

Análisis de riesgo climático para el sector de Patrimonio Natural en Ecuador mediante la aplicación de modelos de impactos biofísicos

David Prieto, Angel Robles, Carmen Gonzalez Romero, Ángel G. Muñoz, Belen Linger, Jaime Cadena.

1. Antecedentes

El cambio y la variabilidad climáticos impactarán el equilibrio de la gran mayoría de los ecosistemas biológicos, especialmente aquellos altamente degradados y modificados por las actividades antrópicas (Pearce-Higgins et al., 2015). En Ecuador, las condiciones ambientales varían mucho en el espacio y esto ha generado regiones naturales con propiedades muy divergentes o diferentes entre si. La variedad de regiones naturales es uno de los factores que ha hecho que el Ecuador sea un país mega diverso y uno de los mayores centros de concentración de especies a nivel mundial. La definición de estas zonas se basa en la congruencia existente entre los patrones de distribución de especies "endémicas", lo cual sugiere historias evolutivas diferentes entre sus biotas debido a un aislamiento (por elementos geográficos como cordilleras) durante largos períodos (Udvardy, 1975). En el caso de las plantas vasculares, estas son un grupo importante tanto por dominar la mayor parte de los ecosistemas terrestres como por ser muy utilizadas por el hombre (Diazgranados et al., 2020). Por ello, y considerando su papel como agentes que determinan la distribución de comunidades enteras (Mayer & Rietker, 2004), predecir los futuros efectos del cambio climático en la distribución de especies se ha vuelto un tema prioritario de investigación (Pearson et al., 2019). Esto es especialmente importante en el caso de las especies endémicas considerando que la desaparición de algunas de estas implicaría la extinción global de las mismas.

2. Metodología

Para el desarrollo de este trabajo se usaron 7,099 registros validos proveniente del INABIO: 1724 especies en las provincias del país para el periodo 1973-2016; y 30,163 registros disponibles de en la GBIP: 2738 especies en las provincias del país entre los años 1973-2021. Para la depuración de datos y control de calidad, se usaron 29,728 registros históricos para 2,723 especies reportadas, dividiendo a Ecuador en cuadrados de 10x10km. En términos generales se tienen registros de especies en un 49,7% (n=1,646 celdas) de la superficie Terrestre del país. Solo en un 5,7% (n=188 celdas) de esta superficie muestreadas hay más de 40 datos. Se calcularon las especies vasculares en Ecuador que al menos tuvieran 7 puntos de datos (celdas) independientes para garantizar relevancia estadística al desarrollar modelos de distribución potencial. Por último, para entender que tanta representativo está siendo esos datos en relación con lo que debería ser con respecto a la biodiversidad complete del país, se realizaron curvas de diversidad de especies tanto a escala temporal (anual), como espacial. En términos generales, los modelos simulados indican que podemos conseguir entre 2750 y 3000 en el inventario florístico de especies endémicas y cuasi-endémicas del Ecuador. Los datos depurados

representan una efectividad casi del 90%, indicando un muestreo efectivo alto de la realidad del país, utilizando en este trabajo un número final de 606 plantas vasculares.

Considerando que la capacidad de dispersión de las especies puede afectar directamente el éxito de colonización de nuevas áreas de idoneidad en el futuro (Peterson et al., 2002; Prieto-Torres et al., 2016, 2020), para efectos de este trabajo se consideraron dos escenarios alternativos de dispersión potencial a la hora de analizar los impactos del cambio climático en los patrones de distribución de las especies. En el primero, denominado “no dispersión”, se asume que las especies simplemente no podrán dispersarse, por lo que en el futuro habitarán únicamente aquellas porciones de las áreas de distribución en el presente que siguen siendo climáticamente idóneas en los nuevos climas (es decir, son perdurables en el tiempo; Peterson et al., 2002). Por otro lado, en el escenario de “dispersión limitada” se asume que las especies podrán dispersarse a través de los hábitats continuos dentro de sus áreas de accesibilidad histórica o “M”, por lo que podrían ser capaces de colonizar nuevas áreas en el futuro, aunque en el corto plazo no podrían “superar” las barreras geográficas definidas por esta área “M” utilizada para la calibración del modelo (Atauchi et al., 2020; Prieto-Torres et al., 2020). En este sentido, la proporción de cambio (ganancia, pérdida o estabilidad) en las áreas de distribución para las especies en el futuro fue determinada mediante la comparación de los mapas binarios (presencia vs. ausencia) obtenidos tanto para el presente como cada uno de los escenarios futuros (Thuiller et al., 2005). Para evaluar la relación entre los cambios en las áreas de distribución de las especies con los valores de temperatura y precipitación estimados en cada escenario del futuro (años tipo 1 a 5), se determinaron los perfiles climáticos para las áreas predichas en el futuro como “pérdida” dentro de la distribución de las especies y se calculó la diferencia de valores entre los climas del presente y futuro (Cobos & Bosch, 2018; Atauchi et al., 2020). De esta manera, se identificó qué variables son las de mayor influencia en los cambios de distribución estimados para las especies en el futuro. Así mismo, para cada especie, se calculó la proporción de área climáticamente estable, es decir aquellos sitios que permanecen como idóneos en todos los escenarios climáticos analizados (Collevatti et al., 2013).

De cara a la variación climática en el territorio nacional, se tuvo en cuenta la temperatura mínima de la temporada más fría [tn_cold] y la precipitación de la temporada más seca [prtot_dr] como variables en la elaboración de los modelos para las especies, las cuales han sido definidas como importantes y como factores significativos limitantes en los patrones de distribución geográfica de las plantas (Reyer et al., 2013; Letten et al., 2013; Moles et al., 2014; Prieto-Torres & Rojas-Soto, 2016; Leão et al., 2021). Para determinar las variaciones climáticas (diferencias) y de riqueza de especies, se compararon los valores correspondientes observados en los mapas del presente con los estimados para cada escenario de futuro (año típico). Las áreas de inestabilidad (alta variación) y estabilidad (poca o nula variación) climática se definieron considerando los valores absolutos de estas variaciones (McDonald-Spicer et al. 2019; Arango et al. 2021). Además, se utilizó la información de elevación proveniente de la capa del modelo digital de elevación disponible en el portal web del proyecto Worldclim (<https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html>). De esta manera, la información ambiental utilizada (alteraciones climáticas y topografía) permitió evaluar si la proporción de cambio (ganancia vs. pérdida) observado en la riqueza de especies para los escenarios climáticos futuros corresponde de hecho a zonas con pisos altitudinales particulares, con claras tendencias o no a incrementar los valores de sequía y temperatura (Lovejoy & Hannah, 2019; Prieto-Torres et al., 2021).

3. Discusión de Resultados

Como consecuencia de las modificaciones del clima en el futuro, se observaron importantes reducciones en los patrones de distribución geográfica de la mayoría de las especies de plantas vasculares endémicas y casi endémicas de Ecuador. De acuerdo con los valores obtenidos para las áreas de distribución potencial de las especies en el futuro, se observó que — indiferentemente del supuesto de dispersión para las especies— para el año típico uno (FY1) las estimaciones muestran que es posible que la superficie del territorio con condiciones de idoneidad para al menos 12 especies (*Aechmea drakeana*, *Bouteloua disticha*, *Bunchosia phaeocarpa*, *Burmeistera sodiroana*, *Ceroxylon amazonicum*, *Corytoplectus cutucuensis*, *Cynophalla ecuadorica*, *Macrocarpaea bubops*, *Nautilocalyx vinosus*, *Rhodospatha parvifolia*, *Shuaria ecuadorica*, y *Symbolanthus jasonii*) sufran una reducción total, por lo que podrían darse casos de extinción de estas especies. No obstante, este es un hecho que únicamente ocurrió para el FY1, dado que en el resto de los escenarios (años típicos 2-5) todas las especies mostraron valores de predicción (aunque con reducciones generales) en los años futuro.

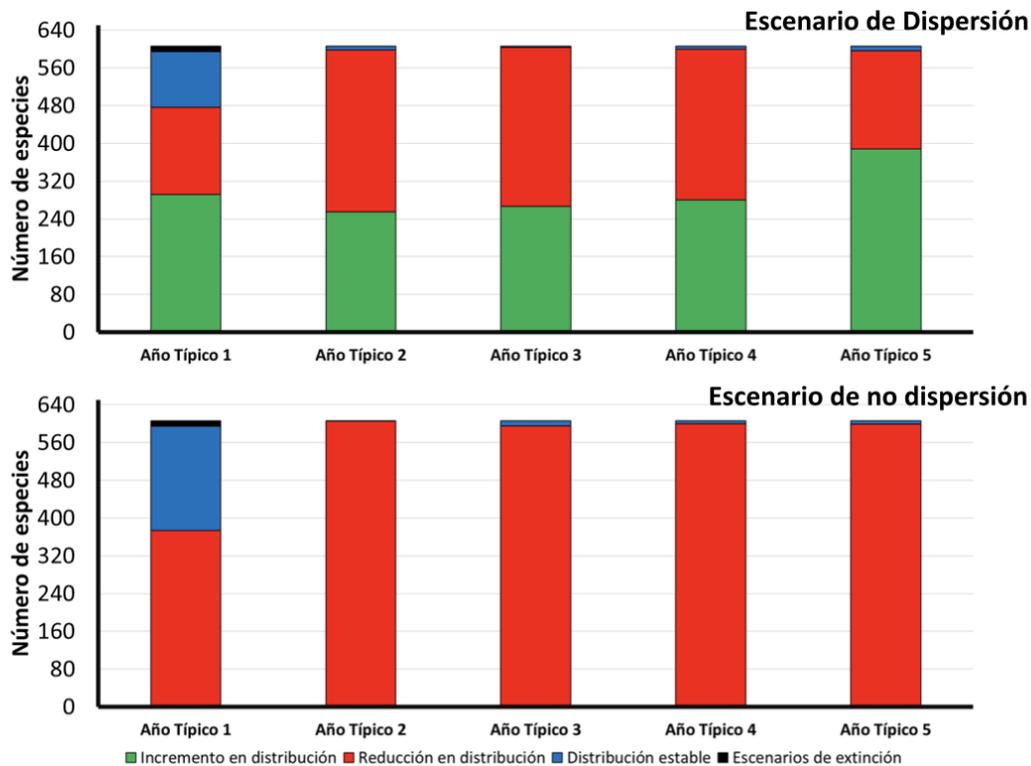


Figura 1. Proporción de especies de plantas vasculares endémicas y casi endémicas del Ecuador reportadas en cada uno de los tipos de impactos observados en los escenarios climáticos futuros para los cinco años típicos del 2020-2050 considerando los dos supuestos de dispersión para las especies.

Para los casos analizados bajo el supuesto de dispersión de las especies, los modelos mostraron que, en promedio un 58.4% ($n = 354$) de las plantas podrían experimentar un incremento potencial (en promedio de ~13%) de las superficies de idoneidad ambiental en el futuro en cualquiera de los cinco años típicos. Para el año típico FY1, un 48.2% ($n = 292$) de las especies mostraron tendencias a incrementar su superficie de distribución, mientras que un 19.5% ($n = 118$) no se vería afectado de ninguna manera y 32.3% ($n = 197$) podrían sufrir

impactos negativos (reducciones) en el futuro. Los valores observados en los modelos para las estimaciones del año típico FY2 sugieren que un 56.6% (n = 343) de las especies podrían sufrir impactos negativos en el futuro, un 42.1% (n = 255) incrementarían su superficie de distribución y sólo 1.3% (n = 8) no sufrirían ningún tipo de efecto. Para el año típico FY3 un 44.1% (n = 267) de las especies mostraron tendencias a incrementar su superficie de distribución dadas las nuevas condiciones climáticas en el futuro, mientras que 55.5% (n = 336) de las especies mostraron una reducción de su distribución. Además, los valores observados para los años típicos FY4 y FY5 sugieren que un 56.6% (n = 320) y 34.3% (n = 208) de estas plantas vasculares analizadas, respectivamente, podrían sufrir impactos negativos en el futuro. Para estos dos últimos escenarios climáticos (FY4-FY5), los resultados muestran que un 46.2% (n = 280) y 64.0% (n = 388) de las especies, respectivamente, podrían incrementar su superficie de distribución al asumir la hipótesis de capacidad de dispersión a nuevos sitios en el futuro.

Por el contrario, bajo la hipótesis de no dispersión en el futuro, los modelos obtenidos mostraron que, en promedio, un 46.5% (n = 282) de las especies podrían experimentar importantes reducciones (en promedio mayores al 17%) de sus superficies de idoneidad ambiental predichas, mientras que un 25.7% (n = 156) de las especies mostrarían reducciones menores a un 5% de su superficie predicha en el futuro, en comparación con el presente. Para el año típico FY1, un 36.3% (n = 220) de las especies podría no verse afectado directamente por las condiciones climáticas futuras, mientras que un 63.7% (n = 386) podrían sufrir reducciones (incluso extinción) en sus áreas de idoneidad. Para el año típico FY2, los modelos obtenidos sugieren que un 99.9% (n = 605) de las especies podrían sufrir impactos negativos en el futuro. Para los años típicos FY3-FY5, los modelos mostraron que el número de especies que podrían ser impactadas directamente en el futuro por las nuevas condiciones climáticas es sólo el 1.8% (n = 11), 0.9% (n = 6) y 1.2% (n = 7), respectivamente.

En el futuro, se observa que los patrones espaciales de riqueza de especies de plantas vasculares endémicas y casi endémicas del Ecuador podrían ser afectados directamente por las nuevas condiciones climáticas. Los mapas confirman que, indiferentemente del año típico analizado y el supuesto de dispersión considerado, las áreas de alta concentración de especies en el futuro se mantendrán igualmente en las provincias administrativas de Napo, Pichincha, Azuay, Chimborazo, Morona-Santiago, Cotopaxi y Loja. No obstante, se observan importantes cambios en el valor promedio de riqueza de especies por sitio y en las áreas de alta concentración de especies.

Bajo los supuestos de capacidad de dispersión, los modelos mostraron que las áreas de alta concentración de especies podrían incrementar su extensión geográfica en cuatro de los escenarios climáticos analizados: FY1 (120,400 km²; +46.0%), FY2 (85,400 km²; +3.6%), FY3 (88,725 km²; +7.6%) y FY5 (85,975 km²; +4.3%). Solo en el escenario FY4 se observó una tendencia de reducción en la superficie de estas áreas de alta concentración de especies: FY4 (82,125 km²; -0.4%). Además, en promedio, un 24,9% de la superficie de estas áreas de alta riqueza está incluida en algún área natural protegida: FY1 (24.95%), FY2 (26.55%), FY3 (25.78%), FY4 (24.74%) y FY5 (25.82%). No obstante, es importante observar que los valores de riqueza de especies por sitio tienden a incrementar únicamente para el escenario FY1 (136.3 ± 99.6 spp./sitios), dado que se espera un incremento, en promedio, de 19.1 ± 20.8 spp. por sitio en comparación al presente. Una tendencia contraria fue observada para el resto de los años: FY2 (116.9 ± 85.6 spp./sitios), FY3 (118.8 ± 84.0 spp./sitios), FY4 (113.0 ± 88.2 spp./sitios) y FY5 (118.7 ± 87.5 spp./sitios).

Por otro lado, si consideramos que las especies podrían no tener la capacidad de desplazarse ni colonizar nuevos lugares en el futuro ante las modificaciones climáticas estimadas, los modelos muestran que las áreas de alta concentración de especies podrían reducir considerablemente su extensión geográfica en los cinco escenarios climáticos analizados: FY1 (74,075 km²; -10.16%), FY2 (68,875 km²; -16.46%), FY3 (71,600 km²; -13.16%), FY4 (66,975 km²; -18.77%) y FY5 (78,500 km²; -4.79%). Además, del remanente de estas áreas de alta riqueza, en promedio, un 27.89% de la superficie está incluida en algún área natural protegida: FY1 (28.32%), FY2 (29.40%), FY3 (27.16%), FY4 (27.39%) y FY5 (27.19%). Asimismo, es importante observar que los valores de riqueza de especies por sitio a lo largo del territorio nacional también podrían tender a disminuir considerablemente en todos los años típicos: FY1 = 114.77 ± 84.31 spp./sitios; FY2 = 109.00 ± 80.74 spp./sitios, FY3 = 108.63 ± 78.13 spp./sitios, FY4 = 106.70 ± 81.96 spp./sitios, y FY5 = 112.12 ± 83.05 spp./sitios.

4. Conclusiones

Biogeográficamente las provincias más impactadas negativamente (es decir, reducción en el número de especies) por el cambio climático futuro son los Andes del Norte y la Amazonía Noroccidental. En cuanto a las ANPs de Ecuador, se observó que estas cubren en promedio aproximadamente un 25.06 ± 25.99% de las áreas de distribución de las especies en el presente. Sin embargo, una alta proporción (20.8%; n = 126) de las especies tienen <10% (es decir, bajos valores de representatividad) de sus distribuciones dentro de las ANPs. De hecho, solo un 10.56% (n = 64) de las especies tienen al menos 30% de su distribución dentro de alguna categoría de protección en el sistema nacional. Por otro lado, para los escenarios climáticos del futuro se observó que estas ANPs podrían —independientemente del supuesto de dispersión— mostrar reducciones tanto en la superficie (extensión en km²) como de proporción (%) de las áreas de distribución de las especies que en efecto permanecería protegidas.

Los resultados acá obtenidos coinciden con la ampliamente aceptada idea de que en el siglo XXI se podrían producir cambios negativos significativos en los patrones de distribución de la biota neotropical como consecuencia del cambio climático (Golicher et al., 2012; Lovejoy & Hannah, 2019). De hecho, las tendencias observadas para estas 606 especies de plantas vasculares endémicas y casi endémicas del Ecuador han sido igualmente reportadas para otros grupos taxonómicos a lo largo de la región andina (Agudelo-Hz et al., 2019; Atauchi et al. 2020) y a nivel nacional recientemente (Freeman et al., 2018; Prieto-Torres et al., 2020, 2021; de Meyer et al., 2022; Kleemann et al., 2022). Para todos estos casos se estiman igualmente reducciones significativas de las áreas de idoneidad para las especies en el futuro, incluyendo un desplazamiento altitudinal hacia tierras altas.

Bibliografía

- Agudelo-Hz, WJ, N Urbina-Cardona & D Armenteras-Pascual (2019) Critical shifts on spatial traits and the risk of extinction of Andean anurans: an assessment of the combined effects of climate and land-use change in Colombia. *Perspectives in Ecology and Conservation* 17: 206-219.
- Atauchi, P.J., Auca-Chutas, C., Ferro, G., Prieto-Torres, D. A. 2020. Present and future potential distribution of the endangered *Anairetes alpinus* (Passeriformes: Tyrannidae) under global climate change scenarios. *J. Ornithol* 161, 723-738.

Cobos, M.E & Bosch, R.A (2018) Recent and future threats to the Endangered Cuban toad *Peltophryne longinasus*: potential additive impacts of climate change and habitat loss. *Oryx* 52: 116-125

Collevatti, R., Lima, R.M., Diniz, F. J., Oliveira, G., Dobrovolski, R. & Terribile, L. (2013). Stability of Brazilian seasonally dry forests under climate change: Inferences for long-term conservation. *American Journal of Plant Sciences* 04: 792-805

Diazgranados, M., Allkin, B., Black, N., Cámara-Leret, R., Canteiro, C., Carretero, J., ... & Ulian, T. (2020). World checklist of useful plant species. Doi: doi.org/10.5063/f1cv4g34.

Freeman, B. G., Scholer, M. N., Ruiz-Gutierrez, V., & Fitzpatrick, J. W. (2018). Climate change causes upslope shifts and mountaintop extirpations in a tropical bird community. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115, 11982-11987

Golicher, D.J., Cayuela, L., & Newton, A.C. (2012). Effects of climate change on the potential species richness of Mesoamerican forests. *Biotropica*, 44, 284-293.

Kleemann, J., Koo, H., Hensen, I., Mendieta-Leiva, G., Kahnt, B., Kurze, C., ... & Fürst, C. (2022). Priorities of action and research for the protection of biodiversity and ecosystem services in continental Ecuador. *Biological Conservation*, 265, 109404

Leão, T. C., Reinhardt, J. R., Nic Lughadha, E., & Reich, P. B. (2021). Projected impacts of climate and land use changes on the habitat of Atlantic Forest plants in Brazil. *Global Ecology and Biogeography*, 30(10), 2016-2028.

Letten, A. D., Ashcroft, M. B., Keith, D. A., Gollan, J. R., & Ramp, D. (2013). The importance of temporal climate variability for spatial patterns in plant diversity. *Ecography*, 36(12), 1341-1349.

Lovejoy TE, Hannah L (2019) *Biodiversity and Climate Change: Transforming the Biosphere*. Yale University Press.

Mayer AL, Rietkerk M (2004) The dynamic regime concept for ecosystem management and restoration. *BioScience* 54: 1013–1020.

McDonald-Spicer, C. J., Moritz, C. C., Ferrier, S., & Rosauer, D. F. (2019). The importance of defining measures of stability in macroecology and biogeography. *Frontiers of Biogeography*, 11(3).

Moles, A. T., Perkins, S. E., Laffan, S. W., Flores-Moreno, H., Awasthy, M., Tindall, M. L., ... & Bonser, S. P. (2014). Which is a better predictor of plant traits: temperature or precipitation? *Journal of Vegetation Science*, 25(5), 1167-1180.

Pearce-Higgins, J.W., Eglinton, S.M., Martay, B., & Chamberlain, D.E. (2015). Drivers of climate change impacts on bird communities. *Journal of Animal Ecology*, 84, 943–954.

Pearson, R., Martínez-Meyer, E., Velázquez, M.A., Caron, M., Corona-Núñez, R.O., Davis, K., ... & Díaz, R.L. (2019). Research priorities for maintaining biodiversity's contributions to people in Latin America. *UCL Open Environment*, 1, 002.

Peterson, A. T., Ortega-Huerta, M. A., Bartley, J., Sánchez-Cordero, V., Soberón, J., Buddemeier, R. H., Stockwell, D. R. B., 2002. Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios. *Nature* 416, 626-629.

Prieto-Torres, D. A., Navarro-Sigüenza, A. G., Santiago-Alarcon, D., Rojas-Soto, O. R. 2016. Response of the endangered tropical dry forests to climate change and the role of Mexican Protected Areas for their conservation. *Glob. Change Biol.* 22, 364-379

Prieto-Torres, D.A., Lira-Noriega, A., & Navarro-Sigüenza, A.G. (2020). Climate change promotes species loss and uneven modification of richness patterns in the avifauna associated to Neotropical seasonally dry forests. *Perspective in Ecology and Conservation*, 18, 19-30.

Prieto-Torres, D. A., Nori, J., Rojas-Soto, O. R., & Navarro-Sigüenza, A. G. (2021). Challenges and opportunities in planning for the conservation of Neotropical seasonally dry forests into the future. *Biological Conservation*, 257, 109083

Reyer, C. P., Leuzinger, S., Rammig, A., Wolf, A., Bartholomeus, R. P., Bonfante, A., ... & Pereira, M. (2013). A plant's perspective of extremes: terrestrial plant responses to changing climatic variability. *Global change biology*, 19(1), 75-89.

Thuiller, W., Lavorel, S., Araújo, M.B., 2005. Niche properties and geographic extent as predictors of species sensitivity to climate change. *Glob Ecol Biogeogr* 14, 347-357.

Udvardy, M. D. F. 1975. A classification of the biogeographic provinces of the world. – IUCN occasional paper 18.

Young, K.R., C. Ulloa, J.L. Luteyn y S. Knapp. (2002). Plant Evolution and Endemism in Andean South America. *The Botanical Review*, 68(1), 4-21.