diversidad de especies y tasas de fijación de carbono, ya que están estrechamente relacionadas con la provisión de una variedad de servicios ecosistémicos de gran importancia para las poblaciones humanas.



En general, el modelaje en ecología se ha sustentado en tres principios básicos: la definición de la meta del modelo, la parametrización de los componentes fundamentales de los modelos, y la cuantificación de los diferentes senderos de comportamiento que se puede deducir o inferir con los algoritmos, los esquemas o las visualizaciones de mapeo computarizado. Para que el modelo sea efectivo, se debe tener en cuenta que debe consistir en una representación simplificada de la realidad; por lo tanto, no debemos esperar que los modelos estadísticos, por ejemplo, tengan la completa validez de guía en cuanto a toma de decisiones. En muchos casos, como se ha visto en los modelos climáticos, la respuesta del ecosistema sigue la ruta del interesado, sigue la escuela metodológica favorita, o sigue los dogmas preconcebidos de la ciencia occidental, cuya recomendación fundamental promulgada por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) es insistir en el monitoreo continuo con el establecimiento de más estaciones hidrometeorológicas locales y la investigación básica sobre los efectos del cambio de temperatura y precipitación en la flora y la fauna del sector (Schoolmeester *et al.* 2016).

Finalmente, un desafío importante que se perfila en la montología neotropical es el de incluir en los modelos ecológicos la posibilidad de conocimientos alternativos, de verdades asumidas sin experimentación científica, pero con un amplio respaldo costumbrista, de repetición generacional o simplemente de iluminación de algún sabio instruido en el conocimiento tradicional. ¿Desde qué punto de vista analizaremos los modelos asumidos como válidos para generar una posición política a favor de la conservación de los bosques de montaña neotropicales? Esta sigue siendo una de las preguntas de la nueva ecología política andina.



# 4

*“Montaña plasmada de tiempo en el corazón profundo de las eras;  
inquieta testigo permanente de pasadas glorias y  
de sacrificadas pérdidas guardadas...”*

*Sin cielo ni suelo te confundes plena en tu matriz;  
al encontrarte inmersa en sedimento,  
ofreces generosa de evolución las pistas y  
adecuados insumos de ignorancia...*

*Desde la mágica revelación de tu secreto  
hasta la grata difusión de tus virtudes,  
ofreces, cual plácida acuarela,  
pinceladas de ciencia en lienzos oscurecidos de pobreza...*

*Evidencia certera de cambios sucedidos,  
aclaras finalmente la explicación buscada  
del pasado y el mañana inesperado,  
en esta variada riqueza montana  
donde nunca se dice la última palabra...”*

*Fausto Sarmiento*



Detalles de las vertientes interiores del cerro *Imbabura*, mostrando el mosaico del paisaje domesticado con los microrrefugios remanentes, los rastros de las quemadas pasadas y recientes y el indicio de la línea de árboles vertical dejada como evidencia indirecta luego de la tala de la nuboselva original, a manera de "flecos" de fragmentación, siguiendo los cauces empinados.

*Crédito fotográfico:* César Cotacachi, Ethnostek ([www.cesarcotacachi.wixsite.com](http://www.cesarcotacachi.wixsite.com)).





## La vegetación en el holoceno tardío

Al usar las metodologías de la paleoecología, especialmente las técnicas de estudio del polen fósil, las diatomeas, las esporas, los fitolitos, los otros restos que evidencian la vida en el pasado, como las partes de plantas (o macrofósiles) o de animales (como los restos del exoesqueleto de los Chironómidos) se puede intentar establecer un panorama cercano a la descripción de los paleoambientes con la utilización de un paleograma que describe la fecha aproximada del hallazgo de la evidencia dentro de un tubo de sedimento extraído de las profundidades de un lago o de los estratos lodosos de una turbera superficial. El registro limnológico capturado en la perforación del lodo del fondo de la laguna se toma como un registro fidedigno de la biota circundante y puede servir como aproximación o generalización de la presencia de organismos típicos de las selvas de montaña en las distintas eras y períodos geológicos. También en el testigo del tubo se encuentran restos de carbón vegetal lo que se toma como evidencia de fuego o quemaz generalizadas cuyos aerosoles fueron precipitados en la laguna o cuyas estructuras fragmentadas se depositaron por gravedad en el fondo lodoso.

Para efecto de nuestro análisis de la transformación del paisaje montano, nos circunscribimos al período *Cuaternario*, perteneciente a la era Cenozoica. En dicha era, la presencia del hielo marca el límite del *Pleistoceno* desde hace unos dos y medio millones de años hasta hace unos once mil años, caracterizado por severas glaciaciones. Dichas masas de hielo comenzaron a desaparecer y continúan disminuyendo en este último período geológico, el *Holoceno*. En el Holoceno *temprano* hace unos diez mil años se experimenta un incremento parcial de la temperatura del planeta y por lo tanto continúa el deshielo de las masas polares y las cumbres de las montañas glaciales. No hay una fecha límite que indique el Holoceno *medio* mas convencionalmente ubicado entre seis y tres mil años antes del presente. Por lo tanto, el Holoceno *tardío* inicial generalmente se lo ubica desde hace unos dos mil quinientos años y el Holoceno *tardío* final desde hace unos novecientos años hasta el presente. La presencia de las evidencias de contaminación por plomo y por radioactividad acumulada a nivel planetario identifica al *Antropoceno* como el último estadio del Holoceno *tardío* final que habría comenzado con la revolución industrial en el siglo XIX.



La presencia humana en las montañas tropicales se ubica hacia finales del Pleistoceno, cuando la megafauna merodeaba los ambientes montanos (Raczka *et al.* 2019) y los humanos comenzaban a utilizar instrumentos de piedra, como por ejemplo cuchillas y puntas de flecha de obsidiana, coincidiendo con la presencia de la cultura Clovis que se extendió rápidamente por el continente americano de norte a sur, luego de cruzar el estrecho de Bering (Lynch 1990). También es importante destacar el dominio del fuego que permitió la caza y la recolección, así como la domesticación tanto de fauna cuanto de flora, especialmente por el impacto causado a los bosques andinos por las consecutivas quemadas e incendios utilizados como su herramienta de manejo del medio que convirtió el bosque en páramo (Sarmiento 2012; White 2013; Domic *et al.* 2018) en los milenios de ocupación del espacio andino. Pero existen evidencias de que el clima cambiante del Holoceno tardío también afectó las laderas de las selvas montanas en donde no se registraron incendios, por lo que se deduce que si el calentamiento global estimula la sequía en estas regiones, un posible efecto podría ser el aumento de las quemadas. Como ejemplo del estudio del fuego como indicador del cambio climático incluimos el Recuadro 16.

**Recuadro 16. El uso del fuego para identificar refugios vegetación del Holoceno en los Andes peruanos**

**Rachel SALES, Mark BUSH**

Instituto de Ecología Global, Departamento de Ciencias Biológicas, Instituto de Tecnología de Florida, Melbourne, FL, USA.

*rsales2015\_at\_my.fit.edu*

**Introducción:** Los Andes tropicales son un reconocido punto de acceso a la biodiversidad y el cambio climático global en curso está obligando a las especies a migrar cuesta arriba en las montañas; pero, la migración no puede mantener el ritmo del calentamiento observado. Durante el calentamiento previo a mediados del Holoceno, una combinación de sequías y una base de nubes cambiante hizo que los lagos se secaran, y que en áreas secas, los humanos abandonaran paisajes enteros. En elevaciones altas, las áreas empinadas se han etiquetado como microrrefugios potenciales durante estos episodios, pero en elevaciones medias, los microrrefugios se pueden deber más a la orientación y a la inmersión en las nubes que a la rugosidad topográfica.

**Resultados:** El lago Progreso en Perú, a 2000 m de elevación, es actualmente el lago más antiguo con un registro paleoecológico entre 1.500 m y 3.000 m en los Andes tropicales del sur. Se efectuó un análisis de polen fósil y carbón vegetal en este registro para determinar si estos bosques fueron refugios para las plantas durante el Holoceno medio. Los resultados preliminares sugieren que Progreso ha funcionado como un refugio climático para las plantas durante los últimos 12,000 años. El registro de polen fósil muestra pocos cambios en los taxones forestales, como *Alchornea*, *Hedyosmum* y *Miconia*, durante las anomalías climáticas. Los pastos y las hierbas nunca se elevan



por encima del 10% de abundancia, y *Cecropia*, un género arbóreo indicativo de perturbación, nunca se eleva por encima del 5% de abundancia. Es importante destacar que el carbón vegetal está casi ausente del registro. En comparación con los entornos microrrefugiales de las tierras altas, las especies son diferentes, la topografía es diferente y el nicho general muestra poca similitud, con una excepción clave: ambos carecían de evidencias de fuego.

**Conclusión:** Progreso, y posiblemente otros sitios de altura media que no se queman, podrían servir como microrrefugio para las plantas durante el futuro cambio climático. Estudios posteriores deben determinar si los microrrefugios de vegetación también funcionan como microrrefugios para sus faunas asociadas.

De acuerdo a nuevas investigaciones paleoecológicas y arqueológicas en los Andes tropicales, parece ser que existe una correlación entre la adopción del agropastoralismo, desde los recolectores y cazadores de antes de 7000 años calibrados antes del presente (calAP) (Dillehal *et al.* 1992; Pearsall 2008; Chepstow-Lusty 2011) en el Holoceno temprano, hasta los agricultores y ganaderos que se han asentado en los BTNMs desde hace unos 4000 años cal AP. (Bush *et al.* 2016) en el Holoceno medio. En esta época se ha descubierto la presencia de continuas sequías sustanciales que determinaron lagos de poca profundidad en lo que hoy es Bolivia y Perú (Nascimento *et al.* 2018) en lo que se ha dado en llamar el *Evento Seco del Holoceno Medio* (ESHM). Mucho del apareamiento del agropastoralismo en los Andes y la presencia de domesticación de plantas y animales coincide con el ESHM (Marsh 2015; Nascimento *et al.* 2020). Debido a la rápida adopción de las técnicas de producción agrícola con cultígenos de tubérculos y cereales y producción ganadera con auquénidos y cávidos, la proliferación de paisajes “manufacturados” se extendió hasta ser el patrón prevaeciente hasta el Holoceno tardío (Guengerich 2014; Roberts *et al.* 2017). Un ejemplo de la reconstrucción climática y vegetacional asociada al impacto humano en el paisaje mas bien árido y caliente del ESHM se presenta en el Recuadro 17, contrastado con el incremento de la precipitación registrado en el *Óptimo Climático Medieval* (OCM) en que se observa un incremento en el registro de polen de bosque andino.

### *Recuadro 17. Reconstrucción de la vegetación, el clima y el impacto humano en el Holoceno medio y tardío en el páramo del Cajas, Cuenca – Ecuador*

**Manuela ORMAZARODRÍGUEZ**, Susana LEÓN YÁNEZ

Laboratorio de Paleocología y Botánica Andina, Escuela de Ciencias Biológicas, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito.

*manu\_aleja13\_at\_hotmail.com*

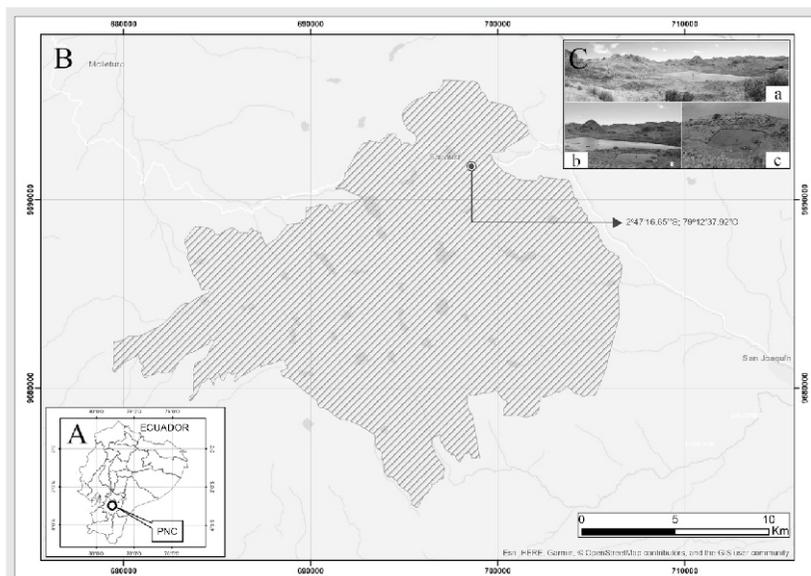
**Introducción:** En este estudio se reconstruyó la historia de la vegetación, el clima y el impacto humano del Parque Nacional Cajas (PNC) en los alrededores de la laguna Caballo-Shayana, entre



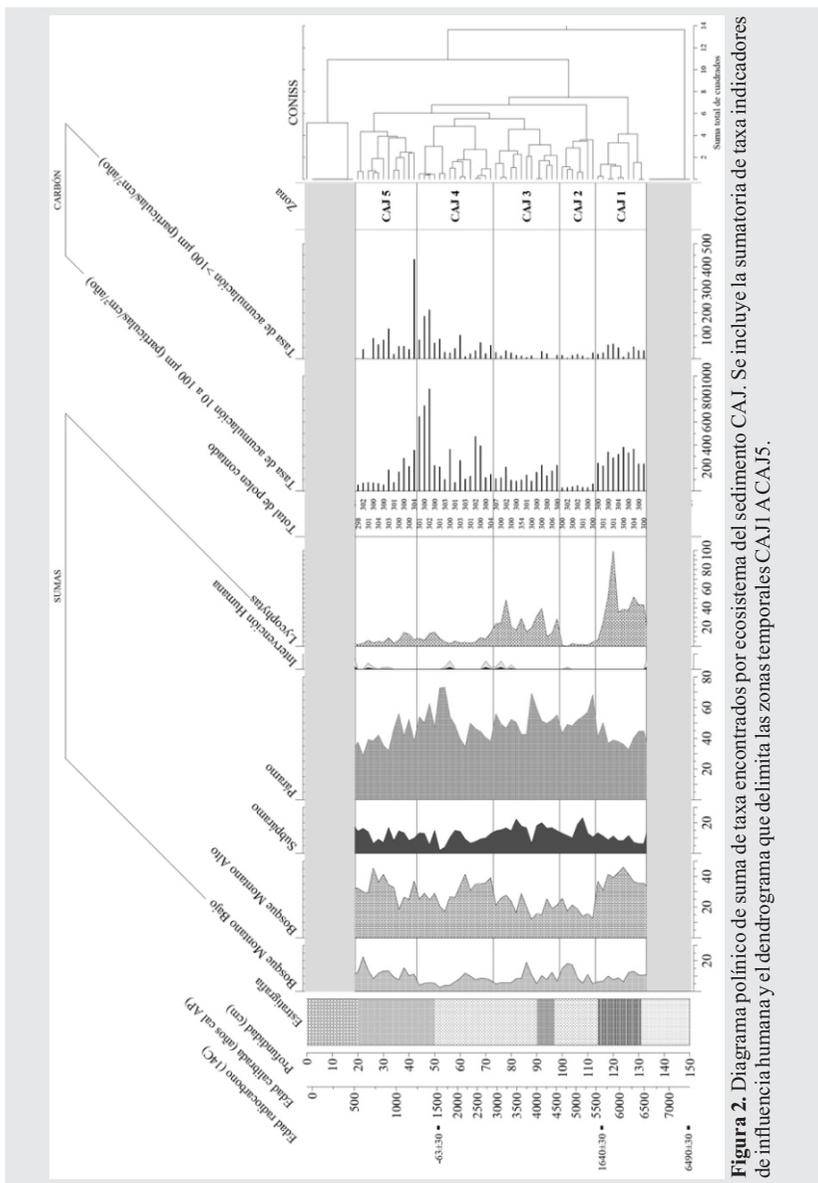
los ca. 6.545 a 514 años calibrados antes del presente (años cal AP), correspondientes al Holoceno medio y tardío. La reconstrucción del paleoambiente fue realizada a partir de un núcleo de sedimento (CAJ) que se obtuvo de un pequeño lago glaciar a 3.935 msnm en el flanco oriental de la cordillera occidental junto a Caballo-Shayana. Se realizó el análisis estratigráfico de un núcleo de sedimento que tuvo una longitud de 150 cm y se tomaron muestras cada 2 cm que se procesaron para aislar el polen, las esporas y el carbón fósiles. A continuación, se prepararon placas permanentes de cada muestra para identificar y contar el polen y esporas fósiles, así como las partículas de carbón. La curva edad/profundidad se elaboró en base a tres dataciones de radiocarbono (realizadas en el laboratorio Beta-analytic, Miami). Para elaborar los diagramas de polen y los respectivos análisis estadísticos se utilizó los programas TILIA y TILIAGRAPH. En el sedimento CAJ, tanto en los primeros 18 cm correspondientes a 484 a -63 años cal AP como en los últimos 20 cm equivalentes a 7.420 a 6.550 años cal AP, no se encontraron registros fósiles debido a que en la parte más superficial o más reciente el material se encontraba alterado probablemente por el arrastre de sedimentos durante la construcción de la carretera Cuenca – Molleturo – Naranjal; mientras en la parte más profunda o antigua el material corresponde a una tefra proveniente de una erupción del Cotopaxi donde casi no se encuentra polen. Entre los ca. 6.545 a 514 años cal AP se registraron condiciones climáticas variables entre cálido-secas y frío-húmedas.

**Resultados:** Dos eventos se destacan: (a) el aumento de temperatura durante la transición del Holoceno medio al Holoceno tardío, evidenciado por la disminución en la representación de páramo y el aumento de bosque montano alto y (b) el Óptimo Climático Medieval (OCM), evidenciado por la disminución en taxones de páramo y el aumento de los bosques montanos alto y bajo. La vegetación del sitio de estudio siempre fue páramo dominado por Poaceae, Cyperaceae y *Plantago*. Sin embargo, se registró también el polen de los ecosistemas de elevaciones inferiores como el subpáramo y los bosques montano alto y montano bajo. Para el subpáramo se registró a las familias Asteraceae y Calceolariaceae y al género *Polylepis* como principales representantes; para el bosque montano alto la especie *Alnus acuminata* fue el taxón más abundante, seguido por *Podocarpus* que sufre una disminución en la transición entre Holoceno medio y el tardío mientras que *Hedyosmum* aumenta en abundancia durante este periodo. Los taxa de bosque montano bajo mejor representados son el género *Acalypha* y el grupo Moraceae/Urticaceae.

**Conclusión:** Los patrones de fuego estuvieron presentes y se evidenció una mayor concentración y tasa de acumulación de partículas de carbón durante el Holoceno tardío, principalmente cerca del OCM (de 1.200 a 900 años cal AP), época que coincide con la presencia del pueblo *Kañari* (de 1.550 a 450 años cal AP) en Azuay. Sin embargo, el polen de Amaranthaceae y Chenopodiaceae indican indudablemente la presencia humana desde los ca. 4780 años cal AP.



**Figura 1.** Mapa del Ecuador en el que se observa la provincia del Azuay y la ubicación del Parque Nacional Cajas (PNC). B. Mapa del PNC que ubica el sitio de estudio. C. Fotografía del sitio de estudio: a. Fotografía panorámica del sitio; b. acercamiento a dos de las lagunas del sitio de estudio y c. Laguna donde se tomó el sedimento CAJ.



**Figura 2.** Diagrama polínico de suma de taxa encontrados por ecosistema del sedimento CAJ. Se incluye la sumatoria de taxa indicadores de influencia humana y el dendrograma que delimita las zonas temporales CAJ1 ACAJ5.



La posibilidad de que la intensificación de la agricultura y la concomitante deforestación no solamente haya modificado los paisajes tropandinos sino que también, debido a esta alteración vegetacional, se haya influenciado en el clima regional ha sido muy poco estudiada (Nascimento *et al.* 2020). Con toda seguridad, las continuas quemadas y el reemplazo de bosque por pastizal amplificaron las variaciones existentes en las señales climáticas que de otra manera pudieron ser amortiguadas por la vegetación existente (Horn y Kappelle 2009; Domic *et al.* 2018), como se ha comprobado con la localización de la línea de nubes en niveles superiores debido a la deforestación de los valles aledaños y de las planicies orientales de la vertiente caribeña en las montañas de Costa Rica (Lawton *et al.* 2003).

Debido a la importante contribución de la lluvia orográfica y la manifestación acentuada de los efectos de barlovento en el clima local de las montañas ecuatoriales, debe tomarse en cuenta cierta dinámica atmosférica que bien podría influir en la presencia de un tipo de vegetación diferente en el flanco occidental que en el flanco oriental de la cordillera andina (Schoolmeester *et al.* 2016). Esta consideración “situada” del análisis espacial de la dinámica paleoecológica es de mucha importancia para determinar las razones por las cuales especies endémicas locales pueden encontrarse preferentemente en una u otra vertiente de los contrafuertes andinos, o en una y otra ladera de las cabeceras hidrográficas en las altas cuencas que vierten hacia el Pacífico o hacia la Amazonía. Como un ejemplo de la dinámica vegetacional en el Holoceno en los últimos tres milenios registrada en el flanco occidental, incluimos el Recuadro 18, en donde se evidencia el efecto global de la *Pequeña Edad de Hielo* (PEH) que afectó la distribución de especies favoreciendo los taxa adaptados a condiciones más frías que las registradas, por ejemplo durante el ESHM o el OCM, haciendo que la dinámica entre formaciones vegetales de alta montaña se interdigiten con aquellas representativas de los bosques altoandinos.

**Recuadro 18. Tres milenios de dinámica de la vegetación y el clima en tres volcanes de la Cordillera Occidental del Ecuador: Mojanda, Pichincha y Chimborazo**

Susana LEÓN YÁNEZ, Andrea VILLOTA, Alex DÉFAZ, Carolina BOADA

Escuela de Ciencias Biológicas, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Av. 12 de Octubre 1076 y Roca, Quito, Ecuador.

[sleon\\_at\\_puce.edu.ec](mailto:sleon_at_puce.edu.ec)

**Introducción:** En tres sitios localizados en la Cordillera Occidental de los Andes del Ecuador, Mojanda, Pichincha y Chimborazo, se realizó la reconstrucción de la historia de la vegetación en base al análisis de polen fósil con el fin de conocer las respuestas de la vegetación a los cambios en



el clima y a la influencia humana en los últimos tres milenios. El sedimento fósil de Mojanda se obtuvo en la laguna Huarmicocha a 3748 msnm y refleja la historia de la vegetación durante 3400 años calibrados antes del presente (años cal AP). El sedimento de Pichincha se obtuvo de un pequeño pantano en el flanco oeste del volcán Guagua Pichincha a 3900 msnm e incluye 730 años cal AP. El sedimento de Chimborazo se extrajo de un pantano a 4200 msnm en el lado húmedo del volcán Chimborazo y engloba 2800 años cal AP.

**Resultados:** Los resultados del estudio de polen y esporas fósiles muestran que los tres sitios estuvieron cubiertos por vegetación de páramo a lo largo del período de tiempo analizado; sin embargo, los sedimentos reflejan también la señal de la vegetación tierras abajo y muestran la dinámica de los bosques montanos en estas localidades. En Mojanda, el páramo estuvo dominado por los taxones Poaceae, Cyperaceae y Plantaginaceae, en ese orden, mientras que el bosque montano alto los taxones más importantes fueron *Weinmania*, *Hedyosmum* y *Polylepis*. En Pichincha, el páramo estuvo dominado por Cyperaceae, Poaceae y Plantaginaceae y el bosque montano alto por *Hedyosmum*, *Myrsine*, Rubiaceae y Melastomataceae. En Chimborazo, el páramo estuvo dominado por Poaceae, Plantaginaceae y Gentianaceae y el bosque montano por *Clethra*, *Alnus*, *Ilex*, *Hedyosmum*, *Myrica*, *Weinmania* y *Solanaceae*.

En base a los cambios en las proporciones relativas de los taxones de polen y esporas se pudo examinar la dinámica de la vegetación y se detectó varios períodos cálidos a fríos, y secos a húmedos, entre los que se encuentran el Óptimo Climático Medieval cuya señal se encuentra en los sedimentos de Mojanda y Chimborazo, y la huella de la Pequeña Edad de Hielo fue detectada en Pichincha y Chimborazo. Además en el período más reciente, se nota un aumento en los taxones de bosque acompañado de la disminución en algunos taxones de páramo que se atribuye a episodio de un calentamiento; sin embargo, en Chimborazo el fuego y actividades humanas como la agricultura parecen estar favoreciendo la expansión del páramo e impidiendo el avance de la línea superior de bosque.

**Conclusión:** Las partículas de carbón de los sedimentos analizados muestran que los fuegos estuvieron presentes constantemente en las tres localidades. En Mojanda, una mayor tasa de acumulación de partículas de carbón, entre ca. 1300 a 500 años cal AP, coincide con la presencia de la ocupación humana preincaica que dejó como huella el sitio arqueológico de las pirámides de Cochasquí. En Pichincha, las partículas de carbón aumentaron entre los 350 a 80 años cal AP y se atribuyen principalmente a fuegos ocasionados por las actividades humanas de la creciente población de Quito y los alrededores. En Chimborazo se encuentran partículas de carbón durante los últimos 1700 años que aumentaron a los 700 años cal AP y desde hace 200 años. En general en estos sitios y durante el período analizado, los mayores picos de acumulación de partículas de carbón están relacionados a fuegos que coinciden con la presencia humana.

Los arqueólogos han tratado de encontrar las evidencias certeras que puedan ayudar a discriminar la evolución cultural de los habitantes del Holoceno en los Andes, lo que ha llevado a caracterizar las culturas presentes de acuerdo a los objetos utilizados para sus labores habituales que han subsistido al paso de los años, considerando los



hallazgos de piedras no pulidas, como más antiguos que los de las piedras pulidas, y de los restos de cerámica, en lo que se llama el *período formativo* temprano o tardío. Los más modernos indicios de los remanentes arqueológicos incluso agrupan la cerámica llana como la más antigua que la cerámica labrada y pintada con tonos acres y negros. La certeza en la precisión de delimitar el Holoceno tardío también se ve entorpecida por la dificultad de dataciones de  $C_{14}$  con precisión en fechas recientes. Sin embargo, se concuerda en considerarlo desde el apareamiento del agropastoralismo en el ESHM.

Otras formas de datación requieren de aproximaciones determinadas por la medición de arenas, o la determinación de fracturación luminiscente, y otras técnicas usadas en los estudios de la arqueología del paisaje, que a pesar de su precisión instrumental, no permiten establecer un límite específico en el Holoceno tardío dando paso al Antropoceno actual. De esta manera, al referirse al impacto humano en el paisaje tropandino, se hace una generalización con respecto a milenios de una “*ingeniería*” del paisaje que se ha hecho presente desde tiempos ancestrales, abarcando posiblemente decenas de miles de años.



# 5

*“ ... Y descienden los cielos con densos nubarrones  
mandando emisarios, ceñudos y altaneros,  
a los vientos del norte, los del sur, los del este...*

*¡Que limpien a su paso de hombres y de bestias!  
las caderas del monte, los senos de la sierra,  
y los valles profundos de la amada que espera  
con mil ojos abiertos, de lagos insondables...*

*Con mil ojos profundos,  
de cavernas selladas.  
Y una angustia infinita de espuma  
en sus orillas...”*

*Jaime Valarezo*



Los páramos del Antisana, en el paso de *Wamani*, subiendo hacia la Virgen, en la divisoria continental. Note como esta misma ladera antes del 2005 se encontraba cubierta completamente por nuboselva andina, especialmente *Polylepis* sp y *Oreopanax* sp. Luego de la deforestación masiva de estas selvas andinas, los troncos de estos árboles terminaron como postes para el alambre de púa de los nuevos potreros para cuidar la incipiente ganadería de lidia y delimitar terrenos de migrantes de amenidad. *Crédito fotográfico:* Fausto O. Sarmiento. (proyecto VULPES- <https://research.franklin.uga.edu/Montology/>).





## Actuoecología del Antropoceno

Los bosques montanos tropicales de neblina (BMTN) han sido considerados como uno de los tipos de bosque más diversificados y menos estudiados de la ecorregión tropandina (Cuesta *et al.* 2005). Sin embargo, la atención científica ha sido puesta especialmente en la diversidad biológica, considerándola como la simple respuesta de la geografía ecuatorial y tropical traducida en una constante insolación, temperaturas moderadas sin mayores cambios estacionales a lo largo del año, y una precipitación pluvial elevada, incluso en meses considerados de “época seca” debido a la neblina pertinaz que proporciona insumos hídricos significativos como “precipitación horizontal” (Mulligan 2011). Tratados sobre la ecología de paisaje de los ecosistemas alto-andinos han empezado a proporcionar pistas sobre la correlación efectiva entre el impacto humano del manejo ancestral del bosque andino y la posible fisionomía que caracteriza la vegetación actual de la ecorregión tropandina (Naveh *et al.* 2002) y especialmente en la intrincada relación del impacto humano y las vagarías del clima en la región (Åkesson *et al.* 2020), dadas las limitaciones a la movilidad de la fauna y flora impuesta por las condiciones preponderantes en el Antropoceno (Tucker *et al.* 2018).

Con la incorporación de estudios disciplinares provenientes de la arqueología de paisajes (Guengerich and Berquist 2020; Núñez-Cortés 2020), de la paleoecología (Åkesson *et al.* 2020; Chepstow Lusty *et al.* 2011), de los estudios genómicos aplicados a la distribución de especies montanas (Pinaya *et al.* 2019; Cheddadi *et al.* 2019) y especialmente de biogeografía crítica (Butzer 1992; Aide *et al.* 2019) y de la ecología política (Sarmiento *et al.* 2019a; Sarmiento 1987), estos enfoques han hecho coalescencia en la *ciencia transdisciplinaria* de Montología. El enfoque montológico ha proporcionado un mejor entendimiento sobre la hibridación que se evidencia en la natura-cultura de los BMTN en los paisajes tropandinos. Como un ejemplo de la transdisciplinariedad necesaria para entender la montología andina, incluimos el Recuadro 19.



**Recuadro 19: Dinámica del paisaje en ecosistemas andinos tropicales en respuesta a perturbaciones naturales y antropogénicas**

*Veerle VANACKER<sup>1</sup>, Armando MOLINA, Pablo BORJA, Gustavo TENORIO, Sebastian PAEZ, Marlon CALISPA, Gerard GOVERS, Diego MORA, Pierre DELMELLE, Marcos VILLACIS, Nathalia VALENCIA, Paul VINTIMILLA, Felipe CISNEROS.*

<sup>1</sup>Universidad de Lovaina, Bélgica.

*Veerle.Vanacker\_at\_ulv.be*

**Introducción:** Los paisajes andinos tropicales son biogeográficamente muy diversos: tienen fuertes gradientes ambientales con cambios rápidos en geomorfología, geología y suelos, clima y biota en distancias cortas. Sus cuencas de cabecera funcionan como importantes reguladores del suministro de agua, sedimentos y nutrientes a la cuenca del Amazonas. Las actividades antropogénicas han transformado cada vez más los ecosistemas andinos tropicales en un mosaico de parcelas agrícolas, centros urbanos y rurales, plantaciones forestales y restos de bosques nativos y praderas.

**Problemática:** En este recuadro, presentaremos dos paisajes andinos en el borde, que están cambiando rápidamente bajo la influencia del uso de la tierra y el cambio climático. En cada uno de ellos, destacaremos las interacciones dinámicas de la biota y los humanos con los procesos de la superficie terrestre. El primer paisaje es característico de los valles interandinos que antes fueron utilizados para la producción agrícola por las civilizaciones andinas preincaicas. La erosión acelerada del suelo por prácticas agrícolas insostenibles condujo a la disminución de la fertilidad del suelo y potencialmente jugó un papel importante en la emigración rural.

Después del abandono agrícola, la recolonización por parte de las plantas locales y la plantación de árboles condujo a la repoblación del paisaje, con impactos medibles en la erosión del suelo y el transporte de sedimentos, la generación de escorrentía y el flujo de la corriente. El segundo paisaje, alto andino o páramo, está situado a más de 3200 msnm y es extremadamente vulnerable al calentamiento climático. Este ecosistema de tundra alpina se ve menos afectado por el cambio en el uso del suelo. El mosaico de pastos, plantas en cojín y bosques nativos ofrece una buena oportunidad para estudiar la influencia de la biota en el desarrollo del paisaje del suelo.

**Conclusión:** Más allá del control topográfico a escala de laderas sobre el desarrollo del suelo, observamos diferencias significativas en la extensión de la meteorización del suelo entre las comunidades de vegetación que insinúan retroalimentaciones eco-evolutivas del suelo de la planta. Aunque están ubicados a solo 45 km de distancia, los dos paisajes contrastantes ilustran cómo las interacciones y las retroalimentaciones entre los procesos de la superficie terrestre, la biota y los humanos reconfiguran los paisajes andinos tropicales.

Una de las grandes incertidumbres sobre la distribución de la biota andina radica en la dificultad de obtener registros confiables de restos fósiles que puedan ser datados con certeza. Debido a esto, se recurre a otras aproximaciones (*proxies*) que permitan extrapolar datos provenientes de distintas fuentes, incluyendo bioluminescen-



cia (e.g., arcillas, y minerales enquistados en espeleotemas, etc.); análisis de isótopos que puedan interpretarse en función de su vida media antes de descomponerse en otro (e.g.,  $C_{14}$ ;  $O_{18}$ ; etc.); genómica del ácido ribonucleico que permite establecer el linaje y el origen de ciertos genes asociados con el organismo en estudio (e.g., ARN ribosomal, ADN ambiental, marcado genético, etc.); la caracterización de la vegetación pasada en función de la lluvia polínica recolectada del fondo de lagunas y cuerpos de agua (e.g., polen fósil capturado en las bandas de lodo sedimentado); la correlación con el tipo de vegetación presente cuando otros organismos o parte de ellos que fueran precipitados y acumulados en el fondo de los humedales (e.g., restos de insectos quironómidos, pedazos de carbón producto de las quemadas, fitolitos exudados por ciertas plantas; e incluso evidencias de esporas típicas de hongos de descomposición orgánica en materia fecal de rumiantes (e.g., *Sporomiellia*, etc.) o en general organismos propios de contaminación fecal (e.g., diatomeas elípticas, *Nitzschia* y *Navicula*, etc.).

La datación al contar los anillos de crecimiento en los troncos de los árboles es una de las técnicas más utilizadas para la determinación de la vegetación arbórea y su edad relativa (por eso se la llama *dendrocronología*). Se basa en contar los anillos de crecimiento que se acumulan dentro del tallo de las especies leñosas que habitan latitudes con un marcado cambio estacional entre el verano (o de crecimiento) y el invierno (o de letargo), lo cual produce un anillo en la acumulación concéntrica del xilema axial, lo que es muy típico de las regiones con cuatro estaciones en el año; sin embargo, para la región Neotropical no existe una marcada estacionalidad anual y las épocas secas o lluviosas pueden no generar anillos distintivos, o si lo hacen, estos pueden reflejar periodicidades mayores que un crecimiento anual. Debido a esto, la dendrocronología convencional no se la ha aplicado de manera general en los trópicos. Sin embargo, ciertos estudios recientes han hecho posible que pese a la dificultad de leer anillos bien delimitados, se pueda detectar una variación fisiológica que permita datar ciertas especies de árboles en los Andes tropicales. Como un ejemplo de las contribuciones disciplinarias de la dendrocronología para establecer la realidad de la fisonomía los BMTN contemporáneos y la influencia del clima, incluimos el Recuadro 20.



**Recuadro 20: Los anillos de los árboles como pistas para obtener registros climáticos históricos en el sur de Ecuador**

**Darwin PUCHA-COFREP**, Miryam Chalán, Lourdes Guamán, Silvana Patiño, Ariana Cueva, Jordy Alvarado

Laboratorio de Dendrocronología, Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Nacional de Loja, 110111 Loja-Ecuador.

[darwin.pucha\\_at\\_unl.edu.ec](mailto:darwin.pucha_at_unl.edu.ec)

Conocer el comportamiento climático y su impacto en los ecosistemas forestales es clave para una gestión forestal sostenible. Sin embargo, sus variaciones a lo largo del tiempo no se comprenden bien, y mucho menos en los ecosistemas tropicales. En el presente estudio hemos intentado desenredar estas interacciones de las últimas décadas a través de métodos dendrocronológicos. Lo hicimos con núcleos en incremento que obtuvimos de árboles de un bosque seco (*Acacia macracantha*), andino (*Juglans neotropica*) y húmedo (*Cedrela montana* y *Cordia alliodora*) en el sur de Ecuador. En el Laboratorio de Dendrocronología de la Universidad Nacional de Loja se prepararon las muestras y se midieron los anillos anuales de los árboles. Entre los ecosistemas forestales se encontraron diferencias notables en la variación anual del crecimiento de los árboles. Las variaciones más claras y comunes entre los árboles se encontraron en el ecosistema del bosque seco, seguidas por los árboles de los bosques andino y húmedo, respectivamente. En estos resultados preliminares, encontramos la precipitación como el principal impulsor del crecimiento anual de árboles en el bosque seco. Sin embargo, en los bosques andino y húmedo, donde el agua no es escasa, los árboles mostraron variaciones en su crecimiento anual similares a las del bosque seco. Esto indica que los árboles tropicales son muy sensibles a las variaciones climáticas, y los registros de anillos de árboles podrían ser una buena alternativa para reconstruir el clima en las pasadas décadas.

Por estas razones de índole práctico, la montología andina requiere de un enfoque transdisciplinario que permita fusionar la información procedente de estudios multidisciplinarios para generar una visión holística del paisaje tropandino, incluyendo los cambios observados en el desplazamiento altitudinal de los rangos de distribución del BTMN y su riesgo de extinción debido al cambio climático (Larsen *et al.* 2017). En muchos casos, la necesidad de investigación interdisciplinaria favorece un mejor diagnóstico de las evidencias presentadas, como se lo ha hecho en la zona de la ceja de selva peruana (Sarmiento *et al.* 2020). Aquí, la información proviene de estudios de arqueología tradicional y de arqueología de paisaje que se han integrado con la información de estudios palinológicos del fondo de las lagunas de la región (en particular Pomacocha y la Laguna de los Cóndores) que ofrece un retrato certero de las variaciones climáticas y de la vegetación durante los últimos dos mil años, y de reconocimientos ecológicos actuales de la fisiografía y la geoecología de la región dada por estudios de geografía humana contemporánea. Así se obtiene una mejor visión de



las causas y consecuencias de pasadas prácticas de uso de la tierra, en lo que a la postre ha determinado la formación del ecosistema montano de la “ceja de selva” de la actualidad.

Es importante recalcar la importancia del apoyo informático sobre los datos botánicos y genéticos para obtener una mejor aproximación a la descripción del paisaje montano Neotropical. Con la posibilidad de **parametrizar** los modelos que pueden producirse usando varios programas de computadora (como por ejemplo el CARAIB para detectar la acumulación de carbono en la biosfera) se puede encontrar resultados interesantes sobre la vegetación pasada que permitan proyectar escenarios alternativos de la vegetación en un futuro potencial (Pinaya *et al.* 2019). Así se perfilan varias opciones de manejo que responden a la presencia/ausencia de determinados factores que pueden graficarse fácilmente en la pantalla del ordenador, para lo cual varios de los programas de geovisualización existentes en las aplicaciones de análisis geoespacial (como en varias aplicaciones de Q-GIS o de ArcGIS, y las integraciones del paquete *R* de estadística para visualizaciones espaciales) lo hace rápidamente. A continuación, incluimos el Recuadro 21 como un ejemplo para la determinación de microrrefugios en las montañas brasileñas debido a la dinámica encontrada en las migraciones de especies forestales representativas (e.g., *Podocarpus* y *Araucaria*) de la sierra de Itatiaia en Brasil.

**Recuadro 21: Pasado y futuro de los bosques de las tierras altas de Brasil: Comprender los microrrefugios de la montaña y su relación con el cambio climático**

**Paulo E. De OLIVEIRA**<sup>1,2</sup>, Jorge L. D. PINAYA<sup>3</sup>, Gregório C. T. CECCANTINI<sup>4</sup>, Maria del Carmen S. LOPEZ<sup>5</sup>, Augusto J. PEREIRA FILHO<sup>5</sup>, Pedro L.P. CORRÊA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Geociencias, Universidad de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. <sup>2</sup>Acción y Ciencia, Museo Field de Historia Natural, Chicago, Illinois, USA. <sup>3</sup>Escuela Politécnica, Universidad de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. <sup>4</sup>Instituto de Biociencias, Universidad de São Paulo. São Paulo, SP, Brasil. <sup>5</sup>Instituto de Astronomía, Geofísica y Ciencias Atmosféricas, Universidad de São Paulo, SP, Brasil.

[paulo.deoliveira\\_at\\_usp.br](mailto:paulo.deoliveira_at_usp.br)

**Introducción:** El origen de las distribuciones modernas de plantas en las altas altitudes del sur y sureste de Brasil, en áreas con fuertes afinidades florísticas por bosques distantes en las cumbres de montañas aisladas en la región noreste y el norte del Amazonas, permanece desconocido. Para abordar este problema, hicimos un mapa de la aparición de taxones arbóreos y arbustivos de madera como *Araucaria*, *Podocarpus*, *Drimys*, *Hedyosmum*, *Ilex*, *Myrsine*, *Symplocos*, *Weinmannia*, Myrtaceae, Ericaceae y Arecaceae en 31 registros palinológicos que abarcan el Último Máximo Glacial e incluyen un rango latitudinal de 30°S a 0°S. Luego, ubicamos en el mapa



la distribución existente con varios datos geolocalizados de herbarios y validamos con modelos de distribución de especies basados en nichos (MaxEnt) para cada taxón. Los datos revelaron dos patrones de distribución de microrrefugios montañosos en la selva tropical a lo largo de dos transectos que se extienden desde el sur /sureste hasta el noreste de Brasil y hacia la cuenca del Amazonas, bajo un escenario paleoclimático de lluvias abundantes y temperaturas de superficie continental reducidas. Ahora estamos en la etapa de obtener datos ecológicos, fisiológicos y anatómicos para *Podocarpus lambertii* a 1500-1800 m elev. en la cordillera de Itatiaia para obtener información sobre el modelo de vegetación dinámica CARAIB (asimilación de carbono en la biosfera) para predecir cambios futuros en el rango altitudinal de los bosques montañosos en Brasil bajo diferentes escenarios de calentamiento global.

**Conclusiones:** Este enfoque es especialmente relevante al tener en cuenta que Brasil no posee muchas montañas de gran altitud, y el empujar climas más fríos a lugares demasiado elevados, podría causar la falta de nichos en algunas altitudes o restringir la supervivencia en la mayoría de las áreas del sur. Algunas preguntas relevantes son: (i) ¿Llegarán las especies a estos nichos del sur lo suficientemente rápido? (ii) ¿Podrán llegar a estos lugares por sus propios mecanismos de dispersión o se extinguirán localmente? Estas preguntas y otras exigen una investigación más intensiva y urgente.

**Agradecimientos:** La presente investigación ha recibido el patrocinio de la Fundación de Investigación del Estado de São Paulo (FAPESP), Proc.2015/50683-2.

Al darnos cuenta de las distintas posibilidades de manifestación de la vegetación en el presente, debemos insistir sobre la necesidad de planificar las medidas de conservación que se puedan aplicar a nivel de cuenca hidrográfica. En muchas fuentes se constata la necesidad de incluir un enfoque integral de manejo de cuencas para asegurar el mantenimiento de los microrrefugios de la vegetación pasada que se mantienen en la actualidad (Minga *et al.* 2019). La cobertura de los sistemas nacionales de conservación de áreas protegidas de los países andinos ha basado su existencia sobre consideraciones exclusivas de biodiversidad y especialmente sobre la vegetación actual de BTMN. En estos sistemas, la nueva teoría de la montología recién comienza a ser aplicada al integrar reservas que tienen que ver con la gente y sus construcciones pasadas, como por ejemplo en las reservas indígenas, reservas privadas, los santuarios nacionales y los sitios sagrados. Así se perfila ya una mejor incorporación de la nueva investigación sobre la dinámica de los BTMN que los clasifica como “paisajes manufacturados” en los cuales es importante resaltar la acción híbrida de la naturaleza y de la cultura, así como el impacto humano en el paisaje tropandino de selvas nubladas (Sarmiento 1994) y de páramos (Buytaert *et al.* 2006; Sarmiento 2012). Así, el nuevo concepto de patrimonio biocultural se hace cada vez más popular y obtiene apoyo en los gobiernos locales y en las instituciones encargadas del manejo de las cuencas hidrográ-



ficas, las cuales incorporan los servicios ecosistémicos culturales y no solo los servicios ecosistémicos de provisión del recurso agua y captura de carbono. Como un ejemplo del manejo de una cuenca hidrográfica considerada como un microrrefugio de conservación incluimos el Recuadro 22.

***Recuadro 22: Partes comprometidas con la conservación del río Machángara: un exitoso estudio de caso de veinte años en la ciudad de Cuenca***

***Antonio BORRERO-VEGA***

Electro Generadora del Austro ELECAUSTRO S.A., Universidad de Cuenca, Ecuador.  
*antonio.borrero\_at\_elecaustro.gob.ec*

**Introducción:** La cuenca hidrográfica del río Machángara, ubicada en el noroeste de la ciudad de Cuenca, Ecuador, insertada en el Macizo del Cajas, es un aporte esencial para la vida y el equilibrio ecológico de la ciudad y sus alrededores. Además, integra un área de enorme biodiversidad. Una exitosa experiencia de compromiso de ocho entidades públicas y privadas ha llevado durante más de 20 años a constituir un modelo de gestión que se estudia en el proyecto AICCA de adaptación a los impactos del cambio climático en los Andes ecuatorianos.

**Conclusión:** La participación de las partes interesadas relacionadas con el tratamiento del agua potable, el riego, la conservación del medio ambiente, la regulación sobre el uso del agua, la reserva de agua, la producción agrícola y ganadera, la generación hidroeléctrica, la investigación científica y la educación, ha llevado a la creación de un Comité de Conservación de la cuenca del río Machángara, que supervisa todos los aspectos mencionados y ha establecido un Plan Integral de Gestión Ambiental que se ejecuta con el compromiso de todos.

La imagen que tenemos de los BTMN en la región de los Andes tropicales se perfila ahora con mejor claridad, especialmente en el Antropoceno, en que hay una extensa lista de especies de la nuboselva que deben ser consideradas en peligro de extinción, y por lo tanto integran el “libro rojo” de los árboles tropandinos (Tejedor *et al.* 2014). Es precisamente como reflejo de un arduo trabajo de catalogación de flómulas individuales y de inventarios generales de las regiones de montaña que se ha permitido desarrollar inventarios puntuales y monitoreo de las condiciones de la flora de la región andina. Muchas veces, por la dificultad de identificación en el campo y dado la posibilidad de desarrollar modelos de simulación computarizada en función de las características funcionales de ciertos grupos, el estudio de la biogeografía de montaña no solamente incluye la identificación de clados para estudios cladísticos, o de lista de especies para estudios florísticos, sino también permite desarrollar hipótesis asociadas a la presencia de grupos funcionales a nivel de ecosistema para estudios funcionales y de impacto humano (Ledo *et al.* 2009).



Esta es la razón por la cual los BTMN ya no solamente son vistos como la frontera boscosa de los flancos cordilleranos inaccesibles e inhóspitos, sino como lo que han sido, una ecorregión de valiosa función de “esponja de lluvia” en su propio valor y no como una simple extensión transicional del ecotono de los flancos andino-pacífico o andino-amazónico; ahora son vistos como microrrefugios de patrimonio biocultural que debemos comprender y proteger para el futuro.

Esta página se ha dejado en blanco a propósito.



# 6

*“Me voy al monte pa' curar mis penas,  
a ver si encuentro la sonrisa que perdí;  
me voy al monte pa' llenar mis venas  
de la sabia pura que allí conocí...*

*Me voy al río para ahogar mi llanto  
y en la cigüeña recordar mi canto,  
que un día en el asfalto  
se extravió y perdió su encanto...*

*Ya siento el musgo que refresca a cada paso  
y en los guaduales oigo el viento susurrar,  
vengo al verde de la selva con su abrazo  
que en mi ausencia había olvidado respirar...*

*Me voy al monte pa' curar mis penas...”*

*Katie James*



Vista panorámica de la cuenca de *Imbakucha* con el volcán *Imbabura* al fondo y la laguna de San Pablo (hoy *Imbakucha*) en donde se aprecia el impacto humano en la manufactura del paisaje andino, con flora, fauna y arquitectura introducidas en el paisaje montano ancestral de la nación *Utawallu* y su transición hacia la domesticación de las orillas, del lago en sí mismo y de las laderas ribereñas circundantes. *Crédito fotográfico*: César Cotacachi, Ethnostek ([www.cesarcotacachi.wixsite.com](http://www.cesarcotacachi.wixsite.com)).





## Manufactura del paisaje montano tropical

La antigua visión de las montañas como sitios inhóspitos cuyas selvas eran siempre escabrosas y amedrentadoras ha cambiado, gracias a los esfuerzos hechos por educadores que han perfilado la necesidad de los jóvenes para aprender con conciencia crítica sobre la verdadera esencia del paisaje montano. La exitosa campaña de la FAO a través de su programa colaborativo de montañas (*Mountain Partnership*) de erradicar la imagen de la asustada caperucita roja que cae presa del lobo feroz para explicar mejor lo bello, lo tierno, lo útil y lo espiritual que se observa en los bosques, es un buen ejemplo (Romeo 2019). Curiosamente, quienes guardan el saber ancestral sobre estas antiguas prácticas de manejo del paisaje montano son los adultos mayores, quienes viven ahora reclusos en la soledad de sus chozas, mientras el resto de la familia ha emigrado a las ciudades en los valles o en las lejanías del extranjero. En las provincias de Azuay y Cañar, al sur del Ecuador, el caso es impresionante debido no solamente a la defaunación de los ecosistemas montanos y la deforestación generalizada de sus laderas, sino también al éxodo registrado de la juventud hacia las ciudades de sus provincias, hacia Quito la capital nacional o al puerto de Guayaquil, y hacia España y Estados Unidos de América (Donoso y Sarmiento 2019). Igual proceso de emigración del campo a la ciudad se constata también en los Andes peruanos, como por ejemplo muchos jóvenes de Huancayo o de Chachapoyas que han decidido marcharse hacia Cajamarca, Trujillo o Lima (Haller 2017). Eso ejemplifica la necesidad de comprender mejor los paisajes montanos de los Andes tropicales y trabajar con la educación de las nuevas generaciones para que ya no vean al bosque con miedo, sino que lo observen con respeto y gratitud (Sarmiento *et al.* 2021). Que ya no los vean como ejemplos de bosques vírgenes, sino como una manifestación reciente de un cambio ancestral afectado a lo largo del tiempo.

En muchas zonas altoandinas este impacto es todavía visible al constatar el hecho de la utilización del fuego como práctica de manejo efectiva para promover la “paramización” de los bosques andinos (Keating 2007), lo que se ha venido implementando desde hace varios miles de años (White 2013). Y es que las quemas sucesivas han erradicado los árboles y han permitido el establecimiento de herbazales en páramos productivos para la ganadería de vacunos, ovinos, caprinos, equinos y de otra índole, resultado de la “mediterrización” del paisaje por el sincretismo obtenido al usar las prácticas indígenas autóctonas con aquellas importadas de ultramar por los colonizado-



res españoles (Sarmiento 2002b). Es precisamente esta **hibridación cultural** la que ha permitido también una fusión entre la naturaleza y la cultura de las zonas altas. Estos bosques fusionados muestran cómo el reemplazo de especies nativas por especies introducidas ha generado una transformación del paisaje rural y no solamente un cambio en la cobertura vegetal. Sarmiento (1987) demostró en un viaje imaginario desde la selva, a través de las montañas hacia la costa pacífica y las islas galápagos, que la mayoría de los ecosistemas ecuatorianos son en realidad vestigios de antiguas perturbaciones con disturbios intermitentes que se mantienen hasta la actualidad como legado ecológico, generando lo que se podría considerar un *pseudoclimax*, o un paraclimax de sucesión arrestada en los BTMN (Sarmiento 1997c). En su descripción ecológica, los ecosistemas tropandinos son presentados como una antología de ciencia y poesía, lo que lleva a afirmar que los ecosistemas montanos son en realidad un palimpsesto, escrito y reescrito con varias versiones e inspiraciones, a través de varias ediciones con correcciones, eliminaciones y aumentos en la realidad fisionómica y fisiográfica del presente. Por eso, llevamos a afirmar la noción de que las montañas tropandinas son **paisajes manufacturados**.

Es importante recalcar que la actividad humana muchas veces se ha llevado a cabo sin planificación específica, como si la afectación del paisaje se efectuara de manera estocástica, sin una dirección definida en la trayectoria de sucesión ecológica. El proceso lento y tedioso de “manufactura” del paisaje lleva una acomodación conjunta tanto de la naturaleza cuanto de la cultura para avanzar en la dirección del cambio o hibridación que no ha podido anticiparse. Por ejemplo, cuando en la era republicana se daban evidencias extremas del deterioro del paisaje y la erosión en los Andes tropicales, se llegó a la conclusión de introducir una especie exótica (*Eucalyptus globulus*) para detener los problemas de erosibilidad en laderas, y se importó desde Australia la “planta milagrosa” del eucalipto globoso, considerado en ese entonces como la panacea para la conservación del suelo y la producción de leña y madera de construcción. Lentamente, pero de manera constante, el paisaje andino se adaptó a la nueva realidad y se fomentaron grandes extensiones de plantaciones forestales monoespecíficas de eucalipto, llegando a naturalizarse en las montañas tropandinas. Son tan obvias estas plantaciones a través de los altos centroamericanos y de todos los países andinos, que dichas creaciones artificiales son llamadas vulgarmente “bosques” sin serlos.

Ahora se conoce mejor las repercusiones de dicha invasión y naturalización, cuyos efectos se han comprobado en detrimento del suelo; por ser una planta freatófita,



las raíces penetran hasta las capas freáticas y succionan todo el contenido de humedad del suelo, convirtiéndolos en “bombas de agua subterránea” que a la larga produce suelos arenosos y, al final, eriales donde no crece nada sino solamente esta planta. En muchas regiones, la política nacional ha cambiado. Por ejemplo, en Sudáfrica, ahora se llevan a cabo operaciones de corte, incineración y aplicación de herbicida al tocón para evitar rebrotes y a las raíces para limitar regeneración. Literalmente hay una “guerra” contra estos invasores indeseados. Sin embargo, en muchos países andinos, el eucalipto todavía es ofrecido como la alternativa lógica, minusvalorando el efecto nocivo en el paisaje en favor de la posibilidad de tener leña y vigas de construcción en pocos años. En varios círculos conservacionistas, a las plantaciones de eucalipto se las consideran “desiertos verdes” y en vez de considerarlos árboles se les considera “malezas” invasoras. Ellos reclaman la volatilidad e ignición del eucalipto en la proliferación de incendios forestales; la falta de fauna adaptada al consumo de las hojas del árbol o de algún otro uso animal; la producción de cairaomonas que fomentan antibiosis de otras plantas que no pueden germinar en presencia del árbol, y que no es tan bueno como los pajonales para capturar el carbono atmosférico, argumentando la necesidad de encontrar especies nativas con las cuales reforestar todos los territorios montanos en los que hoy se encuentra.

Si el eucalipto es considerado una equivocación en la secuencia de tan solo un siglo aproximadamente, imaginemos por un momento el efecto de la introducción de otras especies de árboles, como por ejemplo el molle (*Schinus molle*) hacia las zonas áridas de los países del norte, tan es así que en México recibe el nombre de “árbol del Perú”; la presencia del sigse (*Cortadeira selloana*) o roseta patagónica conocida como la hierba de las pampas, en las montañas ecuatoriales; la posibilidad del cultivo de humedales con totoras (*Schoenoplectus californicus*) en las lagunas andinas; la presencia del tocte mexicano (*Juglans nigra*) en los valles interandinos y de cacao amazónico (*Theobroma cacao*) en las montañas centroamericanas; el uso extensivo de palmas de coco chileno (*Parajubea cocoides*) en las montañas tropicales en las que se encuentran solamente cultivadas, sin ejemplares silvestres; el yagual o quina (*Polylepis incana*) que se encuentra a lo largo de caminos de montaña o en valles colgantes de evidente ocupación pasada; la palma de chonta o pejevalle (*Bactris gasipaes*) de las estribaciones amazónicas que se la conoce solamente en cultivo sin ejemplares silvestres, y que ahora también es muy apetecida como fuente alimenticia por sus frutos chontaduro.



Al igual que las plantas, muchos animales son indicativos del legado ecológico y la modificación ancestral del paisaje andino, particularmente en el límite del borde entre el bosque andino y el herbazal del páramo. Quizás los más icónicos son los osos de anteojos (*Tremarctos ornatus*), venados de cola blanca (*Odocoileus virginianus*), pumas o león americano (*Felis concolor*), dantas de altura (*Tapirus pinchaque*), ligles o tero serrano (*Vanellus resplendens*), conejos (*Sylvilagus brasiliensis*) y más fauna selvática que se ha naturalizado en la actualidad en el pastizal y pajonal de páramo.

No solamente las montañas altas en los Andes se caracterizan por ser paisajes manufacturados. Cada vez hay más investigación sobre las evidencias de ocupación humana en zonas de la vertiente andina, tanto amazónica como pacífica, incluso con evidencias de construcciones monumentales en una topografía desafiante que hoy se encuentra cubierta con el dosel del bosque, el enterramiento superficial y la red de interminable de hifas, raicillas y otros elementos del ecosistema edáfico de los BTMN. La fortaleza de *Kuelap* en Chachapoyas es un buen ejemplo de la grandiosa monumentalidad de la ceja de selva que es muy poco conocida por el público en general. Más al sur, en El Gran Pajatén, o en Choquequirao se puede idealizar lo que el arqueólogo norteamericano que “descubrió” las ruinas de *Machu Picchu* pudo haber sentido al saber que debajo de esa cobertura cerrada del bosque de montaña se encontraría el monumento más grandioso de la antigüedad, considerado ahora por el gobierno peruano no como “ruinas” sino como “santuario nacional”, y enlistado como una de las nuevas “maravillas del mundo moderno”. De la misma manera hacia el norte, el descubrimiento de paredes ciclópeas en el parque nacional Llanganatis, o las evidencias del asentamiento de los *Quixos*, en las cabeceras del río Napo, Ecuador, y la incomparable “ciudad perdida” de los *Tayrona* o *Kogui* en Colombia, dan cuenta de la proliferación de casos de uso cultural del flanco andino; confirman además que los contrafuertes cordilleranos eran en el pasado un paisaje cultural de gran influencia regional (Pearce *et al.* 2020).

La evidencia del paisaje manufacturado se encuentra tan lejos como en el borde pacífico, en donde las montañas costeras y otras elevaciones costaneras evidencian la hibridación de natura-cultura en los paisajes tropandinos, como lo encontrado en el valle de *Supe*, el asentamiento urbano más antiguo del continente, en el complejo urbano piramidal de *Caral*, localizado en la vertiente occidental del norte peruano. Como un ejemplo de facilitación de la avifauna costera en las colinas cercanas al puerto de Guayaquil, incluimos el Recuadro 23.



## **Recuadro 23: Diversidad de la avifauna urbana en los bosques de las colinas de Guayaquil**

**Nancy HILGERT de BENAVIDES, Virgilio BENAVIDES, George D. VARELA**  
BENHIL C. LTDA.  
*nancyperegrinus\_at\_gmail.com*

**Introducción:** En la ciudad de Guayaquil, fundada en los manglares de la ecorregión del bosque seco Tumbesino en peligro de extinción, en el sur de Ecuador, existen aproximadamente 300 especies de aves, incluidas 115 especies adaptadas para vivir y anidar en entornos urbanos rodeados de plantas, metal y estructuras de concreto. También se alimentan de manjares un poco contaminados y resisten el ruido extremo. Aprovechan cualquier espacio y lo reclaman como su territorio, lo que dificulta su desplazamiento si el hábitat ofrecido es ligeramente satisfactorio para su subsistencia, o si existen nuevos hábitats para ciertas aves que recientemente podrían considerarse urbanistas y para otras que simplemente están emigrando. La diversidad de la avifauna también se debe a la existencia de áreas verdes, estuarios, riberas, manglares, jardines, macizos de flores, avenidas arboladas, parques lineales y, en general, todo tipo de plantas en el paisaje urbano, proporcionando una variedad de ecosistemas vestida con una naturaleza que poco a poco se está estabilizando ecológicamente.

**Avifauna y áreas protegida:** Esto ofrece a la gran diversidad aviar del sector urbano nuevos hábitats para vivir. Además, la ciudad está rodeada de diversos ecosistemas y está enmarcada por Áreas Importantes para la Conservación de Aves (IBA, por sus siglas en inglés) que incluye áreas protegidas estatales y privadas, y áreas no protegidas. En su mayoría, las colinas de más de 100 msnm están protegidas por el Municipio de Guayaquil y obtienen la categoría de Vegetación y Bosques Protectores (BVP) del Ministerio de Medio Ambiente, y son las siguientes: BVP Bosqueira (100 sp); BVP Paraíso (150 sp); BVP Palo Santo (50 sp); BVP Cerro Blanco (230 sp); BVP Prosperina (160 sp), y con muchas áreas nacionales protegidas como el Área de Recreación Nacional Isla Santay (128 sp); Área Nacional de Recreación Samanes (130 sp); Área de Recreación Nacional Parque Lago (160 sp); Reserva de Producción de Fauna de Manglares El Salado (120 sp); las marismas y manglares de Guayaquil (150 sp); Reserva Ecológica de Manglares Churute, con muchas de estas colinas que alcanzan de 300 a 700 msnm. Entonces, la importancia de mantener sus bosques es vital para la diversidad de la avifauna urbana y la vida silvestre de Guayaquil.

**Conclusión:** Podemos encontrar que los bosques secos tropicales que se conservan en las colinas que rodean Guayaquil proporcionan el 76% de las especies de aves que se encuentran en las áreas urbanas de la ciudad. Uno importante es el loro lorquino rojo (*Amazona lilacina*), un loro en peligro de extinción y endémico que sobrevuela en vuelo migratorio desde los manglares a los bosques secos a diario. También podemos encontrar especies de aves endémicas y cuasi endémicas (46) como el periquito del Pacífico, el oriole de cola amarilla, tres especies de tangaras, la paloma ecuatoriana, el periquito de mejillas grises, el piculeto ecuatoriano, el carpintero respaldado por escarlata, el ermitaño del barón, el trogón ecuatoriano, la eufonia de corona naranja, el chirlobirlo peruano y muchos otros.



En esas colinas también aparecen nueve especies de aves en peligro de extinción, entre ellas: el guacamayo de Guayaquil (*Ara ambiguus guayaquilensis*), la especie de ave símbolo para la ciudad, y el aguililla (*Pseudastur occidentalis*). En el entorno de los manglares es fácil observar la gran garceta, la garceta blanca, la garza azul, la garza tricolor, la espátula rosada, el ibis blanco, el martín pescador verde y el martín pescador anillado. La combinación de aves forestales y aves acuáticas es bastante inusual, por lo que la Compañía Pública Municipal de Turismo, Promoción Cívica y Relaciones Internacionales de Guayaquil está promoviendo la conservación de la biodiversidad de la ciudad a través del turismo y la educación ambiental al crear el programa "Guayaquil es su destino para disfrutar su naturaleza" y "Guayaquil es su destino para la observación de aves en el lado del manglar del estero salado y la ruta de los parques lineales".

Un desafío importante para la conservación de los flancos andinos es el diseminar la nueva narrativa de los paisajes manufacturados. En muchos ámbitos, la idea de la naturaleza pura, sin intervención humana, o sea el concepto de “vida silvestre” sigue liderando la actividad académica de científicos que pretenden separar la fauna o la flora del entorno político y ecológico del pasado y el presente. Recordemos que no hasta hace poco, la idea de ecosistemas antropogénicos recibía críticas acaloradas con respecto a mantener viva la idea de la naturaleza prístina, que debería seguir siendo la guía de planificación de conservación. Sin embargo, la evidencia paleoecológica, arqueológica y antropológica de una suerte de fusión entre las influencias nativas y las extranjeras, una suerte de amalgamamiento de las creaciones voluntarias o involuntarias de nuevos paisajes, como la *terra preta do índio* en la baja amazonía o las terrazas y andenerías en las montañas andinas, lleva a repensar al paisaje cultural como el elemento manufacturado ideal para la construcción de lo que se ha dado en llamar el patrimonio biocultural, que incluye estos ambientes híbridos (Nascimento *et al.* 2020), los ecosistemas nuevos (Hobbs *et al.* 2009), y los paisajes sincréticos (Sarmiento 2016).

Una de las tareas urgentes es popularizar el uso de los nuevos sistemas de información geográfica y las plataformas de comunicación social para poder identificar eficazmente los valores sociales y los servicios ecosistémicos culturales que permitan practicar la conservación a nivel de paisaje, considerándolos como sistemas socioecológicos que han aportado la manufactura de sistemas productivos y de regeneración tanto natural cuanto social. Al utilizar esta tecnología de punta y establecer uso de métodos de humanidades digitalizados, junto con plataformas de geovisualización y comunicación social se produce una graficación instantánea. Para un ejemplo de este reto metodológico de inclusión de valores sociales incluimos el Recuadro 24.



**Recuadro 24: Identificar valores sociales para la conservación del paisaje: un caso del Parque Nacional El Cajas**

**Inhye KONG, Fausto SARMIENTO**

Colaboratorio de Montología Neotropical, Departamento de Geografía, Universidad de Georgia, Athens, Ga. USA.

*inhye.kong\_at\_uga.edu*

**Introducción:** Anteriormente, la mayoría de los estudios de conservación del paisaje se habían centrado en especies o prácticas orientadas a la biodiversidad. Sin embargo, el paisaje ha jugado un papel importante en una sociedad para moldear y mantener valores sociales relevantes en una comunidad. Además, los no residentes que visitan el paisaje también configuran valores sociales que reproducen valores compartidos localmente o descubren nuevos valores en nuevas perspectivas, dando como resultado la formación de imágenes de destino. Sin embargo, a pesar de los importantes roles, los valores sociales se han pasado por alto en las prácticas de conservación debido principalmente a la falta de información para interpretar los significados colectivos e intangibles compartidos en el público.

**Métodos y técnicas:** En este estudio, nuestro objetivo es explorar los valores sociales en el Parque Nacional El Cajas utilizando contenidos que los usuarios han generado y compartido en plataformas en línea (*Google Reviews* y *TripAdvisor*) para proporcionar información sobre la política de conservación teniendo en cuenta los sistemas socioecológicos (SES). Seleccionamos guías locales en *Google Reviews* como representantes de personas locales y reseñistas no ecuatorianos en *TripAdvisor* como visitantes extranjeros. Los contenidos de dos grupos diferentes se compararon y contrastaron para examinar los valores sociales formados en diferentes orígenes.

**Resultados:** Como resultado, nos dimos cuenta de que tanto los individuos locales como los visitantes extranjeros mostraban un gran aprecio por la naturaleza y las características naturales con asombro estético. Sin embargo, en comparación con los visitantes extranjeros, las personas locales expresaron valores intangibles más diversos, como el orgullo nacional o los valores de relación social, que no se identificaron en los grupos de visitantes extranjeros.

**Conclusión:** Se espera que los resultados de este estudio apoyen la política de conservación, así como la gestión del destino turístico del Parque Nacional El Cajas.

**Agradecimientos:** El estudio fue posible gracias al proyecto VULPES mediante la asignación de fondos de la Fundación Nacional de Ciencias como contraparte del Foro Belmont (grant NSF ICER-1624207), a la Oficina de Compromiso Global (OGE) y la Oficina de Investigación (OVPR) de la Universidad de Georgia por un fondo semilla de cooperación investigativa.

Los paisajes manufacturados de la ecorregión tropandina han sido objeto de muchos estudios aislados, enfatizando el objeto de estudio individualizado y aislado del contexto socioecológico local, regional e internacional, a manera de “caso de estudio”



sin posibilidad de generalización o replicación. Un ejemplo claro de esta tendencia presente en la aplicación de la ecología de paisajes de la escuela estadounidense (*sensu* Forman y Godron 1986) es la utilización de imágenes satelitales en la preparación de un reporte técnico del cambio del uso territorial con las diferentes ocupaciones en el terreno, sean éstas rasterizadas en agricultura, forestería, urbanismo, recursos hídricos o vectorizadas de transportación o de flujo fluvial. A diferencia de la escuela europea de ecología de paisaje (*sensu* Zonneveld 1990, Naveh *et al.* 2002) en donde la inclusión de la **dimensión hemerobiótica** es inherente a la aplicación de la tecnología geoespacial aplicada a la planificación ambiental y al manejo del territorio. La pregunta sobre la dinámica espacial del terreno, entendida como la interrelación entre la *historicidad* y la *espacialidad* que ha afectado ese lugar, no incluyó la idea del paisaje manufacturado. Pese a que la terminología de paisaje humanizado, paisaje antropogénico y paisaje cultural ya estaba disponible, los planificadores de conservación y desarrollo siempre utilizaron el concepto de naturaleza prístina para establecer la meta máxima de conservación. Hoy se incluye el concepto de *sistemas adaptativos complejos* y de *sistemas socioecológicos productivos* para enfatizar la dinámica híbrida de los paisajes manufacturados. Como ejemplo del nuevo entendimiento de la fusión de natura y cultura en los BTMN incluimos el Recuadro 25 en donde se enmarca la importancia de los paisajes manufacturados para el mejor entendimiento de la presencia de microrrefugios de diversidad biocultural, la migración de especies a lo largo de la vertiente o ladera del flanco cordillerano y la conservación.

#### **Recuadro 25: Microrrefugios, migración y conservación**

**Mark BUSH**<sup>1</sup>, Bryan VALENCLA<sup>2</sup>, Courtney SHADIK<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute for Global Ecology, Department of Biological Sciences, Florida Institute of Technology.

<sup>2</sup>Department of Geosciences, KIAM National University of the Amazon, Ecuador.

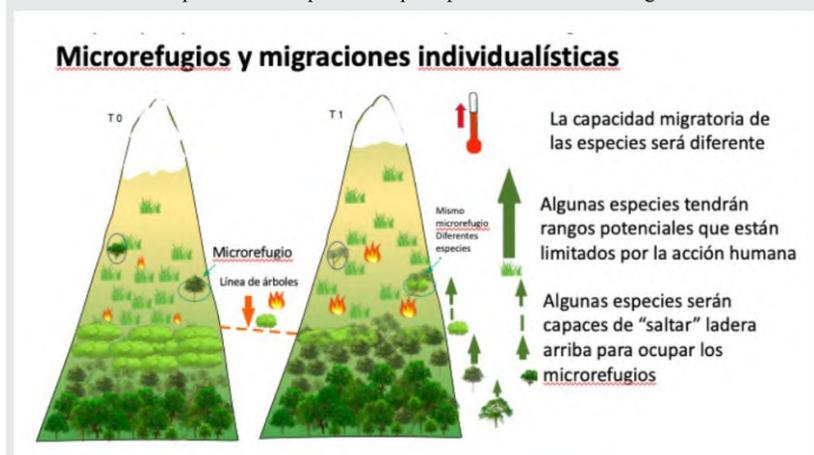
*mbush\_at\_fit.edu*

**Introducción:** Los microrrefugios son entornos locales a pequeña escala que permiten que las poblaciones persistan a través de condiciones climáticas adversas, mientras que otros miembros de la población desaparecen. Los microrrefugios se pueden ver como poblaciones o como configuraciones. Argumentamos que el valor futuro para la conservación de los microrrefugios es principalmente como configuración. Es la diferencia de un parámetro ambiental clave de la estadística general de la matriz circundante que persistirá, incluso cuando las especies individuales cambian. Un valle fresco puede calentarse, pero continuará fresco con relación a la región circundante.

En el pasado, los microrrefugios permitían a los sobrevivientes de la adversidad climática reactivar



las expansiones subsiguientes de la población, desde un rango de ubicaciones geográficas lejos de la población principal. Estos puntos de partida locales, reducen las distancias de migración y permiten que las especies se mantengan cerca del equilibrio con el cambio climático. La evidencia de la existencia de microrrefugios se basa en parte en la observación moderna y en parte en una inferencia que proporciona una explicación lógica de las tasas de migración improbables. Los árboles generalmente migran en ca. 0.1 - 1 km por año. La aparente expansión y contracción de las poblaciones en entornos tanto templados como tropicales bajo el cambio climático pasado requiere tasas 10-100 x más rápidas a menos que se invoque la presencia de microrrefugios.

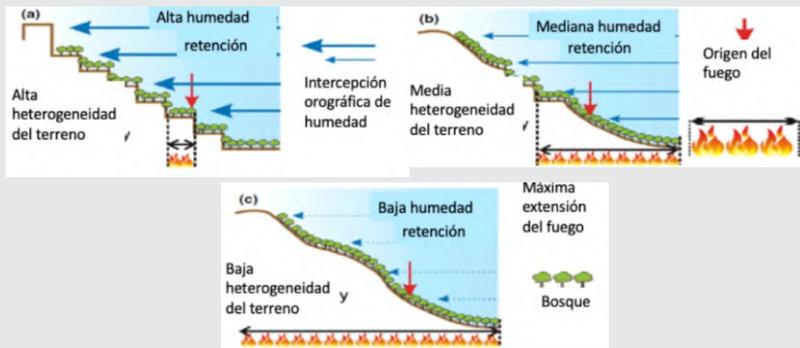


**Figura 1.** El calentamiento conduce a migraciones ascendentes, pero también aumenta la probabilidad de incendio. Las personas mantienen la línea de árboles a través de la quema, por lo que el bosque andino superior es comprimido desde abajo por el cambio climático y desde arriba por el uso humano de la tierra. Los microrrefugios persistirán, pero las especies que poseen se darán vuelta.

**Metodos y técnicas:** Identificar los microrrefugios individuales es un desafío, pero en algunas localidades de Perú y Ecuador pudimos rastrear la persistencia de las especies de yagual o quina (*Polylepis*) en todo el Holoceno, asignamos estas ubicaciones como microrrefugios. Otros ajustes vieron a *Polylepis* desaparecer durante la mitad del Holoceno. Sugerimos que la topografía local empinada fue fundamental para la supervivencia de *Polylepis*, ya que actuó como un cortafuegos, por lo que durante las principales sequías del Holoceno Medio se quemaron los paisajes más planos y perdieron sus bosques de *Polylepis*; sin embargo, los sitios más empinados conservaron sus poblaciones. También demostramos que el clima dentro de un microrrefugio no es constante, por lo que es improbable que un solo entorno sea adecuado para todas las especies que están presentes en el inicio. En otras palabras, los microrrefugios no protegerán a todas las especies de la extinción local. En algunos entornos, los microrrefugios son productos de la actividad humana, es decir, islas libres de fuego, pero es probable que las especies que contienen estén conformadas por el uso de la tierra de la matriz circundante.



**Resultados:** Los microrrefugios deben verse en el contexto de paisajes en constante cambio en los que las especies se enfrentan a filtros de condiciones marginalmente aceptables tanto en el espacio como en el tiempo. Los microrrefugios sirven como escalones para algunas especies y como centros de población para otras. Cuanto más prolongado sea el aislamiento de una población en un microrrefugio, menor será su probabilidad de supervivencia. Las teorías biogeográficas y de metapoblación de las islas son directamente aplicables a la forma en que vemos la posible supervivencia de las especies individuales o la diversidad dentro de los microrrefugios.



**Figura 2.** La topografía como factor en la configuración de la ubicación de los microrrefugios altoandinos. Las pendientes empinadas atrapan las nubes y están mojadas. La base de la pendiente es a menudo un pedregal que, combinado con la humedad, crea un incendio. Por lo tanto, las pendientes pronunciadas predicen ubicaciones microrrefugiales (Valencia et al. 2016, New Phytologist).

**Conclusión:** Durante la última era glacial, el cambio climático rápido y frecuente, de calor a frío y de húmedo a seco, llevó a las poblaciones a reconectarse y limitó la duración del aislamiento microrrefugial. El largo y constante calentamiento del Holoceno Medio ya ha llevado al aislamiento microrrefugial a nuevos límites. Con el calentamiento continuo, no podemos prever condiciones más frías que permitan que los microrrefugios andinos vuelvan a conectarse. Cuando se combinan con los sistemas humanos de fragmentación del uso de la tierra y el calentamiento proyectado, anticipamos que muchas, si no todas, las especies que se producen en los microrrefugios modernos, húmedos y frescos se extinguirán localmente. Pero debido a que el microrrefugio ofrece condiciones menos extremas que el ambiente circundante, se convertirá en un refugio para la próxima ola de especies que necesitan condiciones más frías y húmedas que la configuración de la matriz. Por lo tanto, la conservación de los microrrefugios es esencial para mantener la diversidad de las montañas, pero debemos pensar que promueven la diversidad esencial del hábitat, en lugar de proteger una especie dada.

**Agradecimiento:** Nuestro agradecimiento a las personas y los gobiernos de Perú y Ecuador que nos han permitido estudiar sus sistemas. Reconocemos con gratitud la financiación del Foro de Belmont a través del NSF ICER-1624207 por financiar esta investigación.



La aplicación de metodologías que transgreden los límites de las disciplinas y forman una visión holística, integradora y dinámica ha sido incluida dentro del enfoque montológico que la transdisciplinariedad impone (Sarmiento 2020). Se espera que el lector asuma esta desmitificación del paradigma de lo “prístino” e integre la nueva narrativa geocrítica del paisaje manufacturado como una representación real de las combinaciones posibles que se encuentran en la hibridización impulsada en el Holoceno en las montañas neotropicales, lo que ha permitido la presencia en el Antropoceno de la fisiografía fusionada de natura y cultura.

En la nueva visión de paisajes manufacturados andinos, la idea de la influencia antrópica negativa, generando impactos que han degradado la naturaleza original, ha dado paso a una nueva visión integradora de interacciones tanto positivas cuanto negativas en la generación o “construcción” del paisaje andino actual como un **legado ecológico**. Las imágenes de deterioro ambiental han sido corregidas hacia una nueva imaginaria postmoderna que permite ver en los bosques de montaña del flanco andino amazónico, por ejemplo, la evidencia arqueológica subyacente que explica la esencia *biocultural* del patrimonio tropandino.

Es prioritario que los jóvenes de la región y los turistas que acuden a presenciar la abundante riqueza de manifestaciones culturales y el imponente marco biodiverso del paisaje andino se informen adecuadamente de esta nueva fuente geocrítica aportada por la montología para la sustentabilidad y la regenerabilidad de los flancos andinos (Sarmiento *et al.* 2020).



*“Azules se miran los cerros en la lejanía,  
paisajes de ardientes llanuras  
con sus arrozales de verde color...”*

*En noches de verano brillan los luceros con gran esplendor;  
la brisa que viene del río me dice hasta luego, yo le digo adiós...*

*Al sur del cerro del Pacandé, entre chaparrales y alegres samanes,  
reina la alegría que adorna el paisaje...*

*Al sur del cerro del Pacandé está la tierra bonita,  
la tierra del Huila, que me vió nacer...*

*A mí me arrullaron los sones de tambores,  
y aspiré en el aire las flores de Mayo...  
Yo aprendí en el ritmo de los sanjuaneros  
¡toda la alegría del pueblo que quiero!”*

*Jorge Villamil*



Detalle de una cuenca hidrográfica madura hacia la laguna de *Puruwanta* en la divisoria continental al norte del nevado Cayambe (hoy *Kayampi*) en dirección hacia *Shanshipamba* en el flanco amazónico, y *Pimampiru* y *Turucuchu* en el flanco interandino. No se percibe la evidencia del impacto humano de tala y quema para su transformación en herbazales de altura en el páramo, pero sí se perfila la huella del sendero de montaña o *kulunku*. Crédito fotográfico: Andrés Stadlin Gómez.





## Conservación de biodiversidad y manejo de recursos

En el marco de la conservación de biodiversidad y el manejo de recursos naturales de los BMTN y demás ecosistemas presentes en las zonas altas del flanco andino, se percibe aún la influencia del pensamiento conservacionista del siglo XX, por el cual se deslinda la presencia humana del paisaje y se preserva la riqueza de flora y fauna, generalmente nativa, del bosque andino. Esta ideología se perfila desde el afán conservacionista *de mantener “muestras” del ecosistema natural* remanente en donde se observen los procesos naturales que han dado lugar a la biodiversidad existente (Mathez-Stiefel *et al.* 2020).

En este marco, los gobiernos andinos (al igual que otros asesorados por las Naciones Unidas por medio del programa de conservación de la naturaleza de la FAO y agencias internacionales de conservación como la UICN y el WWF) han desarrollado sus Sistemas Nacionales de Áreas Protegidas con diferentes categorías y denominaciones específicas, que tratan de administrar los objetivos impuestos por las seis categorías de conservación de la UICN vinculadas a objetivos de: (I) preservación absoluta con reservas y santuarios de fauna y flora; (II) protección de la diversidad de flora y fauna en su estado natural con parques nacionales y reservas equivalentes; (III) observación y disfrute de monumentalidad que identifiquen los valores de la nación, como los monumentos naturales, áreas de recreación y geoparques; y, (IV) producción de recursos asociados a la biota nativa, como los zoológicos, jardines etnobotánicos y áreas de producción faunística (Hostettler 2002). Los paisajes protegidos (V) y las reservas urbanas (VI) son categorías que se indican luego del Recuadro 26.

Esta preferencia por el concepto de naturaleza prístina sigue en muchas partes del mundo siendo la guía teórica y de aplicaciones prácticas vinculadas a la conservación de la biodiversidad. Como ejemplo del estudio hecho para vincular las experiencias del cambio climático en las especies de montaña, como *Podocarpus* en Africa ecuatorial, incluimos el Recuadro 26.



**Recuadro 26: ¿Qué aprendemos de la última transición glacial-interglacial para comprender y predecir la respuesta de las poblaciones de *Podocarpus* de África ecuatorial occidental al cambio climático?**

**Anne-Marie LÉZINE**

Laboratorio de Oceanografía y de Clima: Experimentación y Aproximaciones Numéricas (LOCEAN), UMR CNRS 7159. Universidad Sorbona. París, Francia.

[Anne-marie.lezine@locean-ipsl.upmc.fr](mailto:Anne-marie.lezine@locean-ipsl.upmc.fr)

**Introducción:** Las poblaciones de *Podocarpus* de África ecuatorial occidental están hoy muy amenazadas debido a la intensa presión antropogénica en una de las regiones más pobladas de Camerún: las montañas de Camerún y las mesetas circundantes de Grassfield. Se ubican principalmente entre 1800 y 2800 msnm en poblaciones que rara vez exceden varias decenas de árboles, excepto en las montañas Oku, donde se produce un excepcional soporte puro de *Podocarpus*.

**Metodología:** Se han obtenido tres series de polen de sitios con diferentes topografías y rangos de elevación: Bambili 2277 m (Lezine et al., 2013; Izumi y Lezine, 2016; Lezine et al., 2018), Mbi 2041 m y Manoun 1094 m, que permiten discusión sobre la rotación de especies y la tasa de expansión de los árboles de *Podocarpus* durante la última transición deglacial-interglacial con el objetivo de evaluar la respuesta de *Podocarpus* (vulnerabilidad o resistencia) al cambio climático.

**Discusión:** Los conjuntos de polen fósil se discuten a la luz de los estudios modernos de deposición de polen recuperados a lo largo de un gradiente de elevación desde la cima de las montañas hasta los bosques de tierras bajas (Lebamba et al., 2009; Verlhac et al., 2018).

**Agradecimiento:** Esta investigación fue apoyada por la Agencia Nacional de Investigación (ANR) de Francia a través de IFORA (ANR-06-BDIV-0014), C3A (ANR-09-PEXT-001), VULPES (ANR-15-MASC-0003) y la BR/132/A1/ Proyecto AFRIFORD en Bélgica. Gracias a la base de datos africana de pólen (APD) por dar acceso a datos modernos de polen (Lebamba et al., 2009) y a las autoridades locales en Camerún (Herbario Nacional, Oficina de IRD) para instalaciones de investigación y autorizaciones.

Han sido pocos los esfuerzos por incluir en este contexto proteccionista a las zonas clasificadas como categoría mixta (V) para incorporar la agencia humana intangible en el paisaje, como los paisajes culturales, reservas paisajísticas y reservas de la biosfera, así como categorías urbanas (VI) para restaurar las zonas en donde la influencia humana es tangible y la presencia de la biota nativa es mínima, como son las reservas ciudadanas, las áreas boscosas circundantes, huertos familiares, cinturones arbolados periféricos y vías verdes, orillas plantadas para contrarrestar los efectos de inundaciones, y los parques y jardines para complementar las ofertas de ocio y ornamentación.



Estas dos últimas categorías enlistan un reducido número de sitios considerados como **paisajes culturales**. La definición es más bien operacional: la evidencia cultural del ecosistema puede darse no solamente de los bienes construidos o de la monumentalidad exhibida en ruinas y templos antiguos, sino también de ciertos bienes inmateriales que constituyen la base de la cultura local, como son los elementos intangibles del lenguaje, la tradición culinaria, la elaboración de prendas de vestir o el respeto exhibido ante una montaña, una cueva, una cascada, o un río, entre otras. Los paisajes culturales constituyen una evidencia de la espacialidad ejercida por los humanos durante largo tiempo para forjar una característica especial. Por ejemplo, en Ifugao, en las Filipinas, los arrozales en terrazas fueron incluidos por la UNESCO como el primer paisaje cultural mixto entre “paisaje cultural” y “paisaje natural”, ya que el terraceo y la continua producción de arroz en estas montañas tropicales se han mantenido por miles de años. Ha habido mucha actividad escolarizada y académica para definir y operacionalizar la categoría V de paisaje cultural, no solamente en los Andes, pero a nivel mundial (Brown *et al.* 2005).

La utilización del espacio vertical al apuntalar el talud con piedras, terrones endurecidos o con surcos de contención de drenaje han hecho que la presencia de terrazas sea uno de los atributos más importante del paisaje cultural andino. En realidad, como se lo ha demostrado ya al descubrir las “ruinas” de *Machu Picchu* hace más de un siglo, y se continúa demostrando con el descubrimiento de nuevas “ruinas” a lo largo de la media luna andina. Desde el norte, con la mítica “ciudad perdida” como centro sagrado de los *Kogi* originarios, a través del territorio de los *Quixos* en Ecuador, o los *Shachapuyu* de Río Abiseo en el Perú, hasta el sur con la “ciudad sagrada de *Quilmes*”, los centros urbanos ancestrales ya no se califican como ruinas. Ahora son “sitios sagrados” en donde la dimensión espiritual ha tomado preferencia en la consideración de conservación del área. La necesidad de implementar una nueva narrativa para establecer la mejor opción de conservación autóctona ha sido presentada en la región andina como la aplicación del trilema de Sarmiento (Sarmiento y Viteri 2015).

En estos lugares en donde se perfila el sincretismo y la hibridación de los paisajes culturales es necesario identificar la andinidad, la andinancia y la andinitud. Se trata de caracterizar las cualidades físicas, de comportamiento y de espiritualidad, y en función de dichas cualidades, de identificar la categoría de manejo más importante del paisaje cultural. Por ejemplo, basado en la condición de *andinidad*, se sugiere el establecimiento de paisajes bioculturales patrimoniales protegidos que favorecen el fenosistema o lo que se ve físicamente en el paisaje en la dimensión corporal. Con la condición de *andinancia* se sugiere el establecimiento de paisajes bioculturales patrimoniales protegidos que favorecen



el criptosistema o lo que se interpreta mentalmente del paisaje en la dimensión de comportamiento. Finalmente, con la condición de *andinitud* se sugiere el establecimiento de paisajes bioculturales patrimoniales protegidos que favorecen el holosistema o lo que se siente del paisaje en la dimensión emocional y ética (Sarmiento 2013).

Posiblemente con la inclusión de esta nueva opción de categorización biocultural patrimonial sea más fácil continuar con la inclusión del híbrido natura—cultura como objetivo final de conservación. Sin embargo, hasta el momento el énfasis ha sido orientado a encontrar el vínculo de las actividades socio-económicas y las adaptaciones al cambio climático experimentado como uno de los riesgos más peligrosos para la eficacia del manejo de conservación en función de la tradicional visión del estado ecológico del país, favoreciendo el mantenimiento de zonas de crecimiento antiguo, bosques maduros o considerados como espacios prístinos (De Bièvre *et al.* 2012).

Como ejemplo, incluimos el Recuadro 27 que puntualiza esta problemática en la zona de amortiguamiento de la reserva de la biosfera del Macizo del Cajas en Ecuador. Estudios recientes han demostrado que la presencia humana en el Holoceno ha sido el impulsor fundamental para los cambios efectuados sobre los ecosistemas de montaña y que han sido considerados como “naturales” (White 2013). Mientras no avancemos en el concepto de los paisajes manufacturados que requieren medidas de conservación proactiva, seguiremos favoreciendo la dualidad entre lo natural y lo cultural.

***Recuadro 27: Evaluación de los efectos de las actividades socioeconómicas en el cambio del uso del suelo para su posterior análisis en la construcción de Escenarios de Cambio Climático en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Cajas***

**Paula CORDERO**

CEDIA Universidad Católica de Cuenca, Universidad del Azuay y Universidad de Cuenca.  
paulac70\_at\_hotmail.com

**Introducción:** La interacción producida por el cambio del uso del suelo y el cambio climático han sido poco investigadas, en cuencas andinas existe muy poca literatura al respecto, se han tratado estos dos mecanismos por separado. Por lo tanto, el analizar los cambios demográficos y socioeconómicos en concordancia con los cambios de cobertura nos dará una visión más holística del problema. Algunos autores como Buytaert *et al.* (2006), aseveran que los efectos del cambio climático pueden disparar los extremos hidrológicos (sequías e inundaciones) especialmente en cuencas de montaña, acarreando impactos negativos con respecto a la disponibilidad de agua para las demandas futuras (Kusangaya *et al.* 2014).



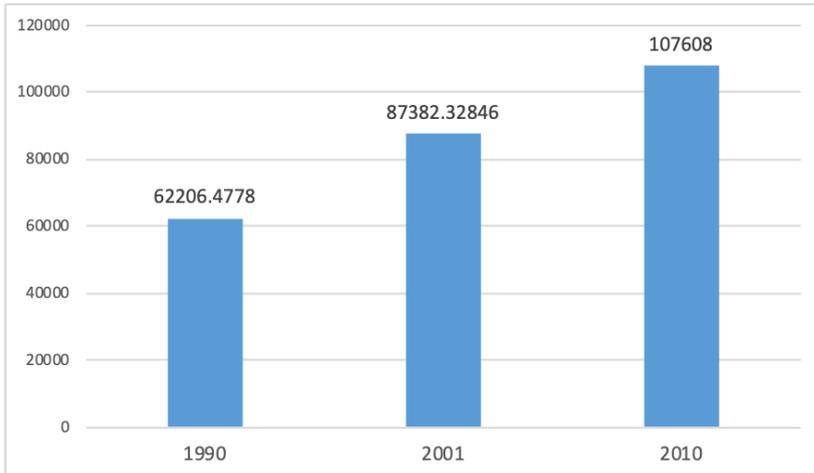
La cuenca del río Tomebamba es fundamental para la ciudad de Cuenca por la dotación del 40% del agua que se consume. Además, la parte alta de la cuenca forma parte del parque Nacional Cajas, una de las áreas protegidas en mejor estado ecológico del país.

**Metodología:** Para estos análisis se partió de la información levantada por los censos nacionales de los años 1990, 2001 y 2010 adaptándolos a la cuenca del Tomebamba, en cuanto a unidad geográfica natural y no administrativa. También se realizaron talleres para el levantamiento de la información cualitativa y de percepciones con los pobladores. A más de ello se ha trabajado con imágenes satelitales para analizar el cambio de cobertura en esta misma serie histórica.

**Resultados:** En cuanto a los resultados preliminares obtenidos es sobresaliente la transformación en la parroquia de Sayausí, que por su ubicación de paso de una vía tan importante como la Cuenca Molleturo Naranjal ha cambiado notablemente su fuente de ingreso mostrando un crecimiento del sector terciario del 38,20% en 1990 hasta un 51,12% en 2010 y la disminución en este sector primario de un 30,62% a un 19,69%.

El crecimiento poblacional de la cuenca del Tomebamba se ha modificado iniciando con un incremento del 40,47 % de 1990 a 2001 y el 23,15% desde el 2001 hasta el 2010. Este crecimiento se debe a la migración hacia el exterior, principalmente desde el austro del Ecuador en los años del 1998 al 2008 durante la crisis y la dolarización del país (Espinoza, 2000).

Existen actores de tres tipos: reguladores como el Ministerio del Ambiente, el Ministerio de Agricultura y Ganadería, GAD Municipal de Cuenca (Comisión de Gestión Ambiental, Control Municipal y Dirección de Planificación, la Secretaría Nacional del Agua SENAGUA y el GAD Provincial del Azuay. Los oferentes: agricultores, ganaderos, piscicultores, restaurantes, gestores turísticos, tiendas de abarrotes, Parque Nacional Cajas, ETAPA. Entre los demandantes: agricultores, ganaderos, piscicultores, restaurantes, gestores turísticos, Parque Nacional Cajas, ETAPA, población de Cuenca.



**Figura 1.** Crecimiento poblacional en la microcuenca del río Tomebamba en los censos de 1990, 2001 y 2010

Respecto a la cobertura vegetal el mayor cambio de uso de suelo que se puede visualizar es de páramo a pasto con disminución del 2% y disminución de la vegetación arbustiva del 6%.

**Tabla 1.** Cambios en la cobertura vegetal de la cuenca del Tomebamba medida en hectáreas

COBERTURA	1990	2000	Delta	2008	Delta	2016	Delta
Bosque nativo	2639,87	2756,29	116,42	2776,13	19,84	2419,39	-356,74
Cuerpos de agua	489,51	489,24	-0,27	489,24	0	454,95	-34,29
Erial		12,7	12,7		-12,7	60,47	60,47
Páramo	24400	24247,7	-152,3	23984,46	-263,24	24173,09	188,63
Plantación forestal	52,47	183,4	130,93	97,06	-86,34	141,34	44,28
Tierra agropecuaria	3562,68	3697,58	134,9	4106,45	408,87	4405,92	299,47
Vegetación arbustiva	1329,13	1047,26	-281,87	980,84	-66,42	702,93	-277,91

**Conclusión:** Estos cambios afectan a los ecosistemas naturales reguladores del ciclo hídrico y sumado a la variabilidad provocada por el cambio climático están provocando inundaciones y sequías. En los años 2009 y 2016 existió un intenso estiaje que avivó problemas en el abastecimiento de agua para los habitantes de la cuenca media y baja. En cambio, los años 2012 y 2014 fueron caracterizados por el desborde del río, causando inundaciones en la ciudad de Cuenca.

En conclusión, los cambios en la dinámica socioeconómica del área de influencia del PNC es la que afecta a la cuenca baja del río Tomebamba y este estudio busca incidir en los diferentes actores quienes tomarán las decisiones para el futuro.



Es importante recalcar la necesidad de incluir nuevas visiones de conservación y manejo, como las otras efectivas medidas de conservación (OEMCs) en paisajes terrestres y marinos productivos (Subramanian *et al.* 2018), a más de las áreas protegidas de montaña como parques nacionales y reservas equivalentes. Es importante que se fomente la opción integradora del rol cultural en la formación natural, como se ha demostrado ya con la existencia de bosque maduro creciendo sobre construcciones monumentales de terrazas o la integración de pastos y árboles introducidos que se han naturalizado al punto de ser elementos comunes del paisaje tropandino (White 2013).

En tanto los lineamientos de planificación de conservación se centren exclusivamente en la flora y fauna nativas, la gran parte del ecosistema de los flancos cordilleranos serán vistos exclusivamente como una zona de “transición” entre la zona alta y la zona baja, ignorando la importancia de la EEC no como un ecotono altitudinal sino como una *ecorregión* en derecho propio. Para la formulación de los planes y programas de conservación y manejo de los BTMN en los Andes Tropicales se requiere un cambio de paradigma que incluya nuevos valores en la administración del paisaje (Subramanian *et al.* 2019). Por lo tanto, se perfila un nuevo derrotero dibujado por los académicos y los estudiantes del siglo XXI, que permite acceder a los objetivos de desarrollo sustentable e inclusive a regenerar el híbrido natura—cultura que se ha forjado a lo largo de milenios en los flancos andinos. Como veremos a continuación, el discurso de sustentabilidad generado hace más de treinta años ha servido como marco conceptual pero no ha permitido avanzar en desarrollo sustentable con un sentido práctico. Hoy en día se requiere avanzar vertiginosamente con el nuevo modelo de desarrollo regenerativo, en atención al 2021-2030 como el decenio de la restauración ecológica decretada por las Naciones Unidas.



*“Pero canción luce en el monte,  
¡y hacia el monte voy!  
Quiero ver la montaña donde vivo yo.  
Pero nació mi ser en el monte  
¡y del monte soy!  
Quiero ser la montaña donde vivo yo...  
Yo sé que pronto volveré a ver  
tus montañas Caracas, donde vivo yo...”*

*Pasé por la montaña y me traje este canto  
que me lo dio un turpial para secar mi llanto.  
Por eso soy feliz, por eso voy soñando...*

*Tu montaña vivirá prendida en mis recuerdos  
Porque tu vas aquí, prendida muy adentro.  
Del cielo bajaré las estrellas y la luna  
porque eres para mí, bella como ninguna...”*

Nelson González



Detalle del bosque transicional de tabonuco (*Dracoydes exelsa*)-palo colorado (*Cyrilla recemiflora*) y palma sierra (*Prestoea montana*) hacia la formación achaparrada, en el Bosque Caribeño Nacional Experimental de Luquillo, en Puerto Rico. Este es un ejemplo del bosque montano tropical nuboso en el cerro El Yunque, afectado no solamente por el impacto diario del vaivén de la neblina, sino por la estacionalidad de los huracanes y ventisqueros que afectan la composición y estructura del paisaje montano. *Crédito fotográfico*: Fausto O. Sarmiento.





## Restauración y desarrollo regenerativo

Siguiendo la tradición geográfica de encontrar el significado de la palabra como primer paso en la caracterización del paisaje, inicio este capítulo sugiriendo la importancia del prefijo “re” (del latín *re*: hacia atrás) en la utilización de las ideas de volver a un estado primitivo o de propiciar vuelta a la generación de una condición existente en el territorio intervenido. Cuando usamos la aproximación de restauración, la etimología refiere a la posibilidad de volver a poner en pie (del latín *stare*: pararse) el sistema, con el objetivo de recuperar, rehabilitar, renovar o recobrar el valor perdido. Por eso, en el movimiento conservacionista actual se habla de las cuatro “R”s en el manejo territorial para que sea posible reconstruir, reponer, restituir, o reforestar el ecosistema afectado. Por el otro lado, cuando usamos la aproximación de regeneración, la etimología se refiere a la posibilidad de volver a crear (del Latín *generare*: producir o engendrar), con el objetivo de renovar o permitir la renovación continua del sistema. Por eso, en el movimiento de desarrollo regenerativo, evolucionando del concepto estático de desarrollo sustentable que mira hacia el mantenimiento de las condiciones pasadas, se pretende fomentar la creación de condiciones que permitan al sistema, en nuestro caso el BTMN, renovarse permanentemente, con miras hacia la mejora de las condiciones presentes hacia el futuro (Muller 2020).

La decisión de incluir medidas de restauración ecológica dentro de la caja de herramientas de los conservacionistas y administradores de áreas naturales protegidas de montaña es de reciente data (Knoke *et al.* 2014). En el pasado, y fundamentalmente debido al paradigma antiguo de la sucesión ecológica desde comunidades pioneras hasta las comunidades climax de los resultados experimentales en zonas templadas y en zonas bajas tropicales, se generalizó la idea de que los bosques secundarios pueden generar “pseudoclimax” bien desarrollados en un lapso de aproximadamente 50 años de abandono de las prácticas que generaron el disturbio original (Odum y Sarmiento 1998).

En los pocos estudios sucesionales hechos en las montañas tropicales se hizo obvio una tendencia contraria a lo observado en los trópicos bajos de la estación biológica de La Selva en Costa Rica, o en Barro Colorado en Panamá, y en varios sitios de la Amazonía brasileña, cuando se determinó que en las zonas deforestadas de los



Andes ecuatoriales, la normalidad del flujo de sucesión ecológica se vio modificada por dos factores importantes (Myster 2020) que tensionan el éxito de la restauración en BTMNs: 1) *La intensidad del disturbio* de deforestación debido a la agricultura ha sido intermitente en cuanto a su intensidad pero nunca ha desaparecido por completo (Sarmiento 1994), y 2). *La presencia de elementos exógenos* al ambiente han generado una sucesión “arrestada” llevando a que los pastizales de hierbas “mejoradas” abandonados, como los de *Setaria sphacelata*, no hayan logrado recolonizarse con árboles por cuenta de dispersión natural de semillas, sean por aves (ornitocoría), por murciélagos (quiropcoría) o por el viento (anemocoría) o la lluvia (pluviocoría) (Sarmiento 1997c).

Desde entonces, la narrativa conservacionista ha enfatizado estas dos vertientes, considerando los BTMN tanto como ecosistemas prístinos de autoregeneración natural, cuanto como paisajes manufacturados en los cuales el destino sucesional está circunscrito en gran parte a la asistencia de la acción antrópica, especialmente la utilización del fuego y el reemplazo consciente de especies nativas por especies introducidas generalmente con propósitos utilitaristas de agricultura, ganadería o artesanía (Myster 2020; Günter *et al.* 2009). Siguiendo con el hilo conductor del capítulo anterior, presentaremos argumentos en favor de la segunda corriente de paisajes manufacturados, no sin antes presentar como ejemplo, el caso de estudio del abandono de terrenos en el austro ecuatoriano en el Recuadro 28.

***Recuadro 28: Sucesión natural o asistida como enfoque de recuperación forestal en tierras abandonadas con diferente historia de uso de la tierra en los Andes del sur de Ecuador***

**Ximena PALOMEQUE**

Escuela de Ingeniería Agronómica, Universidad de Cuenca.

[Ximena.palomeque\\_at\\_ucuenca.edu.ec](mailto:Ximena.palomeque_at_ucuenca.edu.ec)

**Introducción:** La recuperación forestal en áreas perturbadas es de especial importancia en los Andes ecuatorianos, donde la deforestación es un problema grave. La sucesión diacrónica natural se evaluó en tres parcelas o sitios grandes, que difieren en el uso de la tierra y la composición de la vegetación. Uno está dominado por especies de pastos en un pastizal abandonado (sitio de pastoreo). Los otros dos son vegetación post-incendio dominada por helechos (sitio de helechos) y varios arbustos (sitio de arbustos).

**Métodos y técnicas:** Evaluamos la efectividad de la extracción manual de especies herbáceas competitivas para acelerar la recuperación del bosque. El monitoreo se realizó en 2003, 2005 y 2007 en 48 subparcelas de 116 m<sup>2</sup> cada una, registrando la riqueza de especies y la densidad de especies leñosas.



**Resultados:** El sitio de pastoreo demostró un efecto competitivo de los pastos exóticos en el reclutamiento de especies leñosas, con un reclutamiento y densidad de especies mucho más bajos, lo que sugiere una seria inhibición de la regeneración de los bosques naturales y una trayectoria de sucesión poco clara. Los sitios de helechos y arbustos se volvieron significativamente similares desde el punto de vista florístico y hay evidencia de una marcada facilitación del reclutamiento de plantas leñosas correlacionada con la disponibilidad de luz en el suelo. Ambos sitios mostraron características de sucesión clásica, con el sitio de arbustos mostrando una mayor riqueza y densidad de especies, mientras que las especies de sucesión tardía están pobremente representadas en el sitio de helechos. Sin embargo, la ordenación de NMDS, al utilizar la densidad de especies, mostró que las dos trayectorias no pueden converger hacia un "estado final" común. Desmalezar manualmente fue ineficaz para acelerar la recuperación del bosque.

**Conclusión:** Estos resultados sugieren que el principal factor limitante para el reclutamiento de especies leñosas en el sitio de pastoreo es la fuerte competencia de pastizal y debe abordarse antes de la disponibilidad de semillas, mientras que la disponibilidad de semillas parece ser el factor limitante para el desarrollo del sitio de helechos y arbustos. Por lo tanto, esparcir las semillas o plantar directamente puede ser efectivo para acelerar la recuperación del bosque.

Es indiscutible la eficacia de los mecanismos de reforestación que aprovechan varios factores, entre los cuales destacan el mejoramiento genético de la planta a sembrar, el mejoramiento del suelo en donde se va a plantar, la selección adecuada de la combinación de especies a utilizar para evitar el monocultivo de la plantación o para asegurar la producción combinada del dosel superior, del dosel inferior o del estrato arborecente, y la vegetación rastrera asociada.

Esta es la razón por la cual varias campañas alrededor del mundo han llevado el mensaje en contra de las plantaciones monoespecíficas de pino o de eucalipto y han apoyado la idea del manejo integrado de producción agro-silvo-pastoril para beneficio de todo el sistema integrado. Este es el principio adoptado desde la antigüedad por los grupos humanos que se asentaron en las zonas del BTMN, tanto hacia el Este cuanto al Oeste de la cordillera de los Andes. En cierto sentido, al hacer dichos cambios se convirtieron en los ingenieros ecológicos del pasado. Sin embargo, no toda intervención ha sido positiva y los estragos ocurridos por la ingenuidad de la intervención han llegado a ser a menudo catastróficos. Uno de los ejemplos de gran impacto negativo es la tala indiscriminada del BTMN en las laderas empinadas que son por tanto expuestas a la erosión hídrica y escorrentía (Pinos y Timbe 2020). En estos sitios, particularmente luego de las quemaduras producidas para la limpieza del sotobosque talado, se pueden generar "pampas" de cacaotillos (e.g., *Miconia* sp), surales de bambú de monte (e.g., *Chusquea* sp) o de enramados de helechos arbustivos (e.g., *Pteridium aquilinum aracnoideum*) o de matorrales de helechos (*Blechnum* sp) y de tolares (*Fabiana* sp) o chilcales (*Baccharis* sp). Es



muy frecuente encontrar en las costras expuestas de los claros de bosque y los sitios de derrubios ejemplares de las hojas paraguas (*Gunnera aequatorialis*).

Un estudio puntual de regeneración de sitios de derrumbos producidos en áreas protegidas rindió una correlación positiva entre la presencia de caminos (incluso de senderos y trochas pedestres) hechos en la ladera forestada, lo que a la larga genera focos de erosión que luego terminan generando derrumbes, que de acuerdo a su magnitud pueden regenerarse por dispersión de semillas, especialmente por parte de las aves (c.f., ornitocoría) y de murciélagos (c.f., quiropcoría) frugívoros que cruzan desde la matriz boscosa hacia el parche derrumbado (Myster y Sarmiento 1998); sin embargo, si es que el movimiento de tierras ha sido muy grande y se ha llevado la mayor cantidad de suelo de la ladera, la costra derrumbada permanece sin recolonizarse por muchos años, con briófitas desarrollándose sobre la superficie rocosa expuesta del derrumbe (Sarmiento 2010) y facilitando la presencia monoespecífica de especies adaptadas a crecer luego del derrumbe o 'wayku' como son los bambúes de monte (*Chusquea* sp) formando surales, o los árboles de aliso (*Alnus acuminata*, *A. jorulensis*) formando alisales que crecen en rodales puros influenciados por hongos nitrificantes (*Frankia* sp) en su sistema radicular.

Claramente se observa que al aportar una multitud de opciones en el proceso de restauración se generan beneficios adicionales. Al incorporar la dimensión humana en el diseño de restauración del paisaje andino que fomenta la hibridación de la naturaleza y la cultura en las montañas tropicales, se logran al unísono varios objetivos conservacionistas que pueden perdurar al regenerarse sustentablemente, como se evidencia en el ejemplo del noroccidente ecuatoriano que incluimos como Recuadro 29.

**Recuadro 29: Red de Restauración Naturaleza-Cultura:  
Un Proyecto Piloto en Ecuador**

**Ana MARISCAL<sup>1,2</sup>, Carmen MARISCAL<sup>1</sup>, Carlos ANDRADE<sup>1</sup>, Patricio LOPEZ<sup>1</sup>, Margot COHEN<sup>3,4</sup>, Chloé BROCHARD<sup>5</sup>, Elisabeth DIETZE<sup>1,6</sup>**

<sup>1</sup>Fundación Cambugan, Atacames N26 48 and Humberto Albornoz, Quito, Ecuador.

<sup>2</sup>Universidad Andina Simón Bolívar, Quito, Ecuador.

<sup>3</sup>Comisión Fulbright, Quito, Ecuador.

<sup>4</sup>Universidad San Francisco de Quito, Campus Cumbayá, Quito, Ecuador.

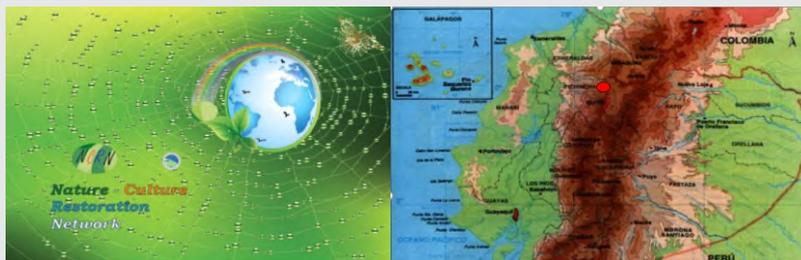
<sup>5</sup>Universidad de las Ciencias Po Toulouse, Toulouse, Francia.

<sup>6</sup>Instituto Alfred-Wegener, Centro Helmholtz de Investigaciones Polares y Marinas, Grupo de Sistemas Ambientales Polares Terrestres, GFZ Centro Alemán de Investigación de Ciencias de la Tierra, Sección Geoquímica Orgánica. Potsdam, Germany.

*fundacion\_cambugan\_at\_yahoo.com*



**Introducción:** Ecuador alberga algunos de los bosques más ricos en biodiversidad en todo el mundo, pero al mismo tiempo, presenta una alta tasa de deforestación, especialmente en las regiones montañosas. La continua pérdida de bosques, junto con los períodos irregulares de lluvia y sequía, han resultado en la extinción de las especies nativas. Estos procesos afectan en mayor medida a las comunidades rurales, en las que los habitantes dependen de los ecosistemas nativos para su sustento. El establecimiento de una iniciativa creativa de conservación a largo plazo es una necesidad urgente para garantizar la conservación de estos paisajes montañosos boscosos que desaparecen, al tiempo que se mantienen los valores culturales locales y se contribuye a las economías locales en las comunidades agrícolas. Este es el principio rector de la *Fundación Cambugan*, que trabaja específicamente con los bosques protegidos Cambugan-Paso Alto, provincia de Pichincha, Ecuador (Figura 1). Desde su inicio en 2000, la fundación ha estado trabajando con miembros de la comunidad local y organizaciones para proteger y preservar la biodiversidad forestal. A partir de 2017, la fundación también comenzó a establecer acuerdos de cooperación con las comunidades que viven alrededor de la zona de protección de los bosques protegidos, y comenzó un proyecto multinacional para conocer el estado de conservación de los ecosistemas locales.



**Figura 1.** Área de trabajo inicial del proyecto piloto en la parroquia San José de Minas, Pichincha-Ecuador (punto rojo en el mapa).

**Objetivos:** La Red de Restauración de la Naturaleza y la Cultura tiene como objetivo contribuir a la recuperación y restauración de la naturaleza y la cultura locales en Ecuador al iniciar nuevas colaboraciones, intercambiar información y generar investigación participativa comunitaria.

**Métodos y técnicas:** El proyecto consiste en entrevistas con las comunidades locales y reuniones participativas para aprender sobre la historia local del uso de la tierra, las organizaciones sociales y las culturas. El uso de entrevistas y técnicas participativas (Figura 2), son esenciales para analizar la distribución espacial dentro de las comunidades y entre ellas para identificar posibles conflictos humanos y de vida silvestre. Estas técnicas también se utilizarán para determinar las percepciones y experiencias de los cambios locales en el uso del suelo y para desarrollar soluciones viables para los ecosistemas y las comunidades locales.



**Figura 2.** Los miembros de la comunidad local aprenden e interactúan según el uso de técnicas participativas.

**Progresos del trabajo del proyecto piloto:** La Red de Restauración de la Naturaleza y la Cultura, comenzó su trabajo con dos comunidades locales ubicadas alrededor de la zona de amortiguamiento de bosques protegidos de Cambugan y Paso Alto, para conocer la historia del cambio social y de uso de la tierra de las comunidades locales. El trabajo también se enfoca en la generación de actividades educativas y en la identificación de temas de investigación socio-ecológica para dirigir investigaciones futuras en universidades y centros de investigación a nivel multinacional, considerando perspectivas de conservación a largo plazo y cambios en el uso de la tierra en los Andes ecuatorianos. Basándose en la decisión de Jatumpamba y Bella Vista de seleccionar el turismo como una actividad de trabajo futura de la comunidad, se realizó un curso de capacitación de guías de aves desde 2017 hasta 2018 (Figura 3).



**Figura 3.** Proyecto piloto del centro de investigación, áreas de trabajo y guías de aves miembros de comunidades locales.



**Conclusión:** Actualmente, la red está en la generación de cursos locales de capacitación y en la formación de comités ambientales locales. basada en la colaboración entre comunidades locales, organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, instituciones educativas y centros de investigación, al mismo tiempo que enfatiza la participación de investigadores, estudiantes y voluntarios interesados en contribuir a las acciones de conservación de este cuerpo basado en una investigación centrada en la comunidad (Figura 4).

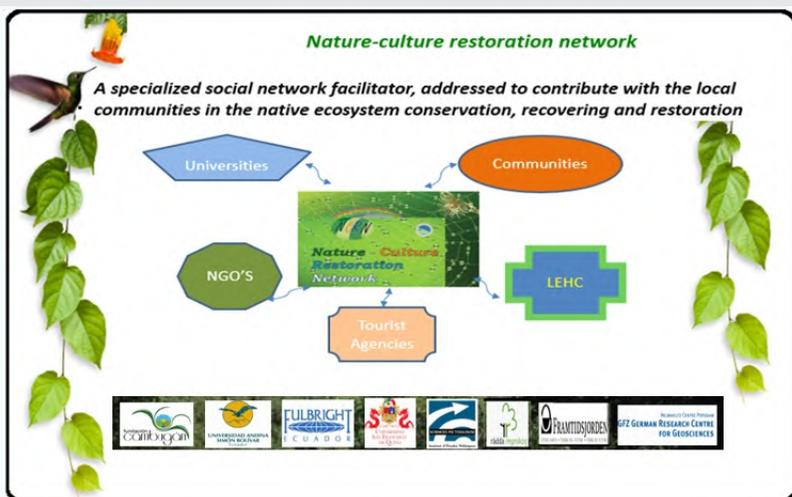


Figura 4. Proyecto piloto de componentes principales y socios.

Los derrumbes y movimientos en masa ladera abajo son fundamentalmente causados por la gravedad en la pendiente vertical; sin embargo, ellos son generalmente causados por las lluvias torrenciales y los terremotos o temblores (Stern 1995) que son relativamente frecuentes en los BTMN. Los derrumbes, así como los humos producidos por las quemas y que se observan casi diariamente en las laderas distantes, son de los más conspicuos atributos en el paisaje de los Andes tropicales (Sarmiento 1994, 1995b). Desafortunadamente, como los derrumbes son frecuentemente asociados a la construcción de caminos y otros asentamientos humanos (Larsen y Torres-Sanchez 1992), ellos con frecuencia resultan en la destrucción de la propiedad y daños a la sanidad del área e incluso en elevada mortandad (Sarmiento 1987; 2010), especialmente cuando los episodios son catastróficos acarreado no solamente lodo, troncos y agua, sino especialmente piedras y rocas arrastradas en la riada (c.f., *wayku*) conocidas también como “reventazón” por el impacto desastroso generado a nivel de la cuenca hidrográfi-



ca (Pinos y Timbe 2020). Por lo tanto, establecer un conocimiento integral convergente sobre las necesidades de restauración tiene que ser uno de los objetivos prioritarios para la investigación de los BTMN y de su conservación.

En la aplicación de modelos de restauración ecológica y regeneración ambiental es ahora imperativo incluir tanto el componente natural de flora, fauna y gea, cuanto el componente cultural de subsistencia, productividad y espiritualidad que caracterizan a los sistemas socio-ecológicos de los paisajes de montaña, especialmente en los Andes tropicales en donde existe una prioridad tácita de proteger los sitios sagrados con el fin de regenerar el patrimonio biocultural del territorio y mantener la viabilidad del paisaje manufacturado en perpetuidad. Como un ejemplo de la aplicación de este modelo, incluimos el caso de estudio del Recuadro 30.

***Recuadro 30: Técnicas ancestrales para la restauración de ecosistemas degradados: un análisis de caso para una propuesta de restauración de una granja de tierras sagradas en Tumianuma, Loja, Ecuador***

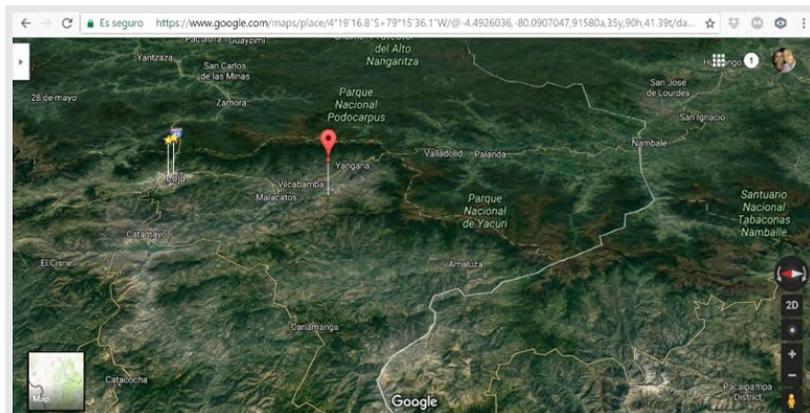
**Virgilio BENAVIDES ANDRADE**, Nancy HILGERT VALDERRAMA

Escuela de Postgrado de Ciencias Ambientales. Universidad Nacional de Piura.

[virgilbenavides\\_at\\_gmail.com](mailto:virgilbenavides_at_gmail.com)

**Introducción:** Esta investigación aborda el estudio de técnicas ancestrales para la recuperación de ecosistemas de montaña que se deterioran por diferentes circunstancias naturales o antrópicas. Proponemos aplicar este conocimiento ancestral en un lugar perteneciente a la tierra de la gente de Palta llamada "Finca Sagrada" (SLF por sus siglas en inglés: *Sacred Land Farm*), en la cual se construyó el "Hogar de los Pensamientos Originales" (HOT por sus siglas en inglés: *Home of Original Thought*), que actualmente es propiedad de agricultores biodinámicos y donde son socios los estudiosos místicos de diferentes filosofías antiguas. Se encuentra cerca del valle de Vilcabamba, un sitio reconocido mundialmente por su calidad natural y la longevidad de sus habitantes (Figura 1).

La restauración ambiental utilizada en todo el mundo está en crisis. El uso de técnicas de restauración ancestral restaura ríos, microcuencas, bosques y comunidades nativas. Presentamos evidencia de casos exitosos en Colombia y Ecuador y mostramos una ruta de viabilidad utilizando estas técnicas y presentando una propuesta de gestión ambiental en un caso de restauración de ecosistemas.



**Figura 1:** Sacred Land Farm se encuentra en las estribaciones del arroyo Condorhuana, a orillas del río Catamayo, a 2 km del límite noreste del Parque Nacional Yasuri, en la provincia de Loja (símbolo rojo). La altura de la propiedad es de 1600 a 2200 metros sobre el nivel del mar.

**Métodos y técnicas:** La técnica de los maestros *Kogui* de la Sierra Nevada de Santa Marta en Colombia, generalmente los ancianos poseedores de la sabiduría ancestral conocidos como “mamos”, de sembrar piedras sagradas de cuarzo que permiten el nacimiento de fuentes de agua, asegura que en un período de 45 a 60 días, produzca la recuperación de la naturaleza y su ecosistema, con la aparición de vegetación y el retorno progresivo de la fauna. Estos cuarzos deben ser nativos del área y deben ser seleccionados por maestros espirituales. La recuperación de los ecosistemas es similar a la que ya se ha realizado en otros lugares.

Los planificadores gubernamentales dedicados a la recuperación de los ecosistemas y los recursos hídricos pueden tener un importante recurso técnico poco ortodoxo, altamente efectivo, de bajo presupuesto, pero que incluyen consideraciones éticas, sociales y culturales bioéticas que se enmarcan en un paradigma diferente al de los desarrollistas occidentales. Las universidades deben desarrollar programas de investigación y difusión sobre culturas ancestrales para analizar y difundir sus principios, filosofías y técnicas de tal manera que entendamos nuestra historia, de dónde venimos, a dónde queremos ir y el potencial de constituirse en un gran ser humano. Se requieren grupos que conserva sus propias capacidades culturales. Ver figura 2.



**Figura 2:** Reunión de maestros espirituales ancestrales del sur, centro y norte de América, desarrollada en “HOT” en diciembre de 2016.

**Resultados:** En noviembre de 2018 fue creada la llamada "Oficina del Futuro" en las Naciones Unidas, formada por un consejo de 12 autoridades espirituales del planeta (una de ellas es de etnia Tayrona a la cual pertenecen los *Kogui*), de diferentes idiomas, pero de ascendencia similar. La humanidad tendrá una fuente diferente de conocimiento con una experiencia milenaria en restauración ecológica y comunitaria.

**Conclusión:** Se concluye que la propuesta de "plantación" de estas piedras sagradas o cristales en "SLF" por Mamos *Kogui* o por maestros locales para obtener agua usando técnicas antiguas y recuperar su ecosistema, tendrá un rigor académico entre la sabiduría antigua útil y las técnicas no ortodoxas y que va a ayudar al conocimiento occidental moderno a desarrollar una restauración ambiental sostenible.

Al hacer explícito el hecho de incluir el conocimiento ancestral y el respeto por mitologías vernáculas a más de la ciencia occidental (Bussman 2006), se perfilan requisitos de integración escalar transdisciplinaria (tanto espacial cuanto temporal) para hacer del esfuerzo de restauración ecológica un componente importante del proceso de desarrollo regenerativo que requiere la montología y sus aplicaciones integradoras, como se verá en el capítulo final.

Esta página se ha dejado en blanco a propósito.



*“De regreso a mis [montes] llegué a mis lares,  
cabalgando al lomo de mis lejanos recuerdos...  
y al volver, otra vez, en mi mente quedó grabado  
el paisaje azul de la edad primera...”*

*¡Qué lindo es volver al hogar nativo!  
y poder recordar con los viejos amigos la dulce infancia...  
La pelota de trapo, el barquito de papel,  
la encumbrada cometa pide y pide carretel...”*

*He vuelto a escuchar la voz del riachuelo,  
la mirla que canta en la copa florida del arrayán..  
Y en la torre del pueblo, mil campanitas  
que cruzaron el cielo con las notas de mi cantar...”*

*Efraín Orozco*



Detalle de la fortaleza de *Kuelap*, construida por la cultura *Shachapuyu* desde tiempos preincaicos en la ceja de selva del nororiente peruano, en las cabeceras del río *Ucubamba*. Los arqueólogos del paisaje aún debaten las andenerías y terrazas circundantes y la zona residencial con chozas circulares que alojaban defensivamente a los pobladores de la ceja de selva en Chachapoyas, Amazonas. *Crédito fotográfico*: H. Michell León León ([www.photomichell-leon.com](http://www.photomichell-leon.com)).





## Prospectiva biocultural y microrrefugios

En la tropa de las geografías críticas se perfila una nueva narrativa que ha tomado mucha fuerza en América Latina y en general en el Sur Global, en donde los países menos desarrollados han optado por vigorizar la presencia, tanto política como administrativa, de sus pueblos originarios, y por lo tanto, han terminado por aceptar como premisas de la planificación de conservación los esquemas descolonizados y las narrativas de protección de patrimonio biocultural, tanto de los bienes materiales construidos (o paisajes manufacturados y de *andinidad*) cuanto de los bienes inmateriales o intangibles (paisajes socioecológicos y culturales de *andinancia* o de *andinidad*) (Sarmiento 2013) con una clara afinidad a la protección del revivir indígena y la protección de sitios naturales sagrados (Sarmiento y Hitchner 2019).

Un aporte importante para la dimensión crítica de la biogeografía es proporcionada por la inclusión de modelos de cambio climático basados no solamente en factores atmosféricos de temperatura y precipitación, sino además con proyecciones de estados cambiantes registrados en el pasado con la ayuda de las técnicas paleoecológicas, como la palinología, la dendrocronología y más recientemente la genómica y genómica del establecimiento de taxa sobreviviente del pasado. La elaboración de árboles filogenéticos con clades emparentadas y con algoritmos que permitan modelar el ensamblaje cladístico y ubicar su distribución pasada con posibles indicaciones de refugios pleistocénicos (Kreft y Jetz 2010) es una herramienta preferencial, debido a que se correlaciona con migraciones impulsadas por sequías y otros factores determinantes de la distribución de especies, muchas veces generando **causalidad** de movilización y extensión de nichos ecológicos. Por lo tanto, la etiología del socioecosistema, usando la información cruzada de la paleoecología, la genómica y la arqueología proporcionan un mejor entendimiento de la arqueología del paisaje cuyo legado ecológico ha llevado a obtener el ensamblaje de especies que se encuentra en la actualidad en las selvas tropandinas. El Recuadro 31 ilustra este punto inclusivo disciplinario.

**Recuadro 31: La diversidad genética de las plantas y sus refugios a largo plazo**

**Mark BUSH<sup>1</sup>, Bryan VALENCLIA<sup>2</sup>, Courtney SHADIK<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Instituto de Ecología Global, Departamento de Ciencias Biológicas, Instituto de Tecnología de Florida. Melbourne, Fl. EE.UU.

<sup>2</sup>Departamento de Geociencias, KIAM Universidad Nacional Amazónica, Tena. Ecuador.  
[mbush\\_at\\_fit.edu](mailto:mbush_at_fit.edu)

**Introducción:** Los microrrefugios son un entorno local a pequeña escala que permite que las poblaciones persistan en condiciones climáticas adversas, mientras desaparecen otros miembros de la población. Los microrrefugios se pueden ver como poblaciones o como entornos. En este ensayo sostendremos que el valor futuro para la conservación de los microrrefugios es verlos principalmente como entorno.

En el pasado, los microrrefugios permitieron a los sobrevivientes de la adversidad climática impulsar expansiones de poblaciones subsiguientes, desde una variedad de ubicaciones geográficas lejos de la población principal. Estos puntos de partida locales redujeron las distancias de migración, y permiten que las especies mantengan un equilibrio cercano con el cambio climático. La evidencia de la existencia de microrrefugios se basa en parte en la observación moderna y en parte en una inferencia que proporciona una explicación lógica de las tasas de migración que de otro modo serían improbables. Los árboles generalmente migran en c. 0.1-1 km por año. La aparente expansión y contracción de las poblaciones en entornos templados y tropicales bajo el cambio climático pasado requiere tasas de 10 a 100 veces más rápidas que esto a menos que invoquemos la presencia de microrrefugios.

**Métodos y técnicas:** Usando estudios de paleoecología pudimos identificar los microrrefugios individuales como un desafío; pero en algunos lugares en Perú y Ecuador, pudimos rastrear la persistencia de las especies de *Polylepis* en todo el Holoceno y asignamos estas ubicaciones como microrrefugios. Otros escenarios vieron desaparecer a *Polylepis* a mediados del Holoceno. Sugerimos que la topografía local abrupta fue crítica para la supervivencia de *Polylepis*, ya que actuó como un cortafuegos, de modo que durante las grandes sequías del Holoceno medio, mientras ardían los paisajes más planos y perdían sus bosques de *Polylepis*, los sitios más empinados conservaron sus poblaciones. También pudimos demostrar que el clima dentro de un microrrefugio no es constante y, por lo tanto, es poco probable que cualquier entorno sea adecuado para todas las especies que están presentes en el inicio. En otras palabras, los microrrefugios no protegerán a todas las especies de la extinción local.

**Conclusión:** Los microrrefugios deben verse en el contexto de paisajes siempre cambiantes en los que las especies enfrentan filtros de condiciones marginalmente aceptables tanto en el espacio como en el tiempo. Los microrrefugios sirven como escalones para algunas especies y centros de población para otras. Cuanto más duradero sea el aislamiento de una población en un microrrefugio, menores serán sus posibilidades de supervivencia. Durante la última edad de hielo, el cambio climático rápido y frecuente, de caliente a frío y de húmedo a seco, llevó a las poblaciones a reconectarse y limitó la duración del aislamiento microrrefugial. El calentamiento



prolongado y constante del Holoceno ya ha llevado el aislamiento microrrefugial a nuevos límites. Bajo el calentamiento continuo, no podemos prever condiciones más frías que permitan que los microrrefugios andinos se vuelvan a conectar.

Cuando se combina con el calentamiento proyectado y los sistemas de fragmentación del uso humano de la tierra, anticipamos que una gran cantidad de las especies (o tal vez todas) que se dan en microrrefugios frescos, húmedos y modernos se extinguirán localmente. Pero, debido a que el microrrefugio ofrece condiciones menos extremas que el entorno circundante, se convertirá en un refugio para la próxima ola de especies que necesiten condiciones más templadas y húmedas que la configuración de la matriz. Por lo tanto, conservar los microrrefugios es esencial para mantener la diversidad de las montañas, pero debemos pensar en ellos como una promoción de la diversidad esencial del hábitat, en lugar de proteger una especie determinada.

Debido a la existencia de varios ejemplos de modelos globales y la dificultad de encontrar datos refinados a la escala global, los mapas de proyección del cambio climático son, en general, obligadamente macro regionales o continentales. La cantidad de datos necesarios para ejecutar un programa de modelaje climático para la zona tropandina todavía requiere una gran potencia de cómputo, pero se han hecho aproximaciones en las que se seleccionan escenarios alternativos de cambio climático, como por ejemplo el que se presenta cuando la emisión de aerosoles que modifican las condiciones atmosféricas cambian el patrón de lluvias y pueden modificar las predicciones (Sarmiento y Kooperman 2019). Por otro lado, los proyectos para ubicar la diversidad genética asociada con la existencia de microrrefugios de conservación de especies forestales de montaña, como los cedros atlánticos o los podocarpus y araucarias brasileñas, han podido determinar las rutas migratorias de la adaptación de dichas especies al clima cambiante de las montañas (Cheddadi *et al.* 2017; Pinaya *et al.* 2019). El Recuadro 32 muestra la importancia de la diversidad genética en la formación de los microrrefugios y su conservación en las montañas del África occidental.

### ***Recuadro 32: Diversidad genética, microrrefugios y conservación del cedro del Atlas en Marruecos***

**Gentile Francesco FICETOLA<sup>1,2</sup>, Rachid CHEDDADI<sup>3</sup>, Frederic BOYER<sup>1</sup>, Eric COISSAC<sup>1</sup>, Pierre TABERLET<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Universidad de Grenoble Alpina, CNRS, Laboratorio de Ecología Alpina (LECA), Grenoble, Francia.

<sup>2</sup>Departamento de Ciencia y Política Ambiental, Universidad del Estudio de Milán. Italia.

<sup>3</sup>ISEM, Universidad de Montpellier, CNRS, Montpellier, Francia.

[francesco.ficetola@gmail.com](mailto:francesco.ficetola@gmail.com)

**Introducción:** El cedro del Atlas, *Cedrus atlantica*, está actualmente restringido a un rango relativamente pequeño en el noroeste de África, principalmente en Argelia y Marruecos. Los



estudios paleoecológicos y de simulación de modelos en Marruecos sugieren que los bosques de cedro tuvieron una distribución mucho más amplia en el pasado, y han sufrido una rápida disminución en las últimas décadas. Actualmente, los cedros del Atlas sobreviven en micro-refugios restringidos y aislados en las montañas Rif y Atlas.

**Métodos y técnicas:** Utilizamos el desnatado del genoma para reconstruir los cloroplastos y evaluar la diversidad genética de las poblaciones de cedro que cubren todo el rango de especies. Los datos de eliminación del genoma también se utilizaron para desarrollar 20 loci de microsatélites variables, con el fin de evaluar la diversidad genética en los loci nucleares. La diversidad genética en los cloroplastos no mostró un patrón geográfico significativo, lo que confirma que los cedros Atlas tenían una distribución mucho más amplia en el pasado y sugiere que hasta que los cedros fueran una sola población panmíctica. La estructura espacial también fue débil en microsatélites nucleares ( $F_{st}$  promedio = 0.09), de acuerdo con la hipótesis de que los cedros eran panmícticos hasta hace poco. Sin embargo, detectamos diferencias significativas entre las poblaciones del Rif y del Atlas y, dentro del Atlas, entre el Alto Atlas y el Atlas Medio.

**Resultados:** Las poblaciones conservaron altos valores de diversidad genética, con heterocigotidad esperada generalmente  $> 0.7$ . El patrón geográfico de heterocigotidad esperada fue débil. Por el contrario, detectamos una variación espacial significativa de la riqueza alélica, con una mayor diversidad genética en el Rif y en las poblaciones del Alto Atlas. Estos resultados sugieren que la disminución del cedro del Atlas aún no ha afectado su diversidad genética.

**Conclusión:** Las simulaciones del modelo muestran que el rango de los bosques de cedro disminuyó en aproximadamente un 75% en los últimos 50 años en las montañas del Rif, donde la riqueza alélica es la más alta. Por lo tanto, las acciones de gestión temprana que limitan la reducción de la población pueden ser efectivas para conservar la diversidad intraespecífica de los cedros y, por lo tanto, preservar la especie de la extinción local.

En la actualidad, la distribución del bosque de montaña en general ha disminuido notablemente debido a la tala indiscriminada de las zonas altas en los países menos desarrollados y a la continua utilización del fuego para abrir nuevos campos de cultivo o para reverdecer los pastos que deben ser sometidos a forraje. En muchos casos, la presencia de bosques remanentes pequeños suele ser ignorada por los esquemas nacionales de conservación, por la influencia del debate SLOSS (por sus siglas en inglés: *Single Large or Several Small*) de los años 70s y 80s, que postulaba que solamente las áreas protegidas de extensiones mayores son significativas para la conservación de especies estandarte, como el oso de anteojos (*Tremarctus ornatus*) o la danta de altura (*Tapirus pinchaque*) (UNEP 2016). La selección de corredores biológicos, corredores ecológicos y áreas colindantes han favorecido también la idea de que solamente las grandes extensiones de áreas protegidas y su conectividad son significativas para la conservación de la biodiversidad.



Con los estudios de microrrefugios, tanto desde el punto de vista genómico, o biogeográfico crítico, la inclusión de estas pequeñas áreas de conservación como “otras efectivas medidas de conservación” (OEMCs) incluyen las dimensiones bioculturales patrimoniales, lo que se ha hecho una necesidad territorial (Sarmiento y Cotacachi 2019) y se han convertido en prioritarias para armonizar esfuerzos de desarrollo sustentable y regenerativo con los objetivos de la conservación de la naturaleza. El énfasis puesto en la armonía de cultura-natura, así como de satisfacer las necesidades de las comunidades que habitan los paisajes socio-ecológicos productivos de montaña, ha abierto el campo de la conservación biocultural patrimonial a la arena del debate académico en favor del paradigma prístino. Al aceptar la premisa de que los paisajes manufacturados del presente son un artefacto del juego entre cultura y natura con el paso del tiempo, tendremos que aceptar también que se requiere una nueva estrategia en donde se incluya no sólo el capital natural de flora y fauna del modelo de conservación “fortaleza” (Siurua 2006), sino también el capital ecosocial, cultural y étnico que se atesora en las áreas pequeñas, muchas veces olvidadas por el *status quo ante* que priva la consideración de microrrefugios en estrategias de conservación (Minga *et al.* 2019).

La formulación de la distribución de microrrefugios como OEMCs en los paisajes tropandinos es una tarea que acaba de empezar, luego de la presentación del imperativo de los estudios de montología andina (Haller y Branca 2020) y de caracterización paleoecológica para identificar los sitios en donde las especies forestales puedan ser mejor conservadas en un escenario hipotético de cambio climático que afecte a las zonas altas (Cheddadi *et al.* 2019) y en particular aquellos árboles característicos de los Andes tropicales. Podríamos afirmar sin temor a equivocarnos que el *status quo novo* requiere la inclusión de la narrativa biocultural patrimonial. Como un ejemplo del marco en el que se desarrolla esta tendencia, incluimos el Recuadro 33.

### ***Recuadro 33: Impactos humanos precolombinos en los microrrefugios a media elevación en los Andes***

**Rachel SALES<sup>1</sup>, Crystal McMICHAEL<sup>2</sup>, Mark BUSH<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Instituto de Ecología Global, Departamento de Ciencias Biológicas, Instituto de Tecnología de Florida. Melbourne, Fl. EE.UU.

<sup>2</sup>Instituto de Biodiversidad y Ecosistemas Dinámicos. Universidad de Amsterdam, Holanda.  
*rsales\_at\_fit.edu*

**Introducción:** Los Andes son un punto de acceso a la biodiversidad de renombre, y el cambio climático global en curso está obligando a las especies a migrar hacia arriba, pero la migración no puede seguir el ritmo del calentamiento observado. Durante el calentamiento previo del Holoceno medio,



conocido como el Evento Seco del Holoceno Medio, una combinación de sequías y nubes cambiantes causó que los lagos se secaran y, en áreas secas, los humanos abandonaran paisajes enteros. En las elevaciones altas, las áreas escarpadas se han etiquetado como microrrefugios potenciales durante estos episodios, pero en las elevaciones medias, los microrrefugios pueden deberse más a la orientación y la inmersión en las nubes que a la rugosidad topográfica. Además de las condiciones climáticas, los microrrefugios potenciales también pueden haber sido afectados por los impactos humanos precolombinos. Los valles a menudo actuaban como corredores humanos, permitiendo que las personas se movieran entre las tierras altas y bajas. Los microrrefugios que se sientan dentro de los valles son más probables que tengan impactos humanos precolombinos, que pueden cambiar la configuración de los microrrefugios, mientras que los microrrefugios aislados son menos probables que se hayan visto afectados por tales impactos.

**Métodos y técnicas:** Analizamos la historia paleoecológica de cinco lagos publicados anteriormente y agregamos un nuevo conjunto de datos: el área de Progreso (norte de Perú). Tres de estos lagos (Llaviucu, Huila y Pomacochas) se encuentran dentro de los valles. Los otros tres lagos (Progreso, Palotoa y Consuelo) están aislados. El lago Progreso, Perú (2000 m de altitud), es actualmente el lago más antiguo con un registro paleoecológico entre 1500 y 3000 m en el sur de los Andes tropicales. Estamos realizando análisis de polen fósil y carbón vegetal en este registro para determinar si estos bosques eran refugios para plantas durante la mitad del Holoceno.

**Resultados:** Los resultados preliminares sugieren que Progreso ha funcionado como un refugio climático para plantas durante los últimos 12,000 años. El registro de polen fósil muestra pocos cambios en los taxones forestales, como *Alchornea*, *Hedyosmum* y *Miconia*, durante las anomalías climáticas. Los pastos y las hierbas nunca se elevan por encima del 10% de abundancia, y *Cecropia*, un género de árboles indicativo de alteración, nunca se eleva por encima del 5% de abundancia. Es importante destacar que el carbón vegetal está casi completamente ausente en el registro y no se ha recuperado el polen del maíz, lo que sugiere que el área del lago Progreso ha experimentado pocos impactos humanos precolombinos. Los impactos humanos precolombinos no se encuentran en ninguno de los lagos aislados, pero ocurren en todos los lagos situados dentro de un valle conectivo. Curiosamente, todas los microrrefugios potenciales, excepto Llaviucu y Progreso, muestran evidencia de desecación durante el MHDE. Llaviucu y Progreso pueden servir como microrrefugios durante el cambio climático futuro, ya que no se secaron durante el MHDE. Además, Progreso está a solo 10 km de Pomacochas, que sí fue afectado por humanos precolombinos.

**Conclusión:** Los registros de Progreso y Pomacochas proporcionan una hipótesis natural de que los humanos precolombinos ejercen una esfera de influencia de 10 km desde un área afectada: la misma esfera de influencia que los sitios de tierras bajas. La identificación de los microrrefugios en las elevaciones intermedias es importante porque estos sitios podrían contribuir al abultamiento del número de especies de hoy en día en la protuberancia de diversidad de elevaciones medias y sugerimos que podrían conservar esta diversidad en el futuro.

**Agradecimientos:** Nos gustaría agradecer a la Conferencia Internacional sobre Diversidad de Plantas Pasadas, Cambio Climático y Conservación de Montañas por brindar la oportunidad de presentar esta investigación. También nos gustaría agradecer a Meghan O'Connor por recopilar los datos de carbón de Progreso, y al Foro Belmont / NSF ICER-1624207 por financiar esta investigación.



**Figura 1.** Mapa del sitio, mostrando Progreso y Pomacochas. Pomacochas se encuentra en un valle que conecta las tierras bajas con las tierras altas, pero Progreso está aislado.



**Figura 2.** Rachel Sales recolecta sedimentos de un lago de mediana elevación en el Parque Nacional Sangay, Ecuador. De izquierda a derecha: Majoi de Novaes Nascimento, Bryan Valencia y Rachel Sales.



Poco a poco la inclusión de los pequeños fragmentos de BTMN toman relevancia como indicadores de la salud ambiental de los lugares en donde se encuentran como OECMs, ya que las comunidades vecinas han tomado conciencia de la importancia de dichos parches en la matriz de pastizales o de campos de cultivo. En realidad, la tendencia de dejar áreas “remontadas” en los linderos de la propiedad para separar parcelas, o enteras franjas de bosques para diferenciar los monocultivos producidos en las tierras agrícolas, es una tradición de larga data: volviendo al uso de la onomástica, la palabra “monte” o “montaña” en varias zonas de los Andes tropicales de cultura “montubia” o “montuna” no indica al macizo geomórfico o al edificio volcánico de la cordillera, sino mas bien se refiere a la “mancha” de bosque o zona remanente que antiguamente se ha dejado en barbecho o que no se la ha “desmontado” para su producción (Rojas *et al.* 2020). Mucho del efecto de los microrrefugios se relaciona con el hecho de que son en estas zonas en donde se encuentran los árboles nodrizas que podrían eventualmente servir como fuentes de semillas para repoblar de árboles la región, o en donde se concentra la fauna nativa que se oculta en el día mientras los agricultores se encuentran en las faenas diarias, teniendo que salir por la noche para no interferirse mutuamente. Cuando se sugiere que se establezca un nuevo marco teórico para la conservación de la diversidad biocultural como referente de la onomástica andina, se entiende que se debe asignar un valor de conservación muy alto a las especies raras, tal vez localmente endémicas, pero no necesariamente silvestres que puedan identificarse con el lenguaje vernáculo o con los términos de uso cotidiano, que permite rescatar el valor cultural de los sitios importantes para recuperar y conservar (Sarmiento *et al.* 2019). Como un caso de estudio de dichos esfuerzos, incluimos el Recuadro 34.

**Recuadro 34: Los pequeños fragmentos de bosque nuboso de montaña son importantes para conservar la diversidad de árboles en los Andes ecuatorianos y debemos trabajar con los agricultores para restaurarlos**

**Sarah Jane WILSON**, Jeanine RHEMTULLA, Oliver COOMES  
Departamento de Geografía, Universidad McGill. Canadá.  
[sjwil@umich.edu](mailto:sjwil@umich.edu)

**Introducción:** Los bosques nubosos tropicales de montaña, con su alta biodiversidad, endemismo e índices de tala rápida, constituyen una prioridad de conservación global de primer orden. La conservación y restauración de los bosques nubosos requiere tanto el conocimiento de las distribuciones de las especies a escala local y del paisaje como la forma en que las personas utilizan e interactúan con estos bosques. El trabajo empírico en los bosques nubosos se ha centrado principalmente en la distribución de especies a lo largo de los gradientes de elevación, con un menor enfoque en comprender la variación espacial entre los bosques en dicha elevación (Figura 1). En



este ensayo, comparamos comunidades arbóreas a través de múltiples bosques nubosos andinos intactos en elevaciones similares. Los bosques se ubicaban en cinco reservas en la cima de la cresta en el extremo superior de la "protuberancia de diversidad a media elevación" (1900–2250 msnm) en el Valle de Intag, una región muy deforestada en los Andes ecuatorianos noroccidentales (Figura 2).

**Métodos y técnicas:** Encontramos que las comunidades arbóreas eran distintas en reservas ubicadas a una distancia de 10 a 35 km, y que los bosques espacialmente más cercanos no eran más similares entre sí. Aunque los bosques más grandes (de 1500 a 6880 ha) y más intactos contenían significativamente más especies de árboles (108–120 especies / 0.1 ha) que los más pequeños (de 30 a 780 ha) (56–87 especies / 0.1 ha), cada reserva tenía combinaciones únicas de especies más comunes, y contenía altas proporciones de especies que no se encontraban en las otras (Figura 3). Los resultados muestran que la protección de múltiples parches de bosque nuboso es esencial para conservar la diversidad de árboles a nivel del paisaje, y que incluso las reservas de bosques pequeños remanentes contribuyen significativamente como microrrefugios para la conservación de la biodiversidad. Los hallazgos contribuyen al debate de décadas de antigüedad SLOSS (*single large versus several small*: 'una reserva de gran tamaño versus varias pequeñas'). Este debate sugiere que los bosques de montaña requieren estrategias de conservación específicas basadas en su topografía y distribución de especies únicas.

Entrevistamos a las comunidades para comprender los factores y los patrones de cambio forestal en la parte noroeste del valle Intag, una región con tasas históricamente altas de deforestación y proyectos actuales de restauración de bosques. Realizamos encuestas de hogares con actores locales (120) e informantes clave (16) sobre los bienes del hogar, los medios de vida, la demografía y las razones para restaurar los bosques y la historia del uso de los bosques. La gente local expresó que los bosques en esta región son esenciales para proporcionar agua y otros beneficios clave para la agricultura. En contraste con estudios anteriores, ni la riqueza ni el área total de las propiedades de la tierra explicaron la participación en la plantación de árboles; en cambio, los hogares más dependientes de la tierra con un gran interés en sus comunidades eran los más propensos a plantar árboles.

**Resultados:** Descubrimos que los rancheros y agricultores con un historial de participación comunitaria tenían más probabilidades de participar en proyectos de plantación de árboles dirigidos por ONG para restaurar las cuencas hidrográficas comunales (Figura 2). Después de plantar en tierras comunales, muchos hogares aplicaron en sus propias fincas los conocimientos y técnicas de arboricultura recientemente adquiridos, implementando sistemas innovadores basados en árboles para restaurar los suelos, el agua y otros servicios ecosistémicos esenciales para la agricultura. En las granjas, los agricultores plantaron más árboles, más tipos de árboles y más árboles nativos que los asalariados, y también los integraron en sus granjas. La ONG local, que es la Defensa y Conservación Ecológica de Intag (DECOIN), desempeñó un papel clave en este proceso al establecer el vínculo entre los bosques y el agua, y proporcionar la capacitación, la adquisición de tierras y los materiales básicos para sembrar y hacer crecer árboles (principalmente nativos) en tierras comunales. Impulsada por la escasez de servicios de los ecosistemas locales y el impacto de la minería en la región, esta "restauración de la crisis" fue parte integral de un movimiento local para renovar y sostener la cultura agrícola, y creó bosques para los cuales las personas tienen una sensación de administración, propiedad y orgullo.



**Conclusión:** Un desafío clave para la conservación en las regiones montañosas es ayudar a las personas a establecer vínculos entre los servicios de los ecosistemas forestales y la agricultura *antes* de que se eliminen los bosques. Sin embargo, en muchas de las regiones altamente deforestadas de los Andes, la restauración como una forma de complementar la agricultura tiene un potencial considerable para beneficiar a los agricultores rurales y para restaurar la biodiversidad. Debido a que la restauración de los bosques ayudó a las personas a comprender tanto su valor para la agricultura como el alcance del esfuerzo requerido para restaurarlos, este enfoque también es sinérgico con los esfuerzos para conservar y expandir los remanentes forestales existentes en otros microrrefugios.

**Agradecimientos:** En primer lugar, deseamos agradecer a la Conferencia Internacional sobre Diversidad de Plantas del Pasado, Cambio Climático y Conservación de Montañas por la oportunidad de presentar este trabajo en un lugar interdisciplinario y, en segundo lugar, a todas las personas que hicieron este trabajo realidad: botánicos Miguel Angel Chinchero, Jenny Elizabeth Correa, Gabriela Cruz y Carlos Morales; Jake Brennan por su ayuda con las entrevistas, comentarios y fotografía; Miriam Harder, Silvana Bolaños, Alonzo Andrenge y Carmen Navarette por su ayuda con las entrevistas; Carlos Zorilla, Joseph de Coux y Ana Mariscal por su ayuda con la información y el trabajo de campo. La investigación fue financiada por el Centro Internacional de Desarrollo e Investigación, el Consejo Nacional de Ciencia e Ingeniería de Canadá, les Fonds de Recherche du Québec - Nature et Technologie (FRQNT) y la Fundación Theo Hills.



**Figura 1.** Granjas y bosques en el valle de Intag en el noroeste andino de Ecuador. (Foto: Jake Brennan 2011).

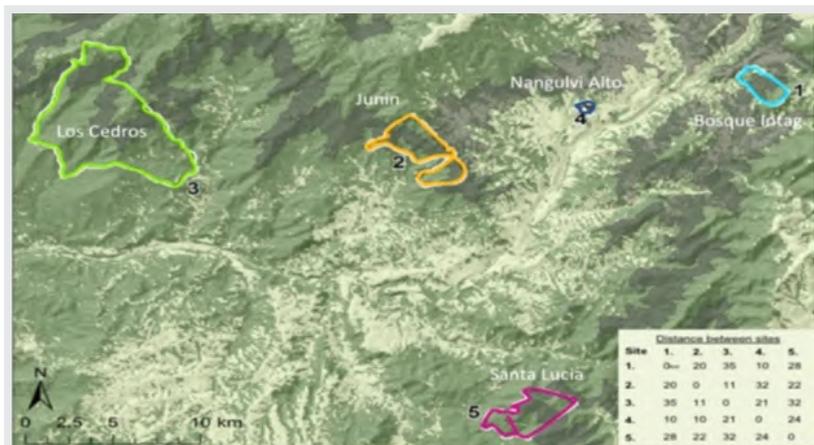


Figura 2. Cinco reservas primarias de bosque nublado en el noroeste de Ecuador. Las distancias entre los sitios se dan en la matriz en la esquina inferior derecha (Wilson y Rhemtulla 2018).

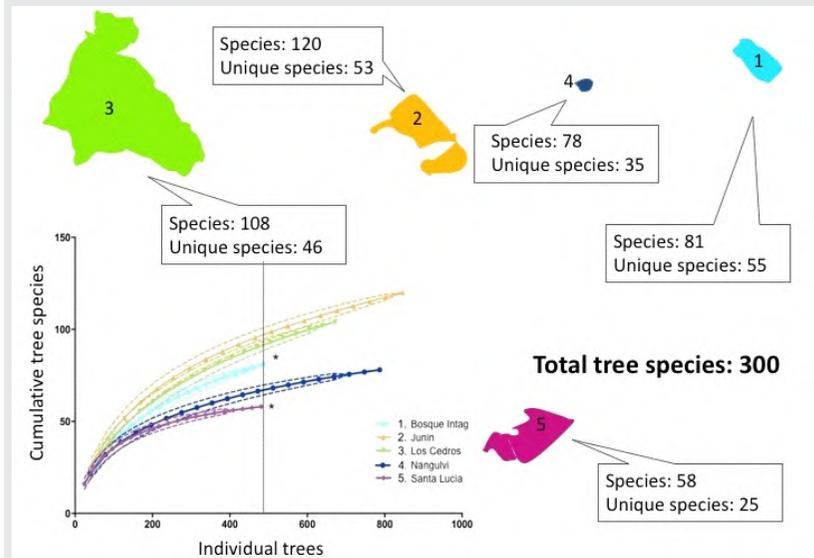
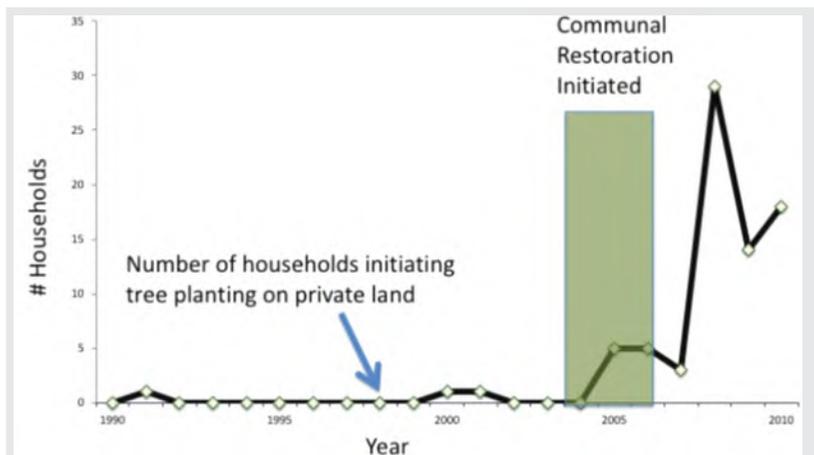


Figura 3. Cada bosque alberga muchas especies y muchas son únicas, conservando una parte exclusiva de la biodiversidad en esta región (Wilson y Rhemtulla 2018).



**Figura 4.** La cantidad de hogares que inician la siembra en terrenos privados cada año. La caja verde representa los años durante los cuales se iniciaron proyectos de plantación comunales en tierras comunales. Observe la alta tasa de adopción en terrenos privados después de la plantación de árboles por la comunidad (Wilson y Coomes 2019).



**Figura 5.** Trabajando para limpiar la hierba alrededor de árboles plantados en Intag, Ecuador. (Foto: Jake Brennan 2011).



¿Cómo poder armonizar la necesidad de recursos de la comunidad con la presión de mantener los remanentes de BTMN intactos? En general, el incremento de la productividad agrícola al intensificar las prácticas con tecnología moderna no es apropiado, principalmente por el relieve entrecortado y con grandes declives que presentan los flancos andinos. Por ello, la extensificación agrícola ha sido más bien la norma que se ha mantenido a lo largo de las décadas por la política de “expansión de la frontera agrícola” que tanto daño ha hecho al bosque “natural”. Si se requiere priorizar los remanentes pequeños en condición de microrrefugios como OECMs, se debería desincentivar la inversión en estos pequeños intentos de producción extensiva y orientar a la población hacia métodos no invasivos de producción, como por ejemplo las artesanías o las producciones culturales de tipo culinario o artístico, o restaurar las terrazas de cultivo y de pastoreo en las laderas abandonadas con andenerías ancestrales. Ellos generalmente se presentan dentro del enfoque de turismo sustentable.

En efecto, la mayoría de los casos de conservación y desarrollo incluyen al turismo como la panacea que podría generar los recursos que, de otra manera, vendrían de la tala del bosque (Sarmiento *et al.* 2020). Existen ejemplos a favor y en contra del esquema del turismo basado en la naturaleza como una alternativa única o exclusiva en los microrrefugios. Se plantea que las variadas manifestaciones turísticas se conjuguen en una oferta de opciones que sean ambientalmente amigables, como por ejemplo el agroturismo, el etnoturismo, el geoturismo, el turismo científico, el turismo culinario, el ecoturismo, el turismo de aventura, el turismo social, el turismo literario, etc. Como un ejemplo del marco conceptual con el que se puede vigorizar al turismo sustentable con la utilización de alimentos indígenas, incluimos el Recuadro 35.

***Recuadro 35: ¿Puede el turismo sustentable ayudar al cultivo de alimentos indígenas?:  
El potencial para una relación simbiótica sostenible***

**B. Bynum BOLEY**

Warnell Escuela Forestal y de Recursos Naturales. Universidad de Georgia, Athens, Georgia. EE.UU.

[bynum.boleyn@warnell.uga.edu](mailto:bynum.boleyn@warnell.uga.edu)

**Introducción:** Un tema de creciente preocupación entre la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y otros entes involucrados en la agricultura internacional es el aumento de la homogeneización de los cultivos agrícolas mundiales, lo que hace que muchos cultivos indígenas sean catalogados como cultivos en peligro de extinción (Bazile *et al.*, 2012; FAO, 2012; Nierenberg, 2013). Estos cultivos indígenas amenazados abarcan todos los continentes e incluyen cultivos como la quinua en América del Sur, el amaranto en África, la



naranja Ermelo en Europa, el frijol *mungo* en Asia y *el ñame* de la isla Lifou en Australia/Oceanía (ver Nierenberg 2014 para obtener una lista más completa).

Además de que es importante proteger estos cultivos indígenas, se ha propuesto que pueden ser importantes para ayudar a mitigar los impactos negativos del cambio climático. El Director General de la FAO, José Graziano da Silva, considera que estos cultivos descuidados son vitales para enfrentar el futuro desafío de seguridad alimentaria mundial debido a la capacidad que tienen estos cultivos indígenas para ayudar a los humanos a adaptarse a las condiciones climáticas cambiantes (FAO, 2012). Con estos desafíos en mente, existe la necesidad de más investigación centrada en los incentivos necesarios para alentar a los agricultores a cultivar cultivos autóctonos.

**Métodos y técnicas:** Una relación que podría ayudar a proporcionar los incentivos basados en el mercado necesarios para aumentar el cultivo de estos productos abandonados y en vías de extinción es la relación entre el turismo sostenible y los alimentos indígenas. Esta relación simbiótica surge de una tendencia en el turismo que se aleja del modelo fordista de turismo de masas enfocado en la estandarización y la homogeneización a una creciente demanda de experiencias auténticas integradas en todas las facetas geográficas únicas de las comunidades (Boley, Nickerson y Bosak, 2011; Sims, 2009).

Dentro de este cambio de paradigma se centra en lo que Soper (2007) llama "hedonismo alternativo". Según Soper (2007), el "hedonismo alternativo" canaliza la frustración de los consumidores con la naturaleza "inauténtica" de la vida moderna en comportamientos de viaje que buscan el conocer aspectos auténticos de las comunidades y que consumen lo más local posible (Soper, 2007 citado en Sims, 2009). Gran parte de este énfasis en las experiencias locales se centra en la gastronomía de una región (Armesto López y Martín, 2006; Bazile et al., 2012; Everett y Aitchison, 2008). Esto tiene implicaciones significativas para la producción de alimentos indígenas debido a la mayor demanda de productos indígenas y la naturaleza de cómo el turismo destruye la cadena de suministro al reducir la distancia (física, social y política) entre el consumidor y el productor.

**Resultados:** El tema propuesto analizará esta posible relación simbiótica entre el turismo sostenible y el cultivo de alimentos autóctonos. Esta relación simbiótica se centra en la manera en que estos incentivos basados en el mercado para las especialidades locales de alimentos fomentan un mayor cultivo de alimentos autóctonos, lo que a su vez aumenta la competitividad del destino porque su singularidad geográfica se ilumina mejor a través de las especialidades culinarias regionales cuyos alimentos no se pueden encontrar en ningún otro lugar del mundo.

**Conclusión:** Afortunadamente, hay una serie de otros resultados sostenibles asociados con el cultivo de productos indígenas. Estos resultados tangenciales incluyen el optar por el empoderamiento económico, político, social y psicológico de los agricultores, aumentar la seguridad alimentaria y sobre todo la soberanía alimentaria para mantener la diversidad biocultural. La charla concluirá con una discusión abierta con la audiencia sobre la manera en que este modelo simbiótico entre el turismo y el cultivo de productos indígenas podría aplicarse en los Andes.



A pesar de la importancia de conservar los bosques del flanco andino por los servicios ecosistémicos que ofrecen, cabe recalcar que a lo largo de la cordillera andina existen vestigios de civilizaciones que florecieron en estos ambientes, considerados hoy en día como inhóspitos e inimaginables para la supervivencia de grupos humanos. Esta es una equivocación adicional que permite afianzar la tesis de considerar a los flancos andinos como la quinta región geográfica en los países del hemisferio. La ubicación de sitios de patrimonio cultural ubicados en los BMTN de los flancos orientales o amazónicos es más estudiada y reconocida internacionalmente: sólo basta con mencionar *Machu Picchu* en Perú, la Ciudad Perdida en Colombia, o el asentamiento *Sangay* en Ecuador, para percatarnos del impacto de los yumbos, habitantes de los bosques nublados o 'yungas'. Muchos otros sitios están siendo estudiados también en el flanco occidental, hacia la costa pacífica, con asentamientos ancestrales de gran importancia como el territorio de la civilización *Yumbo* en Ecuador. El caso de *Kuelap* en Chachapoyas, Peru, confirma que las construcciones megalíticas monumentales no estaban concentradas exclusivamente en terrazas y andenerías, sino además en un sistema urbano adaptado a las condiciones rigurosas de defensa y de desarrollo agrícola y ganadero de estas regiones montañosas, que se encuentra en la encrucijada desarrollista del Antropoceno, requiriendo aproximaciones dinámicas, heterodoxas de conservación (Young y Duchicela 2020). De todas formas, el arte y la ciencia de la conservación de los BTMN en el flanco andino depende grandemente en la investigación participativa y en el consenso libre e informado de las comunidades de base para efectivizar la operación del microrrefugio (Sarmiento *et al.* 2018). Como ejemplo de la compleja transformación del paisaje del flanco oriental incluimos el recuadro 36 sobre el caso del río Quijos.

**Recuadro 36: La transformación del paisaje tropandino en la búsqueda de legados ecológicos en microrrefugios que permitan la sustentabilidad regenerativa**

**Jack RODRIGUEZ<sup>1</sup>, Fausto O. SARMIENTO<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Hoturis, Hotelería y Turismo. Hostería Cumandá, Jardín Etnobotánico Hermano. Baeza, Quijos, Ecuador. <sup>2</sup>Colaboratorio de Montología Neotropical, Departamento de Geografía, Universidad de Georgia. Athens, GA. 30602. EE.UU.

**Introducción:** La transformación del paisaje agrícola modificó los paisajes montañosos de Quijos de tres maneras: aproximación científica, inversión empresarial y participación comunitaria. La incidencia de disturbios y cambios ambientales implementada por diferentes actores se evidenció en 2020 con la desaparición de la cascada de San Rafael, el salto de agua más icónico del neotrópico. Recientemente la conservación de la cuenca del río Quijos se fusionó en un marco colaborativo de la “mancomunidad del agua” y la afirmación de los valores socioecológicos de los



baezanos, que habitan la “Muy Noble y Muy Leal Ciudad de Baeza de los Quijos”, patrimonio cultural del Ecuador. Con ellos buscamos comprender las tendencias de transformación del paisaje “rurbano” y las perspectivas de sustentabilidad del microrrefugio de diversidad cultural y biológica en el flanco andino amazónico.

**Metodología:** Utilizamos trabajo etnográfico, entrevistas personales, encuestas a la comunidad y consultas a autoridades; nuestros métodos incluyeron también análisis bibliométricos y de análisis crítico del discurso conservacionista. La técnica de investigación montológica congruente se enfocó en tres sectores de la economía que, postulamos, impulsaron estas transformaciones desde un pasado remoto, incluyendo ocupaciones culturales ancestrales, influencia indígena prehispánica, colonización mestiza colonial y explotación agrícola y forestal modernas en el valle del río Quijos, todo indicativo de un marco cada vez más agresivo, competitivo y globalizado de ecoturismo, agricultura y minería. Sin embargo, descubrimos que estos sectores también ayudaron a aliviar la pobreza en las comunidades locales, de modo que los intereses del ecoturismo, la agricultura y la minería podrían convertirse en factores de sustentabilidad, a pesar de que los gobiernos locales aún no han implementado plenamente un enfoque tan matizado con miras al desarrollo regenerativo.

**Conclusiones:** Concluimos que las nuevas narrativas de conservación se aplican de manera positiva, como por ejemplo en la Hostería Cumandá. Esta proporciona modelos para que las organizaciones de base incorporen la conservación de la naturaleza en sus esfuerzos de restauración ecológica; también proporciona estudios sobre especies de interés en el área; genera empleo y convierte un atractivo transitorio en un destino turístico nacional e internacional, favoreciendo de ésta manera la Mancomunidad del Agua, y la captación de turismo receptivo en el área. En la actualidad, Quijos es conocido por su imponente biodiversidad, por la potencia arqueológica y cultural de este patrimonio cultural y natural, y ofrece las condiciones óptimas del río Quijos para practicar kayak y rafting de primer nivel en los rápidos ritrales de los Andes, como puerta de entrada al Amazonas.

Para terminar este capítulo es importante recordar la frase del economista Leopoldo Khor, quien fuera profesor del autor del libro “Lo pequeño es hermoso” (Schumacher 1973) en donde se argumenta que la economía debería manejarse “como si la gente importase”. En el apogeo del movimiento ambientalista estadounidense, esta tendencia SIB (por las siglas en inglés “*small is beautiful*”) hacia lo local, hacia lo pequeño y hacia lo bello enfrentó graves críticas por parte de los practicantes de la economía global de mercado en donde el argumento BIB, (por las siglas en inglés “*bigger is better*”) generando una controversia que perdura hasta hoy, principalmente por dos olvidos graves: 1) la economía, pese al uso de fórmulas, estadísticas y algoritmos, **es y será una ciencia social**; al igual que la ecología, pese a sus raíces en la zoología, la botánica y la biología, en su esencia es una ciencia social. Las dos ciencias comparten el prefijo “*oikos*” —que no se refiere a la “casa” física (c.f., *andinidad*) sino al “hogar” de comportamiento afable (c.f., *andinancia*)— pero que se diferencian



fundamentalmente entre “*logos*” para estudio o tratado escolarizado y “*nomos*” para la aplicación o administración. 2) La existencia de avenidas epistemológicas que provienen **del saber científico y de los saberes ancestrales** que no siempre están en oposición y que ofrecen ontologías oximorónicas que han llevado a la separación de lo que se dio en llamar “historia natural” al complejo de la biota que no tiene nada de histórica ni de natural, separando la dimensión táctil y experimental del entendimiento espiritual o intuitivo (c.f., *andinitud*), al entender la montaña como paisaje sensible de experiencia noética y panóptica, de la geografía sagrada.

Con la implementación de este nuevo enfoque para la conservación del patrimonio biocultural tan diverso del paisaje tropandino, con el esquema de los microrrefugios como OECMs, se quiere enfatizar la posibilidad de usar el *trilema de Sarmiento* para efectivizar la transdisciplinaridad que la montología requiere para asegurar no solamente la permanencia de la naturaleza sino de la cultura, ambos con opciones de desarrollo sustentable, regenerativo.



# 10

*Me gusta andar por el monte, ése de una sola pieza.  
Hacer noche por el río y taparme con las estrellas...  
De mañana, campear rastros por senderos que descubren  
pezuñas de cabra arisca, cimarronas hasta el cruce...  
Hincar diente en los duraznos huachitos de las orillas  
y por voltear camuatices, cuerpearme con las avispas...*

*Me gusta andar por las sierras entre piedras corajudas,  
donde se prenden los soles y se resbalan las lunas.  
Donde recojen los brujos la luz de su medicina  
a fuerza de costurearse el cuero con las espinas...  
Donde deflecan los vientos rasguñados por garabatos  
y el barro duerme su siesta bajo una sombra de matos...*

*Me gusta andar por el monte, me gusta andar por las sierras;  
Ocasiones soy de barro, ocasiones de piedra.  
Cielo abierto nunca visto, tiempo abajo hecho cardón,  
cuatro abuelos guitarreros que entierra tu corazón  
Sobre tu siesta el coyuyo le dá su copla a su pai  
que duerme en la salamanca soñando en el carnaval*

*De noche muelen los grillos tu sueño en la oscuridad,  
mineritos de camino martillando en soledad...  
Sobre el cerro Salamanca el sol denesvó.*

*Emplumó pichones de águila blanca y el canto que canto yo...  
De mañana, cuando el monte cuenta todo su soñar  
el pasto moja la sombra del hachero y el zorzal...*

*De noche, cuando en el monte larga su llanto el llorón,  
el miedo de algún paisano le trepa el hipo...  
Cuando cante el río Suncho, Tulumba sabe temblar.  
Vaquita que encuentra a mano, seguro no vuelve más...*

Carlos Di Fulvio



Vertientes del cerro *Imbabura*, mostrando el mosaico del paisaje domesticado con microrrefugios remanentes de la selva de montaña, evidencias de quemas pasadas y recientes e indicios de la línea de árboles vertical dejada luego de la tala del bosque original del flanco andino. *Crédito fotográfico*: César Cotacachi, Ethnostek ([www.cesarcotacachi.wixsite.com](http://www.cesarcotacachi.wixsite.com)).





## Conclusión y discusión para la “quinta región”

Hemos revisado el estado del conocimiento de los flancos andinos para insistir en la reformulación de la clasificación geográfica tradicional de las regiones nacionales en los paisajes tropandinos. Hasta la actualidad, un criterio pragmático ha primado generado por una **cartografía neocolonial**, influenciada por los preceptos de clima y de segmentación dialéctica, motivada por la afirmación metageográfica de alto (zona de la sierra) o de bajo (zona de la costa); de temperatura (zona cálida) y de precipitación (zona umbría); y de bosque (zona de selva) o de erial (zona altoandina). Esta categorización metageográfica caduca del espacio andino había considerado casi inexistente a la región de las estribaciones andinas, en donde los piedemontes, los repliegues cordilleranos, los valles “colgantes”, los bolsones, las hoyas interandinas, las cañadas premontanas, los cañones montanos, la ceja de selva y yungas permanecen marginalizados como simples gradientes de ecoclinas biofísicos entre lo (alto) andino y lo (llano) **sea** amazónico o costero. Frecuentemente en los textos antiguos, la ecorregión ecotonal andina (EEA) fue simplemente restringida a una mera transición entre lo alto y lo bajo o entre la cubierta forestal y los pastizales.

Con el aporte de nuevas narrativas ecosociales y biogeográficas críticas, que se basan en la ecología política y la historicidad alternativa de la **nueva vena decolonial**, se ha reforzado la idea de considerar a los flancos andinos como una ecorregión en su propio derecho. Nunca más se podrá decir que Colombia, Venezuela, Ecuador o Perú tienen cuatro regiones naturales (i.e., sierra, costa, llanos e islas; sierra, costa, oriente y galápagos; y sierra, costa, selva e islas). En Ecuador, por ejemplo, con los esfuerzos por promocionar el país, tanto al turismo nacional cuanto al internacional, se ha dado en decir que el “*Ecuador es un país de cuatro mundos*” invitando a conocer estos “mundos” mediante turismo ecológico basado en la naturaleza prodigiosa de esas “cuatro regiones naturales”... ¡Esto es un error!

Este libro argumenta la necesidad de romper esa generalización arcaica que olvida o minimiza la importancia de la gran ecorregión tropandina, en donde los BTMN albergan la mayor concentración de diversidad biocultural, lo que ha convertido a las estribaciones y flancos cordilleranos como una ecorregión clave para el futuro incierto de climas cambiantes en un ambiente decolonizado. También es un error



olvidar que la visión dialéctica de la existencia –con el dilema de los extremos contrastantes– y la caracterización de regiones “naturales” han sido cuestionadas, ya que las geografías decolonizadas consideran a la naturaleza como un constructo social dialéctico, en donde se aplica el trilema de identidad andina. Al desechar el mito pristino (Denevan 1992; 2011) se ha abierto la consideración postmoderna de que las selvas tropandinas son resultantes “híbridos” de la “manufactura” del paisaje andino y su legado ecológico ancestral. La dicotomía entre *natura* y *cultura* ha abierto brecha en el polémico binario y hoy se accede a la consideración de *integración de la trifecta* de la naturaleza prístina pasada, la realidad ecosocial actual y el futuro transdisciplinario biocultural (Bussman 2006; Clement y Junqueira 2010; Sarmiento 2020c).

Por lo tanto, haciendo alarde de la sabiduría popular taurina, cuya moraleja dice que “*no hay quinto malo*”, clamamos en este capítulo que se incluya en los nuevos textos de ecología andina y en los libros de texto de geografía latinoamericana sobre las regiones naturales de los países andinos, esta nueva categorización de la zona de los flancos andinos como una ecorregión ecotonal andina (EEA) en su propio valor. Los flancos andinos ya no son más considerados meramente como una franja transicional que habrá que atravesar rápidamente o que habrá que sortear por tanta neblina, llovizna o aguaceros, deslaves o derrumbos que dificultan el tránsito entre la alta sierra y la baja costa o amazonía, o de los ‘*wayku*’ que amenazan la vida de las gentes. Los flancos andinos, sean costeros o amazónicos, constituyen una de las ecorregiones más significativas para la identidad del paisaje de los Andes tropicales. Su mismo nombre “*Andes*” denota una raíz castellanizada (Sarmiento *et al.* 2019) que alude a los *andenés* o *andenerías* de la cordillera general o ‘*ritisuyu*’, o sea uno de los atributos más sobresalientes del paisaje socioecológico productivo de la montaña.

En particular, el Ecuador no es el país de “los cuatro mundos” como reza el slogan oficial; debemos considerar al flanco andino como “*un quinto mundo*” que necesita ser descubierto, que deberá convertirse en destino para visita de cascadas y cuevas, de pozetas y farallones, de animales endémicos, de terrazas de andenerías y murallas con plantas adaptadas a las condiciones higrófilas y umbrófilas, y no simplemente como una zona de transición o mera gradiente altitudinal de rápida travesía. Como un ejemplo del cambio de paradigma requerido desde la narrativa de ecotono transicional hacia una ecorregión tropandina en sí misma, presentamos el Recuadro 37.



***Recuadro 37: De los microrrefugios y la montología a la genómica:  
hacia una ciencia transdisciplinaria de los estudios de montaña***

***Fausto SARMIENTO***

Colaboratorio de Montología Neotropical, Departamento de Geografía, Universidad de Georgia, Athens, Ga. EE.UU..  
*fsarmien\_at\_uga.edu*

**Introducción:** Las montañas ayudaron a la civilización como arquetipo, enmarcando metageografías sobre la dimensión vertical en las mentes de las personas y sus vías de desarrollo. Las metáforas de las montañas siguen guiando la mayoría de los esfuerzos socioculturales. Este desplome de paradigmas en el desvanecimiento geográfico postmoderno y post-estructural presenta la naturaleza como una construcción social, con paisajes y sistemas de producción socioecológica (SEPLS), en lugar de ser resultante de la geomorfología física por sí sola. Es entre estos dogmas científicos, sea de René Descartes o de Baruch Spinoza, que las montañas continúan como objetivos para la investigación geográfica.

**Métodos y técnicas:** Utilizando los aportes de la teoría crítica de la biogeografía, defendiendo la integración de los análisis o el conocimiento ecológico occidental (WEK) y el conocimiento ecológico tradicional e indígena (TEK) a favor de la montología. Con la ayuda de las aportaciones de las ciencias sociales al debate sobre el cambio climático, planteo modos alternativos y decoloniales para examinar las espacialidades bioculturales en las montañas, arrojando luz sobre la conservación, protección y recuperación del patrimonio biocultural y su diversidad.

**Resultados:** Los complejos dilemas ambientales y culturales reflejan un giro poscolonial en la forma en que entendemos los acoplamientos humano-ambientales y la territorialización del paisaje, esto hace que hacen que la región ecotónica de la línea de árboles sea particularmente susceptible a malas interpretaciones. Al reformular el valor de la franja de bosque nuboso se han roto los paradigmas prístinos y se acentúan las evidencias del legado ecológico que prima bajo el dosel de las laderas verdantes en las faldas y piedemontes andinos.

**Conclusión:** Propongo un marco de trilema en los Andes para superar los enfoques positivistas y reduccionistas para la investigación geoespacial, defendiendo que la cultura proporciona significado e impregna los fenómenos de las montañas con el carácter del paisaje y la esencia del lugar, a través de la arqueología del paisaje, la historicidad, el lenguaje, la ecología política, la estética y la poética, de una manera transdisciplinaria verdadera y de convergencia noética científica, permitiendo nuevos paradigmas de conservación para la protección de los sensibles paisajes montañosos.

**Agradecimientos:** Este trabajo es una contribución al proyecto VULPES, financiado por la Fundación Nacional de Ciencia de los Estados Unidos dentro del Foro de Belmont (grant NSF ICER-1624207).



Sabemos que la biodiversidad mundial está amenazada, especialmente en las zonas en donde la concentración de flora y fauna nativa son excepcionalmente significativas, constituyéndose en “Hotspots” (Brooks 2005) o puntos calientes. En muchos trabajos sobre la cuantificación de la biodiversidad en los “puntos calientes” se ha llegado a consensuar que la ecorregión de los Andes tropicales es la que tiene la mayor extensión de todas (1'542,644 Km<sup>2</sup>), de la cual se ha perdido las tres cuartas partes debido a la transformación del paisaje montano en campos de cultivo, ganadería extensiva, minería, transporte y urbanización, habiéndose reducido a tan solo unos 385,661 Km<sup>2</sup> en la actualidad (Brooks 2005). Es decir, contamos con una cuarta parte (25%) de la extensión original de esta ecorregión para poder aplicar programas de conservación y restauración que urgen para el desarrollo regenerativo y sustentable.

Con el cambio de paradigma hacia la conservación de paisajes patrimoniales bioculturales, la presencia de áreas protegidas de bosque andino remanente se ha vigorizado como “microrrefugios” de diversidad biocultural (Verschuuren 2012). La razón es muy sencilla: en estos microrrefugios se ejemplifica la labor cultural en la manufactura del paisaje híbrido entre cultura y natura en seis impulsores de cambio del paisaje; sea por: 1) respeto a sitios sagrados, 2) por cultivo de productos no forestales extraídos de la selva, 3) por la presencia de plantas de uso etnomedicinal, 4) por la función de guarida de la fauna nativa sobreviviente y a la flora nativa remanente y 5) por la afirmación del indigenismo de grupos ancestrales aún existentes en el área, sin olvidar 6) los servicios ecosistémicos, como la función de garantizar la captura y provisión del agua potable y de irrigación, así como la previsión de inversión de capital natural frente a imprevistos que requieran usar la madera o los otros recursos allí guardados, los microrrefugios son los centros en los cuales se incuba la regeneración de las condiciones previas al disturbio del cambio climático al que está expuesta la humanidad entera y, por ende, todos los sistemas socioecológicos de montaña en los trópicos. En la actualidad, se considera la montaña como la fuente de recursos mineros, especialmente de oro y cobre, y se practica la minería de la madera. ¡Esto también es un error! Con el cambio de narrativa noética y de consiliencia, se considera ya que el paisaje montano es un sistema socioecológico que no sólo importa por la presencia física de los recursos, sino también por el significado social, personal, religioso y cívico que imprime en sus ocupantes, tanto humanos cuanto no-humanos.

En este sentido, la priorización de un nuevo enfoque de conservación para el manejo territorial de la ceja de selva, o ceja de montaña, implica repensar la formulación del sistema nacional de conservación de áreas protegidas para incrementar la cobertura



de la *Categoría V* de la IUCN de paisajes protegidos, y la de establecer nuevas opciones como los otros métodos de conservación efectivos (OECMs) que incluirían los atributos físico-biológicos y geológicos (c.f., *andinidad*), los atributos socio-culturales y económicos (c.f. *andinancia*) y los atributos éticos, morales y de espiritualidad (c.f., *andinitud*), haciendo obvia la tendencia noética y transdisciplinaria de la montología en la integración dialéctica a través de las diferentes disciplinas convergentes o ángulos epistemológicos de consiliencia de la montología neotropical, en áreas protegidas no convencionales como son las reservas de la biosfera, los geoparques y los paisajes productivos socioecológicos de montaña (SEPLs).

Se espera que al acceder al conocimiento crítico de los BTMN en los paisajes tropandinos se forje una nueva cultura de valoración y querencia a los ambientes montanos y que se genere en la juventud una nueva e importante opción de sustentabilidad de montañas basada en los principios del desarrollo regenerativo. De nada servirá satisfacer los indicadores de las metas del desarrollo sustentable en el corto plazo, si aquellas se mantienen sin la posibilidad de recrearse, adaptándose a las condiciones de un clima cambiante, no solamente del clima meteorológico, sino —y muy especialmente— de las vagarías del clima religioso, del clima de inversión, del clima militarizador y armamentista, o del clima político corruptivo, y de las economías ilícitas de producción de cocaína y opio, que eventualmente influirán directamente en la sustentabilidad de los sistemas socioecológicos de montaña en un futuro cercano.

Por lo tanto, se plantea la invitación para que los jóvenes académicos y maestros andinos juntemos esfuerzos para la reclasificación geográfica regional y la obtención del reconocimiento tan esperado de los *Flancos Andinos* como una ecorregión en su propio derecho. Los estudiantes de hoy llegarán a ser los tomadores de decisión del mañana en menos de una década, y serán llamados a facilitar proyectos entendiendo la simbiosis intrínseca de los humanos con el paisaje andino (Sarmiento *et al.* 2021), e implementarán el nuevo paradigma de conservación de la diversidad biocultural patrimonial en microrrefugios, enfrentando los nuevos desafíos del cambio ambiental global.



# 11

*“Las hermosas playas de los caudalosos ríos del Oriente  
se prestan a celebrar alguna fiestas,  
especialmente cuando llega el jíbaro con sus canoas  
cargadas de sal que, una vez al año, trae de distantes montes...”*

*En la playa se ensancha el espíritu y se cuenta aventuras:  
las vividas, las oídas, las vistas y las imaginadas.  
Los jíbaros que viajan por los ríos tienen anchos ojos,  
lejana la mirada y muchas cosas que contar...  
En la playa se cambian obsequios, se come, se bebe, se baila.*

*Los desbordamientos de las aguas les cogen desprevenidos.  
En un día de sol, de mucha luz y calor, revienta el río  
y todo se pierde, y todo se va en el agua...  
Cierta vez reventó un río de ¡ochocientos metros de ancho!  
Las aguas subieron doce metros y rodaron desbordadas  
y embravecidas, llevándose kilómetros de selva de lado y lado;  
y cuando después de muchos días bajaron a su nivel,  
la playa quedó llena de lodo, de empalizadas,  
y al parecer, sin vida...”*

*Alberto Sarmiento*



Panorámica del anejo de San Fernando, dentro de la zona de influencia de la Reserva de la Biosfera del Macizo del Cajas, Ecuador, al occidente de la provincia del Azuay. Los retazos de bosque remanente sugieren la cobertura selvática extendida por toda la cuenca, hoy afectada por la explotación agrícola, ganadera, piscícola y florícola para la subsistencia de las comunidades aledañas, quienes se han beneficiado de los programas de ecoturismo y del fondo de servicios ambientales por la captura del agua para consumo en la ciudad de Cuenca. *Crédito fotográfico:* Fausto Sarmiento (Colaboratorio de Montología Neotropical/proyecto VULPES).





## Referencias bibliográficas

- Acosta-Solís, M. 1984. *Los Páramos Andinos del Ecuador*. Editorial Consejo Provincial de Pichincha, Quito.
- Acosta-Solis, M. 1976. *Vocabulario básico de fitoecología: rectificación terminológica de la obra Holdridge*. Instituto Ecuatoriano de Ciencias Naturales. Quito.
- Aguirre, N.A. 2010. *El cambio climático y la conservación de la biodiversidad en el Ecuador*. Universidad Nacional de Loja. Ecuador
- Aide, T.M., H.R. Grau, J. Graesser, M.J. Andrade-Nuñez, E. Aráoz, A.P. Barros, M. Campos-Cerqueira, E. Chacon-Moreno, F. Cuesta, R. Espinoza, M. Peralvo. 2019. Woody vegetation dynamics in the tropical and subtropical Andes from 2001 to 2014: Satellite image interpretation and expert validation. *Global Change Biology*, 25(6), 2112-2126.
- Åkesson, C.M., F. Matthews-Bird, M. Bitting, Ch-J. Fennel, W.B. Church, L.C. Peterson, B.G. Valencia, M.B. Bush. 2020. 2,100 years of human adaptation to climate change in the High Andes. *Nature: Ecology and Evolution* 4, 66–74.
- Allen, T.R., Walsh, S.J., Cairns, D.M., Messina, J.P., Butler, D.R., Malanson, G.P. 2004. Geostatistics and spatial analysis: characterizing form and pattern at the alpine treeline. *Geographic Information Science and Mountain Geomorphology*, pp.189-218.
- Anderson, E. P., J.A. Marengo, R. Villalba, S.R.P. Halloy, B.E. Young, D. Cordero, F. Gast, E. Jaimes, D. Ruiz Carrascal. 2017. Consecuencias del Cambio Climático en los Ecosistemas y Servicios Ecosistémicos en los Andes Tropicales. In: Herzog, S.K., R. Martínez, P.M. Jørgensen, H. Tiessen (editors). 2017. *Climate Change and Biodiversity in the Tropical Andes*. MacArthur Foundation, Inter-American Institute for Global Change Research, Scope.
- Appenzeller, T. 2019. Global warming has made iconic Andean peak unrecognizable. *Science*, 365 (6458), 1094-1097.
- Argañaraz, J.P., Pizarro, G.G., Zak, M., Landi, M.A., Bellis, L.M. 2015. Human and biophysical drivers of fires in Semiarid Chaco mountains of Central Argentina. *Science of the Total Environment*, 520, 1-12
- Armesto López, X.A. and Martin, B.G., 2006. Tourism and quality agro-food products: an opportunity for the Spanish countryside. *Tijdschrift voor economische en*



- sociale geografie*, 97(2),166-177.
- Babel, A., 2018. *Between the Andes and the Amazon: Language and social meaning in Bolivia*. University of Arizona Press.
- Baeid, C. 1999. *Polylepis* spp. en los Andes centrales: un análisis preliminar sobre cambios climáticos y el impacto de la actividad humana en su distribución. In: *Desarrollo Sustentable de Montañas: Entendiendo las Interfaces Ecológicas para la Gestión de Paisajes Culturales en los Andes*. Sarmiento, F and Hidalgo, J. (eds). Memorias del III Simposio Internacional de la Asociación de Montañas Andinas. Quito. Ecuador.
- Báez, S., Cuesta, F., Cáceres, Y., Arnillas, C.A., Vásquez, R. 2011. *Síntesis del conocimiento de los efectos del cambio climático en la biodiversidad de los Andes tropicales*. Serie Panorama Andino sobre Cambio Climático. CONDESAN, SGCAN. Lima-Quito.
- Bazile, D., Chia, E., Hocde, H., Negrete Sepulveda, J., Thomet, M., Nunez, L., Martinez, E.A. 2012. Quinoa heritage: an important resource for tourism experience. *Revista Geográfica en línea Valparaíso*, 46, 3-15.
- Boley, B.B., Nickerson N.P., Bosak, K. 2011. Measuring geotourism: Developing and testing the geotraveler tendency scale (GTS). *Journal of Travel Research*, 50(5), 567-578.
- Borsdorf, A., Marchant, C., Rovira, A., Sánchez, R. 2020. *Chile cambiando: Revisitando la Geografía Regional de Wolfgang Weischet*. Serie GeoLibros # 36. Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile e Instituto de Ciencias Ambientales y Evolutivas, Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile.
- Botkin, D. B. (1990). *Discordant harmonies: a new ecology for the twenty-first century*. Oxford University Press.
- Bowman, W.D., D.M. Cairns, J.S. Baron, T.R. Seastedt. 2002. Islands in the sky: Alpine and treeline ecosystems of the Rockies. *Rocky Mountain futures: An ecological perspective*. Island Press, Washington, DC.
- Brook, T. 2004. *Hotspots revisited: Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions*. Conservation International. CEMEX books on nature.
- Brown, J., N. Mitchel. M. Beresford (editors). 2005. *The Protected Landscape Approach: Linking Nature, Culture and Community*. World Conservation Union IUCN: Gland and Cambridge:
- Bruijnzeel, L.A., F.N. Scatena, L.S. Hamilton (editors). 2011. *Tropical montane cloud forests: science for conservation and management*. Cambridge University Press.



- Bruinjzeel, L.A. and L.S. Hamilton. 2000. *Decision time for cloud forests*. IHP Humid Tropics Programme Series, Num. 13. UNESCO-International Hydrological Programme.
- Bubb, P., I. May, L. Miles. 2004. *Cloud Forest Agenda*. UNEP-WCMC Biodiversity Series 20. Cambridge.
- Bush, M.B., A. Correa-Metrio, C. MacMichael, S. Sully, C. Shadik, B. Valencia, T. Guilderson, M. Steinitz-Kannan, J. Overpeck. 2016. A 6900-year history of landscape modification by humans in lowland Amazonia. *Quaternary Science Reviews*, 141, 52-64.
- Bussman, R. 2006. Manteniendo el balance de naturaleza y hombre: La diversidad florística andina y su importancia para la diversidad cultural – Ejemplos del Norte de Perú y Sur de Ecuador. *Amaltoa*, 13(2), 382-397.
- Buytaert, W., R. Célleri, De Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J., Hofstede, R. 2006. Human Impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews*, 79, 53-72.
- Cacho, I., J.O. Grimalt, C. Pelejero, M. Canals, F.J. Sierro, J.A. Flores, Shackleton, N.J. 1999. Dansgaard-Oeschger and Heinrich event imprints in the Alboran Sea paleotemperatures. *Paleoceanography* 14(6), 698-705.
- Carrión, A. and M.F.L. Sandoval. 2020. Emerging Geographies: Academic Communities, Research Agendas, and International Conferences in Ecuador and Bolivia. *Journal of Latin American Geography*, 19(1), 61-73.
- Cheddadi, R., N. Mhamma, F.O. Sarmiento. 2019. Past Plant Diversity Changes and Mountain Tree Species Conservation. *Past Global Changes PAGES Magazine*, 27(1), 36.
- Cheddadi, R., Henrot, A., François, L., Boyer, F., Bush, M., Carré, M., Coissac, E., De Oliveira, P., Ficetola, F., Hambuckers, A., Huang, K., Lézine, A.-M., Nourelbait, M., Rhoujjati, A., Taberlet, P., Sarmiento, F., Abel-Schaad, D., Alba-Sánchez, F., Zheng, Z. 2017. Microrefugia, climate change, and conservation of *Cedrus atlantica* in the Rif Mountains, Morocco. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 5, 114.
- Cheddadi, R., Araújo, M.B., Maiorano, L., Edwards, M., Guisan, A., Carré, M., Chevalier, M., Pearman, P.B. 2016. Thermal niches of three European tree species during the last millennia. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1581, 1-13
- Chepstow-Lusty, A.J. 2011. Agropastoralism and social change in the Cuzco heartland of Peru: A brief history using environmental proxies. *Antiquity*, 85, 570-582.
- Chepstow-Lusty, A.J., Bennett, K.D., Switsur, V.R., Kendall, A. 1996. 4000 years of human impact and vegetation change in the central Peruvian Andes—with events paralleling the Maya record? *Antiquity*, 70(270), 824-833.



- Church, W.B. and Von Hagen, A., 2008. Chachapoyas: Cultural development at an Andean cloud forest crossroads. In *The Handbook of South American Archaeology* (pp. 903-926). Springer, New York, NY.
- Church WB. 1996. *Prehistoric Cultural Development and Interregional Interaction in the Tropical Montane Forests of Peru Volume* (PhD dissertation, Yale University).
- Churchill, S. 1995. Introduction. In: Churchill, S., H. Balslev, E. Forero and Luteyn, J. (eds). *Biodiversity and Conservation of Neotropical Montane Forests*. The New York Botanical Garden, Bronx, NY
- Churchill, S., H. Balslev, E. Forero, J. Luteyn. (editors). 1995. *Biodiversity and Conservation of Neotropical Montane Forests*. The New York Botanical Garden, Bronx, NY: 702pp.
- Clement, C.R. and Junqueira, A.B. 2010. Between a pristine myth and an impoverished future. *Biotropica*, 42(5), 534-536.
- Córdoba, H. 2019. *Naturaleza y Sociedad: Una Introducción a la Geografía*. Fondo Editorial PUCP. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima.
- Cuesta, F., M. Peralvo, N. Valarezo. 2009. *Los bosques montanos de los Andes Tropicales*. Programa Regional ECOBONA-Intercooperation, P.R.
- Delibes, M., I. Castañeda, J.M. Fedriani. 2017. Tree-climbing goats disperse seeds during rumination. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15(4), 222-223.
- Denevan, W.M. 2011. The “pristine myth” revisited. *Geographical Review*, 101(4), 576-591.
- Denevan, W.M. 1992. The pristine myth: the landscape of the Americas in 1492. *Annals of the Association of American Geographers*, 82(3), 369-385.
- De Bièvre, B., Bustamante, M., Buytaert, W., Murtinho, F., Armijos, M.T., 2012. Síntesis de los impactos de los efectos del cambio climático en los recursos hídricos en los Andes Tropicales y las estrategias de adaptación desarrolladas por los pobladores. *Panorama Andino de Cambio Climático: Vulnerabilidad y Adaptación en los Andes Tropicales*; Cuesta, F., Bustamante, M., Becerra, MT, Postigo, J., Peralvo, J., Eds, 59-101.
- Dillehay, T.D., Calderón, G.A., Politis, G., de Moraes Coutinho, M.D.C., 1992. Earliest hunters and gatherers of South America. *Journal of World Prehistory*, 6(2), 145-204.
- Dinerstein, E., D. Olson, D. Graham, A. Webster, S. Primm, M. Bookbinder, Ledec, G. 1995. *A conservation assessment of the terrestrial ecoregions of Latin America and the Caribbean*. World Wildlife Fund and the World Bank. Washington D.C.



- Domic, A.I., Capriles, J.M., Escobar-Torrez, K., Santoro, C.M., Maldonado, A. 2018. Two Thousand Years of Land-Use and Vegetation Evolution in the Andean Highlands of Northern Chile Inferred from Pollen and Charcoal Analyses. *Quaternary*, 1(3), 32.
- Donoso-Correa, M.E and Sarmiento, F.O. 2019. Geospatial Memory and Joblessness interpolated: International migration oxymora in the city of Biblián, Southern Ecuador. *American Journal of Geographic Information System*, 8(2), 60-88.
- Ellenberg, H. 1979. Man's influence on tropical mountain ecosystems in South America. *Journal of Ecology*, 67, 401–416.
- Ellenberg H. 1958. Wald oder Steppe? Die natürliche Pflanzendecke der Anden Perus. *Umschau*, 645–681.
- Elliott, G.P. and Kipfmüller, K.F. 2010. Multi-scale influences of slope aspect and spatial pattern on ecotonal dynamics at upper treeline in the southern Rocky Mountains, USA. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 42(1), 45-56.
- Encalada, A. C., Flecker, A. S., Poff, N. L., Suárez, E., Herrera-R, G. A., Ríos-Touma, B., Anderson, E. P. 2019. A global perspective on tropical montane rivers. *Science*, 365 (6458), 1124-1129.
- Everett, S. and Aitchison, C., 2008. The role of food tourism in sustaining regional identity: A case study of Cornwall, South West England. *Journal of sustainable tourism*, 16(2), 150-167.
- F.A.O. 2012. *State of the World Agriculture*. United Nations Food and Agriculture Organization. Rome.
- Fausto, C. and E. Neves. 2017. Was there a Neolithic in the Neotropics? Plant familiarization and biodiversity in the Amazon. *Antiquity* 92 (366), 160-168.
- Forman, R.T. (1995). Some general principles of landscape and regional ecology. *Landscape Ecology*, 10(3), 133-142.
- Foster, P. 2001. The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests. *Earth-Science Reviews*, 55(1-2), 73-106.
- Frascaroli, F. and Fjeldsted, T. 2018. From Abstractions to Actions: Re-embodiment of the Religion and Conservation Nexus. *Journal for the Study of Religion, Nature and Culture*, 11(4), 511-534.
- Gade, D.W. 1999. *Nature and Culture in the Andes*. University of Wisconsin Press.
- Gade, D.W. 2015. *Spell of the Urubamba: Anthropogeographical essays on an Andean valley in space and time*. Springer.
- Gehrig-Fasel, J., Guisan, A., Zimmermann, N.E. 2007. Tree line shifts in the Swiss Alps: climate change or land abandonment? *Journal of Vegetation Science*, 18(4), 571-582.
- Gioda, A., Z. Hernández, E. Gonzáles, Espejo, R. 1995. Fountain trees in the Canary Islands: legend and reality. *Advances in Horticultural Science*, 9(3), 112-118.



- Guengerich, A. 2016. Traditional architecture as peopled practice at Monte Viudo, Chachapoyas, Peru. In *Vernacular Architecture in the Pre-Columbian Americas*, pp 61-82. Routledge.
- Guengerich, A. 2014. The architect's signature: The social production of a residential landscape in Monte Viudo, Chachapoyas, Peru. *Journal of Anthropological Archaeology*, 34, 1-16.
- Guengerich, A. and S. Berquist. 2020. Earthen terrace technologies and environmental adaptation in the montane forests of pre-Columbian northeastern Peru. *Journal of Field Archaeology*, 45 (3), 153-159.
- Günter, S., Gonzalez, P., Álvarez, G., Aguirre, N., Palomeque, X., Haubrich, F., Weber, M. 2009. Determinants for successful reforestation of abandoned pastures in the Andes: soil conditions and vegetation cover. *Forest Ecology and Management*, 258(2), 81-91.
- Haller, A. y D. Branca. 2020. Montología: una perspectiva de montaña hacia la investigación transdisciplinaria y el desarrollo sustentable. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(4), 313-322.
- Hamilton, L., J. Juvik, Scatena, F. (editors). 1994. The Puerto Rico Tropical Montane Cloud Forests Symposium: Introduction and workshop synthesis. *Ecological Studies*, 110, 1-23.
- Hamilton, L., J. Juvik, Scatena, F. (editors). 1993. *Tropical Montane Cloud Forests*. The East West Center. Honolulu: 284pp.
- Hernández, O. y Naranjo, L., 2007. Geografía del Piedemonte Andino–Amazónico. *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos. Colombia*.
- Herzog, S.K., R. Martínez, P.M. Jørgensen, H. Tiessen (editors). 2017. *Climate Change and Biodiversity in the Tropical Andes*. MacArthur Foundation, Inter-American Institute for Global Change Research, Scope.
- Himiyama, Y., Satake, K., Oki, T. 2020. *Human Geoscience*. Advances in Geological Science Series, Springer.
- Holdridge, L.R., 1967. Life zone ecology. *Life zone ecology*. Inter American Center for Agriculture IICA. Turrialba, Costa Rica.
- Hostettler, S., 2002. Tropical montane cloud forests: a challenge for conservation. *Bois et Forêts des tropiques*, 274(4), 19-31.
- Huber, O. and R. Riina. 1997. *Glosario Fitoecológico de las Américas*. UNESCO y Fundación Instituto Botánico de Venezuela. Ediciones Tamandúa, Caracas.
- Hudson, R. and D. Hanratty. 1989. *Bolivia: A country study*. Washington GOP for the Library of Congress.
- Huisman, S.N., Bush, M.B., McMichael, C.N. 2019. Four centuries of vegetation change in the mid-elevation Andean forests of Ecuador. *Vegetation History and Archaeobotany*, 1, 1-11.



- Ives, J.D. 2013. *Sustainable Mountain Development: Getting the Facts Right*. Himalayan Association for the Advancement of Science. Lalitpour, Nepal.
- Ives, J.D. 1999. Editorial. *Mountain Research and Development*, 19(2), 1-2.
- Jackson, S. T. and Williams, J. W. 2004. Modern analogs in Quaternary paleoecology: here today, gone yesterday, gone tomorrow. *Annual Review of Earth Planetary Sciences*, 32, 495–537.
- Jamelli, V., Flavier, V., Rabatel, A., Brunstein, D., Hoffmann, G., B. Francou. 2009. Fluctuations of glaciers in the tropical Andes over the last millennium and paleoclimatic implications: A review. *Paleogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology*, 281, 3-4, 269-282.
- Josse, C., Navarro, G., Encarnación, F., Tovar, A., Comer, P., Ferreira, W., Rodríguez, F., Saito, J., Sanjurjo, J., Dyson, J., Rubin de Celis, E., 2007. Sistemas ecológicos de la cuenca amazónica de Perú y Bolivia. *Clasificación y mapeo. NatureServe, Arlington*.
- Kakalis, C. and E. Goetsch. 20018. *Mountains, Mobilities and Movement*. Palgrave Macmillan imprint, Springer Nature.
- Kareiva, P., Watts, S., McDonald, R., Boucher, T. 2007. Domesticated nature: shaping landscapes and ecosystems for human welfare. *Science*, 316(5833), 1866-1869.
- Klein, J. A., Tucker, C. M., Nolin, A. W., Hopping, K. A., Reid, R. S., Steger, C., et al. 2019. Catalyzing transformations to sustainability in the world's mountains. *Earth's Future*, 7, 547–557.
- Knapp, G. 1991. *Andean Ecology: Adaptive Dynamics in Ecuador*. Westview Press, Boulder.
- Knoke, T., Bendix, J., Pohle, P., Hamer, U., Hildebrandt, P., Roos, K., Gerique, A., Sandoval, M.L., Breuer, L., Tischer, A., Silva, B. 2014. Afforestation or intense pasturing improve the ecological and economic value of abandoned tropical farmlands. *Nature communications*, 5(1), 1-12.
- Körner, C., 2012. *Alpine treelines: functional ecology of the global high elevation tree limits*. Springer Science & Business Media.
- Kooperman, G. J., Chen, Y., Hoffman, F. M., Koven, C. D., Lindsay, K., Pritchard, M. S., et al. 2018. Forest response to rising CO2 drives zonally asymmetric rainfall change over tropical land. *Natural Climate Change*, 8, 434–440.
- Kreft, H. and Jetz, W. 2010. A framework for delineating biogeographical regions based on species distributions. *Journal of Biogeography*, 37(11), 2029-2053.
- Laimer, H.J. 2017. Anthropogenically induced landslides—A challenge for railway infrastructure in mountainous regions. *Engineering geology*, 222 (1), 92-101.
- Larsen, M. C., and A. J. Torres-Sanchez. 1992. Landslides triggered by Hurricane Hugo in eastern Puerto Rico, September 1989. *Caribbean Journal of Science*,



- 28,113–125.
- Larsen, T.H., G. Brehm, H. Navarrete, P. Franco, H. Gómez, J.L. Mena, V. Morales, J. Argollo, L. Blacutt, V. Canhos. 2017. Extinciones impulsados por el cambio climático en los Andes Tropicales: Síntesis y Orientaciones. Pp 57-81. En: Herzog, S.K., R. Martínez, P.M. Jørgensen and H. Tiessen (editors). 2017. *Climate Change and Biodiversity in the Tropical Andes*. MacArthur Foundation, Inter-American Institute for Global Change Research, Scope.
- Lawton, R.O., R.M. Welch, R.A. Pielke Sr. 2003. Impact of land use on Costa Rican tropical montane cloud forests: Sensitivity of cumulus cloud field characteristics to lowland deforestation. *Atmospheres, Journal of Geophysical Research*, 108 (D7), 4206, 1-13.
- Ledo, A., Montes, F., Condes, S. 2009. Species dynamics in a montane cloud forest: Identifying factors involved in changes in tree diversity and functional characteristics. *Forest Ecology and Management*, 258, S75-S84.
- Levis, C., Costa, F.R., Bongers, F., Peña-Claros, M., Clement, C.R., Junqueira, A.B., Neves, E.G., Tamana, E.K., Figueiredo, F.O., Salomão, R.P, Castilho, C.V. 2017. Persistent effects of pre-Columbian plant domestication on Amazonian forest composition. *Science*, 355(6328), 925-931.
- López Gallego, C., Cárdenas, D., Velásquez-Tibatá, J., Rojas, A., Cogollo, Á., Idárraga, Á., Aristizábal, A., Villanueva, B., Tuberquia, D., Esquivel, H.E., Castro, J. 2019. *Atlas de la biodiversidad de Colombia*. Zamias. Bogotá.
- Loughlin, N.J., Gosling, W.D., Coe, A.L., Gulliver, P., Mothes, P., Montoya, E. 2018. Landscape-scale drivers of glacial ecosystem change in the montane forests of the eastern Andean flank, Ecuador. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 489, 198-208.
- Lozada, M.C. and H. Tantaleán. 2019. *Andean Ontologies: New Archeological Perspectives*. UPF University Press of Florida.
- Luteyn, J. L., and Balslev, H. (Eds.). 1992. *Páramo: an Andean ecosystem under human influence*. London, UK: Academic Press.
- Lynch, T.F., 1990. Glacial-age man in South America? A critical review. *American Antiquity*, 55(1), 12-36.
- Lyon, P.J. 1981. An Imaginary Frontier: Prehistoric Highland Lowland Interchange in the Southern Peruvian Andes. In: *Networks of the Past, Proceedings of the XII Chacmool Conference*, edited by P. Francis, F. Kense and P. Duke, pp. 3-18. University of Calgary Archaeological Association. Calgary.
- Lyons, W. 2019. Cloud Forests of Costa Rica: Ecosystems in Peril. *Weatherwise*, 72(3), 32-37.
- Malanson, G.P. and Resler, L.M. 2016. A size-gradient hypothesis for alpine treeline



- ecotones. *Journal of Mountain Science*, 13(7), 1154-116.
- Malanson, G.P., Butler, D.R., Fagre, D.B., Walsh, S.J., Tomback, D.F., Daniels, L.D., Resler, L.M., Smith, W.K., Weiss, D.J., Peterson, D.L., Bunn, A.G. 2007. Alpine treeline of western North America: linking organism-to-landscape dynamics. *Physical Geography*, 28(5), 378-396.
- Marsh, E.J. 2015. The emergence of agropastoralism: Accelerated ecocultural change on the Andean altiplano –3540-3120 cal BP. *Environmental Archaeology*, 20, 13-29.
- Martin, PH and Bellingham PJ. 2016. Towards integrated ecological research in tropical montane cloud forests. *Journal of Tropical Ecology*, 32(5), 345-54.
- Mathisen, I.E., Mikheeva, A., Tutubalina, O.V., Aune, S., Hofgaard, A. 2014. Fifty years of tree line change in the Khibiny Mountains, Russia: advantages of combined remote sensing and dendroecological approaches. *Applied Vegetation Science*, 17(1), 6-16.
- McMichael, C.H., Feeley, K.J., Dick, C.W., Piperno, D.R., Bush, M.B., 2017. Comment on “Persistent effects of pre-Columbian plant domestication on Amazonian forest composition”. *Science*, 358(6361), eaan8347.
- Miehe, G. and Miehe, S. 2000. Comparative High Mountain Research on the Treeline Ecotone under Human Impact: Carl Troll's "Asymmetrical Zonation of the Humid Vegetation Types of the World" of 1948 Reconsidered. *Erdkunde*, 34-50.
- Minga, D., Cordero, P., Donoso, M., Montesinos, K., Jimenez, M., Antaki, B., Sarmiento, F.O. 2019. The Uchuay microrefugium: an Interandean forest relict with an important arboreal richness in Southern Ecuador. *Pirineos, Journal of Mountain Ecology*, 174, 1-16.
- Möhl, P., Mörsdorf, M.A., Dawes, M.A., Hagedorn, F., Bebi, P., Viglietti, D., Freppaz, M., Wipf, S., Körner, C., Thomas, F.M., Rixen, C. 2019. Twelve years of low nutrient input stimulates growth of trees and dwarf shrubs in the treeline ecotone. *Journal of Ecology*, 107(2), 768-780.
- Montes, N. 2014. Geografía argentina para un lector imaginado. *Questión*, 1(41), 233-246.
- Muller, E. 2020. Regenerative development as natural solution for sustainability. Pp 201-218. In: Sarmiento, F.O. and L. Frolich (editors). *Elgar Companion of Geography, Sustainability and Transdisciplinarity*. Edward Elgar Publishers, London.
- Mulligan M., 2011. Modeling the tropics-wide extent and distribution of cloud forest and cloud forest loss, with implications for conservation priority. Pg. 14–38 en L. A. Bruijnzeel, F. N. Scatena & L. S. Hamilton (eds.), *Tropical montane*



- cloud forests: Science for conservation and management, Cambridge y New York: Cambridge University
- Myster, R. 2021. (Editor). *The Andean Cloud Forest*. Springer Nature. Switzerland/
- Myster, R. 2020. Disturbance and Response in the Andean Cloud Forest: a Conceptual Review. *Botanical Review*. <https://doi.org/10.1007/s12229-020-09219-x>
- Myster, R. and Sarmiento, F.O. 1998. Seed inputs to microsite patch recovery on two Tropandean landslides in Ecuador. *Restoration Ecology*, 6(1), 1-10.
- Nadkarni, N.M. and Solano, R. 2002. Potential effects of climate change on canopy communities in a tropical cloud forest: an experimental approach. *Oecologia*, 131(4), 580-586.
- Naess, A. 1989. Metaphysics of the Treeline. *The Trumpeter, Journal of Ecosophy* 6(2), 1-5.
- Nascimento, M.d.N., A.G. Laurenzi, B.G. Valencia, R. Van, M.B. Bush. 2018. A 12,700-year history of paleolimnological change from an Andean microrefugium. *The Holocene*, 29(2), 231-243.
- Nascimento, M.d.N., N.A.S. Mosblech, M.F. Raczka, S. Baskin, K.E. Manrique, J. Wilger, L. Giosan, M.B. Bush. 2020. The adoption of agropastoralism and increase in ENSO frequency in the Andes. *Quaternary Science Reviews*, 243, 106471.
- Naveh, Z., Lieberman, A., Sarmiento, F.O., Ghersa, C. 2002. *Ecología de Paisajes. Teoría y Aplicación. Edición de estudiantes*. Editorial Universitaria de Buenos Aires, EUDEBA. Argentina. Buenos Aires: 571pp.
- Nierenberg, D., 2014. The future of family farming: Empowerment and equal rights for women and youth. *The Food Think Tank Discussion*, 104, 1-8.
- Nierenberg, D., 2013. Agricultura: cultivando alimentos y soluciones. *Worldwatch Institute, The State of the World 2013: Is Sustainability Still Possible?*
- Odum, E.P. 1971. *Fundamentals of ecology*. Saunders and Co, Publishers.
- Odum, W.E., Odum, E.P., Odum, H.T., 1995. Nature's pulsing paradigm. *Estuaries*, 18(4), 547.
- Odum, E.P y Sarmiento, F.O. 1998. *Ecología: El Puente entre Ciencia y Sociedad*. MacGraw Hill/Editorial Interamericana. Mexico, DF.
- PDVSA. 1992. Imagen de Venezuela: Una vision espacial. Petróleos de Venezuela S.A., Editorial Arte, Caracas.
- Pearce, A.J., Beresford-Jones D.G., P. Heggarty. (editors) 2020. *Rethinking the Andes-Amazon divide: A cross disciplinary exploration*. University College of London Press: London.
- Pearsall, D.M. 2018. Plant domestication and the shift to agriculture in the Andes. Pp 105-120. In: Silverman, H., Isbell, W.H. (editors). *The Handbook of South American Archeology*. Springer, New York.



- Penney, D. and Oschendorf, J., 2015. *The Great Inka Road: Engineering an Empire*. Smithsonian Institution.
- Pitches, J. 2020. *Performing Mountains*. Palgrave Macmillan imprint, Springer Nature.
- Pinaya, J., F. Cruz, G. Ceccantini, P. Corrêa, N. Pitman, F. Vemado, M. Lopez, A. Pereira, C. Grohmann, C. Chiessi, N. Strikis, I. Horák-Terra, W. Pinaya, V. de Medeiros, R. Santos, T. Akabane, M. Silva, R. Cheddadi, M. Bush, A-J. Henrot, L. François, A. Hambuckers, F. Boyer, M. Carré, E. Coissac, F. Ficotola, K. Huang, A-M. Lézine, M. Nourelbait, A. Rhoujjati, P. Taberlet, F.O. Sarmiento, D. Abel-Schaad, F. Alba-Sánchez, Z. Zheng, P. de Oliveira. 2019. Brazilian montane rainforests expansion induced by Heinrich Stadial 1 event. *Nature: Scientific Reports*, 9. Article 17912.
- Pinos, J. and L. Timbe. 2020. Mountain riverine floods in Ecuador: Issues, challenges and opportunities. *Frontiers in Water*.
- Pulgar Vidal, J. 1987. *Geografía del Perú*. Editorial Novena, Lima: PEISA.
- Núñez-Cortés, Y., 2020. Voces de la “arqueología de protesta”: Arqueología Social Latinoamericana. *Cuadernos de Antropología*, 30(1), 1-10.
- Resler, L.M., 2006. Geomorphic controls of spatial pattern and process at alpine treeline. *The Professional Geographer*, 58(2), 124-138.
- Resler, L. and Sarmiento, F.O. 2016. *Mountain Geographies*. Oxford Bibliographies in Geography. Ed. Barney Warf. New York: Oxford University Press.
- Rivera, R.L. 2013. Delimitación de las regiones naturales de Colombia. Sociedad Geográfica de Colombia, Bogotá.
- Roberts, P., Hunt, C., Arroyo-Kalin, M., Evans, D., Boivin, N. 2017. The deep human prehistory of global tropical forests and its relevance for modern conservation. *Nature plants*, 3(8), 17093.
- Raczka, M.F., Mosblech, N.A., Giosan, L., Valencia, B.G., Folcik, A.M., Kingston, M., Baskin, S., Bush, M.B., 2019. A human role in Andean megafaunal extinction?. *Quaternary Science Reviews*, 205, 154-165.
- Rodiek, J. 1988. The evolving landscape. *Landscape and urban planning*, 16(1-2), 35-44.
- Romeo, R. 2019. Mountain Partnership. Celebrating International Day of Forests 2019. FAO. Rome. <https://www.un.org/en/observances/forests-and-trees-day>
- Rowe, S.J. 1995. Book Review: Discordant harmonies: a new ecology for the 21<sup>st</sup> Century. *The Trumpeter, Journal of Ecosophy*, 12(4), 1-10.
- Rozzi, R., 2004. Implicaciones éticas de narrativas yaganas y mapuches sobre las aves de los bosques templados de Sudamérica austral. *Ornitología Neotropical*, 15, 435-444.



- Sarmiento, F.O. 2021. Dynamics of Andean treelines: Between Cloud Forest and Páramo Geocritical Tropes. In: Myster, R. (Editor). *The Andean Cloud Forest*. Springer Nature. Switzerland.
- Sarmiento, F.O. 2020a. Montology Manifesto: echoes towards a transdisciplinary science of mountains. *Journal of Mountain Science*, 17(10), 2512-2527.
- Sarmiento, F.O. 2020b. Packing transdisciplinary critical geography amidst sustainability of mountainscapes. In: Sarmiento, F and L. Frolich (editors). *Elgar Companion of Geography, Transdisciplinarity and Sustainability*. Edward Elgar Publisher: London.
- Sarmiento, F.O. 2017. Syncretic farmscape transformation in the Andes: an application of Borsdorf's religious geographies of the Andes. Pp.35-53. In: Sanchez, R., Hidalgo, R. y Arenas, F. (Editors). *Re-conociendo las geografías de América Latina y el Caribe*. Pontifical Catholic University of Chile, Santiago.
- Sarmiento, F.O. 2016. Identity, imaginaries and ideality: understanding the biocultural landscape of the Andes through the iconic Andean lapwing (*Vanellus resplendens*). *Revista Chilena de Ornitología*, 22(1), 38-50.
- Sarmiento, F.O. 2013. Paisaje Cultural Patrimonial del Ecuador: Una Categoría de Manejo Territorial. pp. 31-43. In: Ministerio de Cultura y Patrimonio (Editor). *Paisajes Culturales: Reflexiones Conceptuales y Metodológicas*. Memorias del I Encuentro de Expertos. Cuenca, Ecuador.
- Sarmiento, F.O. 2012. *Contesting Páramo: Critical Biogeography of the Northern Andean Highlands*. Kona Publishing. Higher Education Division. Charlotte, NC.
- Sarmiento, F.O. 2010. Geomorphology of Natural and Human Induced Disasters in Ecuador. Pp 156-163. In: Latrubese, E. (editor). *Natural Hazards and Human-Exacerbated Disasters in Latin America*. Volume 13: Special Volumes in Geomorphology. Elsevier Science. 510pp.
- Sarmiento, F.O. 2002. Anthropogenic change in the landscapes of highland Ecuador. *Geographical Review*, 92(2), 213-234.
- Sarmiento, F.O. 2002b. Impulsores de cambio del paisaje: dinámica de las líneas de árboles en la montología neotropical. *Ecotrópicos*, 15(2), 129-146.
- Sarmiento, F.O. 2001. *Diccionario de Ecología de Paisajes, Conservación y Desarrollo Sustentable para Latinoamérica*. Editorial Abya-Yala, Quito. Ecuador.
- Sarmiento, F.O. 2000. Breaking mountain paradigms: Ecological effects on human impacts in man-aged tropandean landscapes. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 29(7), 423-432.
- Sarmiento, F.O. 1997a. The mountains of Ecuador as a birth place of ecology and



- endangered landscape. *Environmental Conservation*, 24(1), 3-4.
- Sarmiento, F.O., 1997b, January. The Quijos River Valley: A protected landscape as best management practice for conservation and development in Tropandean Ecuador. In *The George Wright Forum* (pp. 59-66). The George Wright Society.
- Sarmiento, F.O. 1997c. Arrested succession in pastures hinders regeneration of Tropandean forests and shreds mountain landscapes. *Environmental Conservation*, 24(1), 14-23.
- Sarmiento, F.O. 1996. El Lugar Natal de la Ecología. *Yungas*, 6(1), 7-8.
- Sarmiento, F.O. 1995a. The birthplace of ecology: tropandean landscapes. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 72(3), 104-105.
- Sarmiento, F.O. 1995b. Restoration of Equatorial Andes: The challenge for conservation of tropandean landscapes. pp. 637-651 In: *Biodiversity and Conservation of Neotropical Montane Forests*. Churchill, S., H. Balslev, E. Forero and J. Luteyn (editors). The New York Botanical Garden. Bronx, NY: 702pp.
- Sarmiento, F.O. 1995c. Naming and knowing an Ecuadorian landscape: A Case Study of the Maquipucuna Reserve. *The George Wright Forum*, 12(1), 15-22.
- Sarmiento, F.O. 1994. Human impacts on the cloud forests of the Upper Guayllabamba River, Ecuador. *Ecological Studies*, 110, 284-295.
- Sarmiento, F.O. 1987. *Desde la selva hasta el mar: Antología Ecológica del Ecuador*. Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales. Editorial Casa de la Cultura Ecuatoriana. Quito.
- Sarmiento, F.O. 1982. *Las Ecología y sus Leyes*. Publicaciones de la Sociedad Francisco Campos de Amigos de la Naturaleza. Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales, Quito. EC.
- Sarmiento, F.O., M. Oliva and S. Fernandez. (in press). Montology: Transformative frame for education about mountains. *Mountain Research and Development*.
- Sarmiento, F.O. and Frolich, L.M. (editors). 2020. *Elgar Companion of Geography, Transdisciplinarity and Sustainability*. Edward Elgar Publishers. London.
- Sarmiento, F.O., M.B. Bush, W. Church, P. Van Valkenburgh, M. Oliva, E. Delgado, S. Fernandez, N. Rojas. 2020. Mountain science poised to help ecotourism in Peruvian cloud forests. *PAGES* 28(1), 22-23.
- Sarmiento, F.O. and C. Cotacachi. 2019. Framing Cultural Ecosystem Services in the Andes: Utawallu runakuna as Sentinels of Values for Biocultural Heritage Conservation. *Satoyama Review*, 5(1), 25-40.
- Sarmiento, F.O. and Kooperman, G. 2019. A Socio-Hydrological Perspective on Recent and Future Precipitation Changes Over Tropical Montane Cloud Forests in the Andes. *Frontiers in Earth Sciences*. 7 (324), 1-6.



- Sarmiento, F.O., J.A. Gonzalez, E.O. Lavilla, M. Donoso, J.T. Ibarra. 2019a. Onomastic misnomers in the construction of faulty Andeanity and weak Andeaness: Biocultural Microrefugia in the Andes. *Pirineos, Journal of Mountain Ecology*, 174, 1-16.
- Sarmiento, F.O., J.T. Ibarra, A. Barreau, C. Marchant, J. González, M. Oliva, M. Donoso. 2019b. Montology: A research agenda for complex foodscapes and biocultural microrefugia in tropical and temperate Andes. *Journal of Agriculture, Food and Development*, 5, 9-21.
- Sarmiento, F.O. and Hitchner, S. (editors). 2019. *Indigeneity and the Sacred: Indigenous Revival and the Conservation of Sacred Natural Sites in the Americas*. Berghahn Books New York.
- Sarmiento, F.O. and X. Viteri O. 2015. Discursive Heritage: Sustaining Andean Cultural Landscapes Amidst Environmental Change. Taylor, K., A. St Clair & N.J. Mitchell (Eds). *Conserving Cultural Landscapes: Challenges and New Directions*. Routledge, New York.
- Sarmiento, F.O. and Frolich, L. 2012. From mindscapes to worldscapes: Navigating the ever-changing topography of sustainability. *Journal of Sustainability Education*, (3), 1-3.
- Sarmiento, F.O. and Frolich, L.M. 2002. Andean cloud forest tree lines. *Mountain Research and Development*, 22(3), 278-288.
- Sarmiento, F.O., M.B. Bush, W. Church, P. van Valkenburgh, M. Oliva, E. Delgado, S. Fernandez and N. Rojas. 2020. *PAGES*, 28(1), 22-23.
- Sarmiento, F.O., J.T. Ibarra, A. Barreau, C. Marchant, J. González, M. Oliva and Donoso, M. 2019a. Montology: A research agenda for complex foodscapes and biocultural microrefugia in tropical and temperate Andes. *Journal of Agriculture, Food and Development*. 5, 9-21.
- Sarmiento, F.O., J.A. Gonzalez, E.O. Lavilla, M. Donoso and Ibarra, J.T. 2019b. Onomastic misnomers in the construction of faulty Andeanity and weak Andeaness: Biocultural Microrefugia in the Andes. *Pirineos, Journal of Mountain Ecology* 174: 1-16,
- Sarmiento, F.O., J.T. Ibarra, A. Barreau, J.C. Pizarro, R. Rozzi, J.A. González and Frolich, L.M. 2017. Applied Montology Using Critical Biogeography in the Andes *Annals of the American Association of Geographers*, 107(2), 416-428. (Special issue on Mountains).
- Sarmiento, F.O., H. Romero, Messerli, B.H. 1999. The Andean Mountains Association, IGU and A. Von Humboldt on Mount Chimborazo. *Bulletin of the International Geographical Union*, 49(2), 161-164.
- Scheller, R.M., 2018. The challenges of forest modeling given climate change.



- Landscape Ecology*, 33(9), 1481-1488.
- Schoolmeester, T., M. Saravia, M. Andresen, J. Postigo, A. Valverde, M. Jurek, B. Alfhan, B., Giada, S. 2016. Outlook on Climate Change Adaptation in the Tropical Andes mountains. Mountain Adaptation Outlook Series. United Nations Environment Programme, GRID-Arendal and CONDESAN. Nairobi, Arendal, Vienna and Lima.
- Sims, R., 2009. Food, place and authenticity: local food and the sustainable tourism experience. *Journal of Sustainable Tourism*, 17(3), 321-336.
- Suárez, C.F., Naranjo, L.G., Espinosa, J.C., Sabogal, J. 2011. Land use changes and their synergies with climate change. *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)*, 141-151.
- Soper, K., 2012. Beyond the scarcities of affluence: An 'alternative hedonist' approach. *Architectural Design*, 82(4), 100-101.
- Sylvester, S.P., Sylvester, M.D., Kessler, M. 2014. Inaccessible ledges as refuges for the natural vegetation of the high Andes. *Journal of vegetation Science*, 25(5), 1225-1234.
- Shanahan, T. M., Mckay, N. P., Huguen, K. A, Overpeck, J. T., Otto-bliesner, B., Heil, C. W., ... Peck, J. 2015. The time-transgressive termination of the African Humid Period. *Nature Geoscience*, 8, 1–5.
- Stern, M. 1995. Vegetative recovery on earthquake triggered landslide sites in the Ecuadorian Andes. Pages 207–220 in S. Churchill, H. Balslev, E. Forerol, and J. Luteyn, editors. *Biodiversity and conservation of Neotropical montane forests*. The New York Botanical Garden, Bronx, and New York.
- Subramanian, S. M., Yiu, E., Dasgupta, R., Takahashi, Y., Deja, E., Dublin, D., Natori, Y., Sarmiento, F.O., Osei-Owusu, Y., Quintero-Ángel, A., San Vicente-Tello, A., Díaz-Varela, E., Díaz-Varela, R.A., Titumir, R. Al M., Karimova, P.G., Lee, K.C., Ojelel, S., Lacaste, A.V., Belegal, J.A.C., Edake, S., Guibrunet, L., Kubo, H., Nishi, M., R. Kozar. 2019. How multiple values influence decisions on sustainable use in socio-ecological production landscapes and seascapes. *Satoyama Review*, 5, 1-15.
- Subramanian S.M., Yiu E., Leimona, B., Villanueva A.B., E.R. Díaz-Varela, J-T. Chao, L-L. Lee, Tschentscher, T., Calispa Quinto, A.N., Dublin, D., Quintero, A., Orejuela, S., Wekesa, Ch., Sarmiento, F.O., Leles, B., Matsumoto, I., López-Casero, F., Takahashi, Y., R. Dasgupta. 2018. Enhancing effective area-based conservation through the sustainable use of biodiversity in socio-ecological production landscapes and seascapes (SEPLS). *Satoyama Review*, 4(1), 1-13.



- Taberlet, P., Bonin, A., Coissac, E., Zinger, L. 2018. *Environmental DNA: For biodiversity research and monitoring*. Oxford University Press.
- Taylor, B.R. 2010. *Dark green religion: Nature spirituality and the planetary future*. Univ of California Press.
- Tejedor, N., Arango-Caro, S., Espinoza, T.E.B., Ulloa, C.U., 2014. *A Regional Red List of Montane Tree Species of the Tropical Andes: Trees at the top of the world*. Botanic Gardens Conservation International.
- Tejedor N., Álvarez, E., Caro, S.A., Murakami, A.A., Blundo, C., Espinoza, T.B., Cuadros, M.L.T., Gaviria, J., Gutiérrez, N., Jørgensen, P.M., León, B., 2012. Evaluación del estado de conservación de los bosques montaños en los Andes tropicales. *Revista Ecosistemas*, 21(1-2), 148-166
- Tello, E. (ed). 2009. Ecuador, su realidad. Fundación José Peralta. Quito.
- Thompson, L.G., Mosley-Thompson, E., Grootes, P.M., Pourchet, M., Hastenrath, S., 1984. Tropical glaciers: potential for ice core paleoclimatic reconstructions. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 89(D3), 4638-4646.
- Tierney, J. E. Pausata, F. S. R., DeMenocal, P. B. 2017. Rainfall regimes of the Green Sahara. *Science Advances*, 3, 1–9.
- Tosi, J., 1980. Life zones, land use and forest vegetation in the tropical and subtropical regions. In *Carbon dioxide effects research and development program. The role of tropical forests on the world carbon cycle. A symposium held at the Institute of Tropical Forestry in Rio Piedras, Puerto Rico on March 19, 1980*. (pp. 44-64). United States Department of Energy..
- Troll, C. 1968. *Geo-ecology of the mountainous regions of the tropical Americas*. Ferd. Dümmlers Verlag, Bonn.
- Tucker, M.A., Böhning-Gaese, K., Fagan, W.F., Fryxell, J.M., Van Moorter, B., Alberts, S.C., Ali, A.H., Allen, A.M., Attias, N., Avgar, T., Bartlam-Brooks, H. 2018. Moving in the Anthropocene: Global reductions in terrestrial mammalian movements. *Science*, 359(6374), 466-469.
- Ugalde, M.F. (editora). 2017. *Volcanes, Cenizas y ocupaciones antiguas en perspectiva geoarqueológica en América Latina*. Estudios de Antropología y Arqueología 2. Ediciones Centro de Publicaciones PUCE.
- UNEP. 2016. *Outlook on climate change adaptation in the Tropical Andes mountains*. Series on Regional Climate Change Adaptation. CONDESAN. Vienna, Austria.
- Varela, L. 2008. La alta montaña del norte de los Andes: El páramo, un ecosistema antropogénico. *Pirineos, Revista de Ecología de Montaña* 163, 85-95.
- Verschuuren, N.S.B., 2012. Arguments for developing biocultural conservation approaches for sacred natural sites. In *Sacred Natural Sites* (pp. 88-98). Routledge.



- Vimeux, F., Sylvestre, F., Khodri, M. (editores). 2009. *Past climate variability in South America and surrounding regions: from the Last Glacial Maximum to the Holocene* (Vol. 14). Springer Science & Business Media.
- Vogel, M.A. 2012. *Frontier life in ancient Peru: the archaeology of Cerro la Cruz*. Gainesville: University Press of Florida.
- Vuolteenaho, J. 2009. Towards Critical Toponymies. In L. Berg, J. Vuolteenaho (editors), *Critical toponymies: the contested politics of place naming*.
- Wang, Y., Zhu, H., Liang, E., Camarero, J.J. 2016. Impact of plot shape and size on the evaluation of treeline dynamics in the Tibetan Plateau. *Trees*, 30(4), 1045-1056.
- Walker, J, H. 2012. Recent Landscape Archaeology in South America. *Archaeological Research*, 20, 309-355.
- Wang, C. 2005. Anthropogenic aerosols and the distribution of past large-scale precipitation change. *Geophysics Research Letters*, 42, 10876-10884.
- White, S. 2013. Grass páramo as hunter-gatherer landscape. *The Holocene*, 23(6), 898-915.
- Wilson, E.O. 1999. *Consilience: The Unity of Knowledge*. Vintage Books, Random House, New York.
- Wilson, S. J. and Coomes, O.T. (2019). 'Crisis restoration' in post-frontier tropical environments: Replanting cloud forests in the Ecuadorian Andes. *Journal of Rural Studies*, 67, 152-165.
- Wilson, S.J. and Rhemtulla, J.M., 2018. Small montane cloud forest fragments are important for conserving tree diversity in the Ecuadorian Andes. *Biotropica*, 50(4), pp.586-597.
- Yépez-Noboa, A. y León, E. 2015. *Serpientes y plumas ecuatoriano-peruanas: Una perspectiva desde el medio ambiente (ca. 100 AC-1000 DC)*. Estudios de Antropología y Arqueología I. Ediciones Centro de Publicaciones PUCE.
- Young, K.R. and Duchicela, S. 2020. Abandoning Holocene dreams: proactive biodiversity conservation in a changing world. *Annals of the American Association of Geographers*.
- Young, K.R. and Leon, B. 2006. Tree-line changes along the Andes: implications of spatial patterns and dynamics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 362(1478), 263-272.
- Young, K.R. and Lipton, J.K. 2006. Adaptive governance and climate change in the tropical highlands of western South America. *Climatic change*, 78(1), 63-102.
- Zonneveld, I.S., 1990. Scope and concepts of landscape ecology as an emerging science. In *Changing landscapes: an ecological perspective*. Springer, New York, NY.



# 12

*“Faldas de la montaña rasgadas  
por las uñas del tiempo,  
Pachamama herida...”*

*En los cerros se asoman  
muchas piedras blancas,  
marcando el entierro del pasado y futuro...*

*En el valle de pellejo y hueso  
el suelo se asienta al fondo,  
como la poca carne en un sancochado aguado...*

*En los adobes de la casa  
el serrano conserva su último suelo...  
Casas pegadas a un camino de polvo  
que lleva grano, carne e hijos,  
a la capital...”*

*Joshua Dickinson*



Panorámica entre Nuevo Tingo y el distrito Magdalena, de ruta hacia la zona arqueológica de *Kuelap* - Chachapoyas, en las cabeceras del río *Utcubamba*, en el departamento de Amazonas, Perú. Las quemadas continuas sugieren la continuación de una tradición de manejo extendida por toda la cuenca, que ha transformado el paisaje rural en un mosaico, haciendo que los flancos andinos otrora cubiertos de nuboselva, se muestren desprotegidos e invadidos por especies exóticas y prácticas de monocultivo. El legado ecológico ancestral subsiste en los microrefugios remanentes. *Crédito fotográfico*: Fausto Sarmiento (Colaboratorio de Montología Neotropical/proyecto VULPES).





## Coda

Emulando la tradición renacentista de terminar el concierto musical con una partitura de ritmo inesperado, con percusión insólita, de *tempo vivaz* y de convergencia catártica, presento mi coda bibliográfica como una invitación para reflexionar en que, sin importar cómo se la nombre, la ecorregión de los flancos andinos es un territorio ancestral de suma importancia que requiere ser (re)escrito como ecorregión en sí misma, en el palimpsesto que busca la identidad en la esencia del paisaje tropandino.

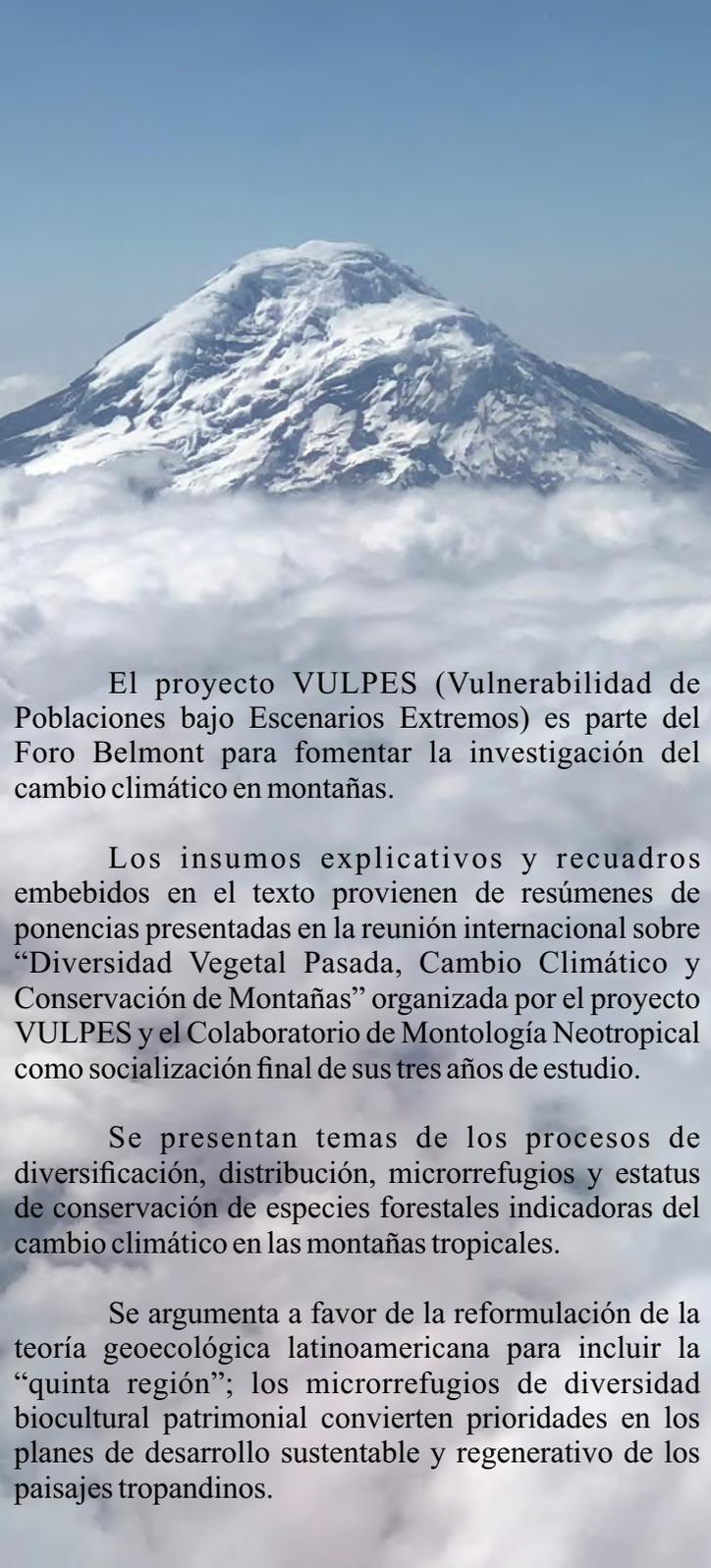
**FLANCOS ANDINOS  
FALDAS DE MONTAÑA  
ESTRIBACIONES CORDILLERANAS  
LADERAS VERDEANTES  
REGIÓN ANDINO-AMAZÓNICA  
REGIÓN CHOCO-ANDINA  
CONTRAFUERTES ANDINOS  
COLINAS PEDEMONTINAS  
PAISAJES TROPANDINOS  
BOSQUES MONTANOS ALTOS  
BOSQUES MONTANOS BAJOS  
SELVAS TROPANDINAS  
ABRAS FRONDOSAS  
CEJA DE SELVA  
NUBOSELVAS  
SELVA ALTA  
LOS YUNGAS  
LAS YUNGAS  
HÍLEA ANDINA  
CUENCAS MESOTÉRMICAS  
BOSQUES NUBLADOS  
BOSQUES NUBOSOS  
SELVA DE NEBLINA  
BOLSONES ANDINOS  
HOYAS HIDROGRÁFICAS  
ALOMADOS ALTOANDINOS  
ANTROPOFÍTIA HUMBOLDTIANA  
CAÑONES DE ANDENERÍAS  
ANDENES BOSCOSOS  
YUMBOLANDIA  
COLLADOS  
YUNGAL  
MONTE  
BMTN  
EEA**

**Foto portada posterior:**

Panorámica del paisaje transformado del valle interandino de San Gabriel, provincia del Carchi, al norte de Ecuador, donde se observa el helecho arborescente (*Cyathea andina*) como elemento remanente de una zona previamente saturada de biodiversidad montana. *Crédito fotográfico:* Larry Frolich.

**Foto solapa posterior:**

Panorámica del mar de nubes que rodea a la montaña más alta del mundo, *Chimburasu*, *Crédito fotográfico:* Elena V. Sarmiento (Colaboratorio de Montología Neotropical/VULPES)



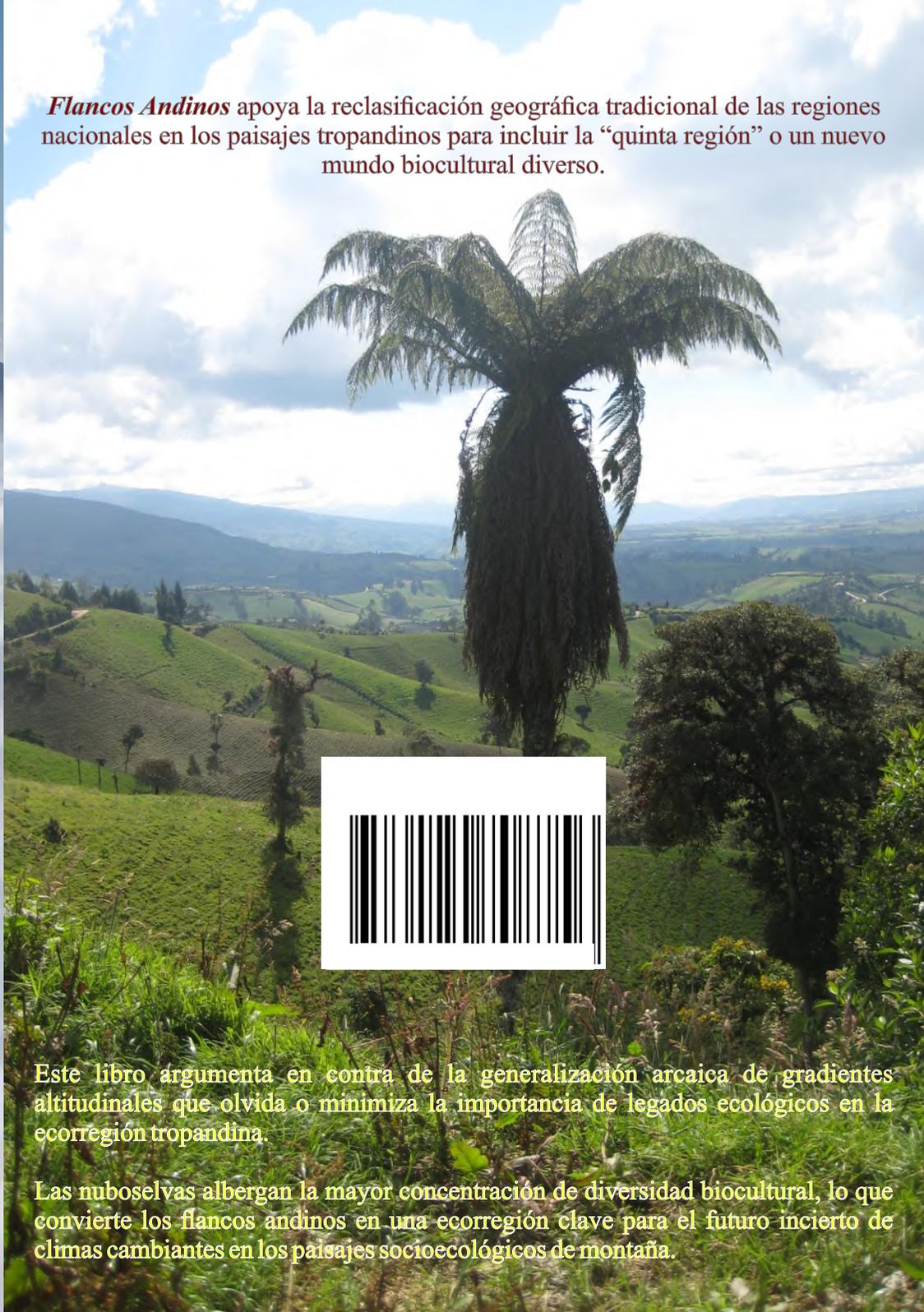
El proyecto VULPES (Vulnerabilidad de Poblaciones bajo Escenarios Extremos) es parte del Foro Belmont para fomentar la investigación del cambio climático en montañas.

Los insumos explicativos y recuadros embebidos en el texto provienen de resúmenes de ponencias presentadas en la reunión internacional sobre “Diversidad Vegetal Pasada, Cambio Climático y Conservación de Montañas” organizada por el proyecto VULPES y el Colaboratorio de Montología Neotropical como socialización final de sus tres años de estudio.

Se presentan temas de los procesos de diversificación, distribución, microrrefugios y estatus de conservación de especies forestales indicadoras del cambio climático en las montañas tropicales.

Se argumenta a favor de la reformulación de la teoría geocológica latinoamericana para incluir la “quinta región”; los microrrefugios de diversidad biocultural patrimonial convierten prioridades en los planes de desarrollo sustentable y regenerativo de los paisajes tropandinos.

***Flancos Andinos*** apoya la reclasificación geográfica tradicional de las regiones nacionales en los paisajes tropandinos para incluir la “quinta región” o un nuevo mundo biocultural diverso.



Este libro argumenta en contra de la generalización arcaica de gradientes altitudinales que olvida o minimiza la importancia de legados ecológicos en la ecorregión tropandina.

Las nuboselvas albergan la mayor concentración de diversidad biocultural, lo que convierte los flancos andinos en una ecorregión clave para el futuro incierto de climas cambiantes en los paisajes socioecológicos de montaña.