

Biogeografía

Áreas de endemismo de Ecuador: un análisis a partir de datos de distribución de especies de plantas, animales y hongos

Endemism areas of Ecuador: an analysis based on distributional data of species of plants, animals and fungi

Jonathan Liria ^{a, b, *}

^a Universidad Regional Amazónica Ikiam, Grupo de Investigación en Población y Ambiente, Km 7 vía Muyuna, 150101 Napo, Ecuador

^b Universidad de Carabobo, Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología, Centro de Estudios en Zoología Aplicada, Campus Barbula, 2005 Valencia, Carabobo, Venezuela

*Autor para correspondencia: jonathan.liria@gmail.com (J. Liria)

Recibido: 3 mayo 2021; aceptado: 16 agosto 2021

Resumen

Se analizaron 407,570 datos de distribución de 10,390 especies de plantas, animales y hongos de Ecuador, obtenidos en 4 repositorios de biodiversidad (GBIF, NHM, SpeciesLink y BNDB) como soporte en la delimitación de áreas para conservación y estudios biogeográficos. Las especies fueron asignadas a 1,773 categorías supraespecíficas para evaluar el apoyo de ciertos grupos en las áreas de endemismo (AE). La identificación de AE se realizaron en VNDM/NDM empleando 2 tamaños de cuadrículas (0.75° y 1° latitud-longitud) y los resultados se resumieron mediante consensos. Los análisis de 0.75° y 1° resultaron en 272 y 88 AE, respectivamente, resumidas en 94 y 28 áreas consenso. La mayoría de AE consenso estuvieron sustentadas, principalmente, por especies de Tracheophyta y Chordata, y solo un área en Galápagos por especies de Chordata seguido en menor proporción por Tracheophyta, Arthropoda y Mollusca. Cuatro áreas mostraron soporte de grupos supraespecíficos endémicos principalmente géneros. Algunas especies se incluyeron en la lista de la UICN, mayoritariamente en las categorías de preocupación menor y vulnerable. Los resultados de AE en Ecuador evidencian la importancia de las bases de datos abiertas sobre biodiversidad y servirán de base para estudios sobre conservación y definiciones de categorías en las regionalizaciones biogeográficas.

Palabras clave: Bigdata; Biogeografía; Áreas protegidas; Tracheophyta; Chordata

Abstract

From 4 biodiversity repositories (GBIF, NHM, SpeciesLink, and BNDB), 407,570 occurrence records for 10,390 species of plants, animals, and fungi were analyzed to support the identification of areas for conservation and biogeographic studies in Ecuador. The species were assigned to 1,773 higher taxonomic groups to assess the support of endemic areas (EAs). The identification of EAs were carried out in VNDM/NDM using two cell sizes (0.75° and 1° latitude-longitude), and the sets were summarized by mean of consensus; 272 and 88 EAs, in 0.75° and 1°, were

obtained, respectively; these sets were included in 94 and 28 consensus EAs, respectively. Most consensus EAs were mainly supported by Tracheophyta and Chordata species, and only 1 set in the Galapagos by Chordata, followed by Tracheophyta, Arthropoda, and Mollusca. Four sets included higher endemic taxa, mainly genera. Some species were included in the IUCN Red List, mainly in the categories of Least Concern and Vulnerable. The results of EAs in Ecuador will serve as the basis for studies on conservation and definitions of biogeographic categories and will show the importance of open biodiversity databases.

Keywords: Bigdata; Biogeography; Protected areas; Tracheophyta; Chordata

Introducción

Ecuador cuenta con una superficie de 256,370 km², tradicionalmente dividida en 4 zonas: planicies occidentales (costa), altoandina (sierra), amazónica (oriente) y archipiélago de Galápagos. En cada zona se presentan condiciones ambientales que promueven innumerables ecosistemas y la presencia de taxones endémicos. Así, por ejemplo, la información disponible en el libro rojo de las plantas endémicas de Ecuador y el catálogo de plantas vasculares de Ecuador señala más de 4,000 especies restringidas al país (León-Yáñez et al., 2011; MOBOT.org, 2021). Respecto a grupos animales, los tetrápodos contemplan uno de los más estudiados, actualmente con 543 especies endémicas (PUCE, 2021). Por otro lado, Ecuador posee el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), con el objetivo de garantizar la cobertura y conectividad de ecosistemas importantes en los niveles terrestre, marino y costero marino de sus recursos culturales y de las principales fuentes hídricas. Actualmente, el SNAP abarca las 4 regiones (costa, sierra, amazónica y Galápagos) e incluye 56 reservas naturales que se extienden en aproximadamente 20% de la superficie del Ecuador (MAE, 2008; SNAP, 2020).

La identificación de áreas de endemismo es uno de los primeros pasos en estudios biogeográficos y de conservación; la importancia en su identificación radica en la necesidad de conocer y proteger los atributos biológicos e historia evolutiva que representan los taxones endémicos y los patrones de distribución de la biota (Morrone, 2008; Noguera-Urbano, 2019). Varias investigaciones sugieren que los repositorios de biodiversidad pueden ser utilizados como base para estudios biogeográficos, y a su vez, ponen de manifiesto la importancia de la creación/ mantenimiento de centros de investigación y/o grupos de expertos en países megadiversos, que promuevan estándares internacionales para el registro y acceso gratuito de información sobre biodiversidad. Paralelamente, algunos estudios también señalan los retos que ofrece el uso de estas bases de datos, en donde pueden presentarse diversos tipos de situaciones, como identificaciones taxonómicas incompletas, errores en la asignación de localidades y clasificación

supraespecífica no actualizada, entre otros (Canhos et al., 2015; Diaz-Acevedo et al., 2020; García-Roselló et al., 2018; Maldonado et al., 2015). Recientemente, Liria et al. (2021) identificaron áreas de endemismo a escala global a partir del análisis de datos de distribución de artrópodos terrestres, obtenidos a partir de 3 repositorios de datos de biodiversidad. Estos autores observaron varias áreas neotropicales sustentadas, preferencialmente, por taxones de Arachnida, ésto probablemente asociado con la presencia de centros de investigación y/o la existencia de taxónomos expertos.

Por lo anteriormente expuesto, se propone identificar áreas de endemismo en Ecuador a partir de 4 bases de datos de biodiversidad (una de ellas nacional) para especies de plantas, animales y hongos, como apoyo en la delimitación de áreas para conservación y estudios biogeográficos.

Materiales y métodos

Los datos de presencia se obtuvieron a partir de búsquedas en 4 repositorios de biodiversidad: 858,308 registros en GBIF (GBIF.org, 2021), 456,629 en CRIA/ SpeciesLink (SpeciesLink, 2021), 459,442 en la Base de Datos y Sistema de Biodiversidad del Ecuador (BNDB SISBIO, 2021) y 19,055 en NHM (Natural History Museum, 2021). En cada una se aplicaron distintos filtros: *a)* incluir presencia restringida a Ecuador y los reinos Plantae, Animalia y Fungi, *b)* considerar solo aquellos registros de material preservado, y *c)* filtrar registros con coordenadas geográficas completas y sin observaciones en su georreferenciación. Luego, siguiendo la propuesta de Liria et al. (2021), las presencias se unieron y estandarizaron considerando solo especies con taxonomía completa (phylum, clase, orden, familia, género y especie), eliminando registros duplicados y tomando como número mínimo de presencias, solo aquellas especies con 10 o más registros únicos. Finalmente, se utilizó un programa en lenguaje de programación C con el fin de producir 2 archivos, uno con datos en el formato requerido para su análisis con NDM/VNDM (Goloboff, 2016) y otro en el formato adecuado para su análisis en TNT (Goloboff et al., 2008), incluyendo categorías supraespecíficas. Durante el

análisis en TNT, se utilizó el macro gettaxo.run con la finalidad de extraer las categorías taxonómicas que se consideraron en los análisis de endemidad (Szumik y Goloboff, 2015).

Análisis de endemismo. El conjunto de datos incluyó 407,570 registros (fig. 1) para 10,390 especies y 1,773 categorías supraespecíficas (phyla, órdenes, clases, familias y géneros). Las áreas de endemismo se identificaron mediante NDM/VNDM a partir de cuadrículas de 0.75° y 1° de latitud y longitud (Szumik y Goloboff, 2004; Szumik et al., 2002). Si bien no existe un criterio explícito sobre el tamaño de cuadrículas a considerar, se utilizaron estos tamaños con el fin de proporcionar una base para futuros estudios biogeográficos en Ecuador que faciliten comparaciones con otras investigaciones realizadas en Latinoamérica (Venezuela, México, Colombia). El análisis de endemismos de Szumik et al. (2002) calcula el grado de endemidad a partir de la proporción de celdas del área donde una especie está presente y la proporción de celdas fuera del área, y celdas adyacentes donde está presente. En términos generales, los registros de una especie distribuidos homogéneamente dentro del área evaluada aumentarán el índice de endemidad para tal especie, mientras que la presencia de registros fuera del área, disminuirá su valor. El índice de endemidad de un área es igual a la suma de los índices de las especies endémicas en ésta, de manera que cuantas más especies endémicas presente un área y cuanto mayor sea su grado de endemidad, el

grupo de celdas estará mejor representado como área de endemismo (Del Ventura et al., 2013; Szumik y Goloboff, 2004). Se consideraron las opciones de llenado 25 y radio asumido de 75 (es decir, una especie se considera como presente en cualquier celda dentro de 0.25 de radio para cada tamaño de cuadrícula, y probablemente presente en cualquier celda dentro de radio 0.75). Las búsquedas se restringieron a áreas endémicas con 45 o más especies endémicas, valores de endemidad de 35.00 o más, mantenido áreas superpuestas con 55% de especies únicas y realizando 5 réplicas. Para resumir los resultados por tamaño de cuadrícula, se realizaron consensos flexibles en donde las áreas se unieron considerando 40% de especies únicas en contra de cualquier otra área (Aagesen et al., 2013). Finalmente, debido al número de áreas obtenidas, se seleccionaron algunos consensos representativos de distintas regiones geográficas de Ecuador (costa, andes, amazónica y Galápagos). Los resultados se exportaron como capas en formato shapefile en DIVA-GIS (Hijmans, 2012) para su representación en el mapa.

Análisis geoespacial. Los registros de ocurrencias se analizaron para cada tamaño de cuadrícula (0.75° y 1°) mediante QGIS (QGIS Development Team, 2021) y DIVA-GIS, calculando el número de observaciones, número de clases (riqueza de especies) y diversidad de Hill N1 (Hill, 1973; Hijmans et al., 2001). Paralelamente, las especies endémicas en cuadrículas de 1° fueron reconciliadas en OpenRefine (OpenRefine, 2021) con la lista roja de la

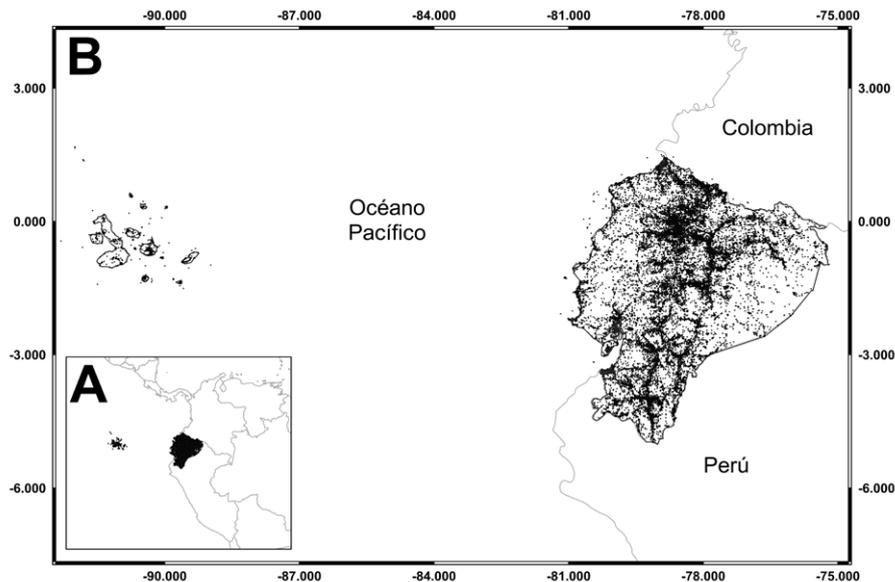


Figura 1. A) Mapa mostrando la ubicación de Ecuador a escala regional, B) mapa de 407,570 datos de distribución (puntos oscuros) para 10,390 especies de plantas, animales y hongos de Ecuador.

UICN (UICN, 2021) para obtener el número de taxones por categoría. Finalmente, en QGIS se superpusieron las AE consenso con los polígonos del SNAP del Ecuador, determinando el número y tipo de áreas incluidas por cada consenso.

Resultados

En la cuadrícula de 0.75° se obtuvo un promedio de 3,490.57 registros por celda, 828.55 especies/celda y diversidad (N1) 929.09 especies/celda, mientras que en la cuadrícula de 1°, los valores promedios fueron de 490.78 registros/celda, 965.00 especies/celda, y N1 1,040.13 especies/celda. Los análisis de endemismo se identificaron 272 y 88 AE para cuadrículas de 0.75° y 1°, respectivamente, resultando en 94 y 28 AE consenso para estos tamaños de cuadrículas. Debido al número de AE obtenidas en cuadrículas de 0.75° y a la concordancia de algunos consensos de 1° (figs. 2, 3), se eligieron 8 áreas de tamaño 1° para describir patrones generales de la composición de taxones endémicos en Ecuador continental y Galápagos. El listado de especies endémicas para los consensos en cuadrículas de 0.75° y 1° puede consultarse en el material suplementario <https://doi.org/10.5281/zenodo.5187986>).

La tabla 1 muestra los resultados de los análisis realizados en cuadrículas de 1°. El AE consenso con mayor número de especies endémicas correspondió a la AE 5 de 28 (5_28) con 6,639 especies, seguida de la AE 2_28 / 2,383 especies, 13_28 / 446 especies, 22_28 / 356 especies, 8_28 / 299 especies, 16_28 / 199 especies, 10_28 / 116 especies, y finalmente, el área 24_28 con 63 especies. La mayoría de las AE consenso estuvieron sustentadas, principalmente, en orden de importancia (más de 95% especies) por especies endémicas de Tracheophyta, Chordata y Bryophyta; solo un AE (24_28) fue sustentada, principalmente, por especies de Chordata y en menor proporción, (menos de 15% de especies en cada una) por especies de Tracheophyta, Arthropoda y Mollusca. Sobre la composición de grupos supraespecíficos endémicos, 4 áreas mostraron soporte: 2_28 (5 géneros), 13_28 (3 géneros), 22_28 (3 géneros), y el área 5_28 con mayor variedad de taxones (1 clase, 4 órdenes, 14 familias y 120 géneros). Respecto a los taxones incluidos en la lista de la UICN, las especies endémicas con datos reconciliados estuvieron entre 6 - 11% en la mayoría de las áreas, siendo la excepción las áreas 22_28 y 10_28 con 20% y 26% de especies incluidas en la lista roja, respectivamente, y el área 24_28 con 54%. La mayor proporción de especies endémicas incluidas en la lista roja se encuentra en la

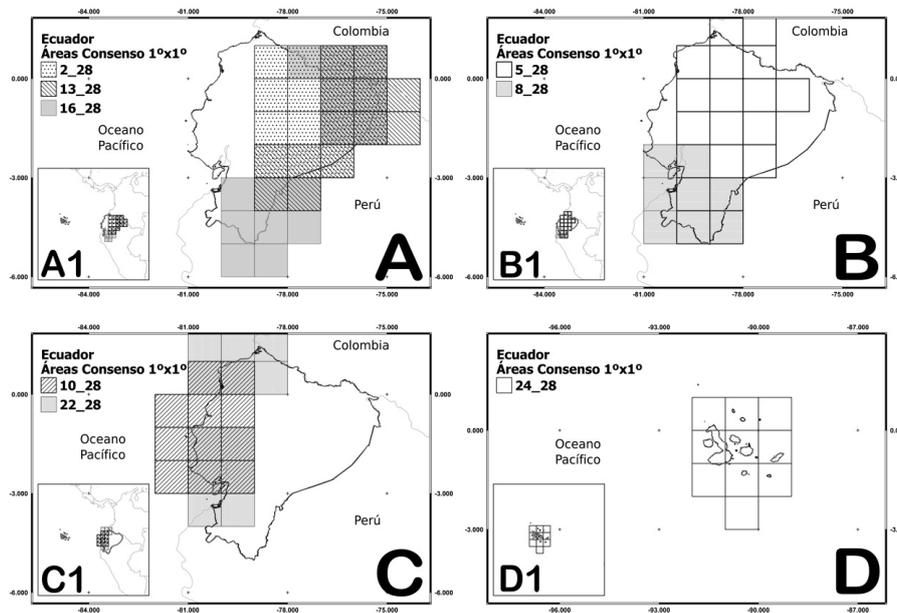


Figura 2. Mapas de áreas consenso (40% de corte) para resultados del análisis de endemismo en cuadrículas de 1° y 10,390 especies (y 1,773 categorías supraespecíficas) de plantas, animales y hongos de Ecuador. A) Consensos 2_28, 13_28 y 16_28, B) consensos 5_28 y 8_28, C) consensos 10_28 y 22_28, y D) consenso 24_28. Las letras con números (A1..D1) muestran la ubicación de las áreas a escala regional.

categoría de preocupación menor, con la excepción del área 24_28, donde hubo valores similares para las categorías preocupación menor y vulnerable. Finalmente, la superposición del SNAP con las AE consensos muestra mayor proporción en las categorías: parques nacionales, reservas ecológicas, refugios de vida silvestre y reservas biológicas.

Los resultados en cuadrículas de 0.75° se aprecian en la tabla 2; el AE consenso 13 de 94 (13_94) mostró el mayor número de especies endémicas (3,202) representadas, principalmente, por Tracheophyta, Chordata y Bryophyta, seguida de las restantes áreas con mayor proporción de especies de Tracheophyta y Chordata: 38_94 (1,476 spp.), 27_94 (1,206 spp.), 81_94 (407 spp.), 68_94 (245 spp.). El AE consenso 88_94 estuvo sustentada principalmente por especies (60 spp.) de Chordata, Tracheophyta y Arthropoda, y en menor proporción por especies de Mollusca y Echinodermata.

Discusión

Los resultados de esta investigación representan el primer análisis de endemismo realizado en Ecuador para 3 reinos, que utiliza métodos cuantitativos y registros de 4 bases de datos de biodiversidad, una de ellas nacional. Las AE consenso obtenidas en ambas escalas estuvieron sustentadas principalmente por plantas

vasculares y cordados; ésto puede evidenciarse en la representación proporcional de estos grupos en las bases de datos consultadas: 92% de los registros corresponden a plantas (89% Tracheophyta, 2% Bryophyta, 1% Marchantiophyta), 7.6% a animales (6.7% Chordata, 0.7% Arthropoda, 0.2% Mollusca) y menos de 1% a hongos. Recientemente, Díaz-Acevedo et al. (2020) identificaron áreas de endemismo en páramos neotropicales, a partir de 7,025 registros obtenidos del GBIF. Estos autores informan que los análisis separados de anfibios y plantas contribuyeron en mayor proporción al patrón general, lo cual puede deberse a que contienen mayor cantidad de especies soporte, y a su vez, a la riqueza de cada taxón evaluado.

En Ecuador se han concentrado esfuerzos para conocer la diversidad en ciertos grupos taxonómicos, particularmente en plantas vasculares. Por ejemplo, se cuenta con 15,901 especies vegetales registradas en el Catálogo de las Plantas Vasculares del Ecuador (Jørgensen y León-Yáñez, 1999), iniciativa actualmente en línea y realizada por 239 investigadores asociados con el Jardín Botánico de Missouri, Herbario QCA de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Herbario Nacional del Ecuador en el Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales (MECN) y Departamento de Botánica Sistemática de la Universidad de Aarhus en Dinamarca (MOBOT.org, 2021).

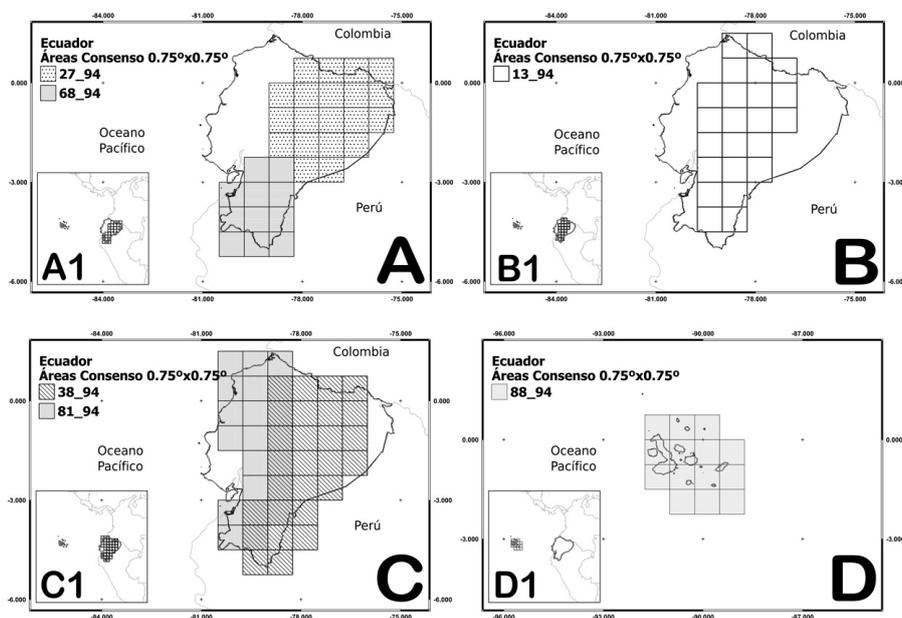


Figura 3. Mapas de áreas consenso (40% de corte) para resultados del análisis de endemismo en cuadrículas de 0.75° y 10,390 especies (y 1,773 categorías supraespecíficas) de plantas, animales y hongos de Ecuador. A) Consensos 27_94 y 68_94, B) consenso 13_94, C) consensos 38_94 y 81_94, y D) consenso 88_94. Las letras con números (A1..D1) muestran la ubicación de las áreas a escala regional.

Tabla 1

Áreas consenso, especies endémicas, índice de endemidad (mínimo y máximo), porcentaje de especies por phyla, grupos supraespecíficos endémicos y especies según categorías de la UICN, para resultados del análisis de endemismo en cuadrículas de 1° y 10,390 especies (y 1,773 categorías supraespecíficas) de plantas, animales y hongos de Ecuador.

Area consenso	Especies endémicas*	Índice de endemidad	Phyla (especies endémicas)	Grupos supraespecíficos	UICN ¹	Categoría y número de áreas protegidas ²
2_28	2,383	378.6 - 930.4	Tracheophyta (81%); Chordata (15%)	5 géneros	267 spp. (Chordata 87%; Tracheophyta 17%); DD (5), EN (2), LC (243), NT (8), VU (9)	Área ecológica de conservación (1), área protegida autónoma descentralizada (1), área nacional de recreación (1), área protegida privada (2), parque nacional (8), refugio de vida silvestre (1), reserva biológica (2), reserva de producción de fauna (2), reserva ecológica (4), reserva geobotánica (1)
5_28	6,339	2,072.8 - 3,022.8	Tracheophyta (85%); Chordata (8%); Bryophyta (4%)	1 clase; 4 órdenes; 14 familias; 120 géneros	510 spp. (Chordata 71%; Tracheophyta 29%); CR (3), DD (8), EN (6), LC (471), NT (11), VU (11)	Área ecológica de conservación (2), área protegida autónoma descentralizada (1), área nacional de recreación (4), área protegida comunitaria (2), área protegida privada (2), parque nacional (11), refugio de vida silvestre (7), reserva biológica (5), reserva de producción de fauna (3), reserva ecológica (7), reserva geobotánica (1), reserva marina (1)
8_28	299	108.2 - 154.4	Tracheophyta (87%); Chordata (10%)	-	30 spp. (Chordata 83%; Tracheophyta 7%); CR (2), EN (2), LC (21), NT (1), VU (4)	Área ecológica de conservación (1), área nacional de recreación (5), área protegida comunitaria (2), parque nacional (3), refugio de vida silvestre (2), reserva biológica (3), reserva de producción de fauna (2), reserva ecológica (2), reserva marina (2)
10_28	116	51.3 - 51.5	Tracheophyta (57%); Chordata (39%); Arthropoda (4%)	-	30 spp. (Chordata 83%; Tracheophyta 7%); CR (1), EN (1), LC (27), VU (1)	Área nacional de recreación (5), parque nacional (3), refugio de vida silvestre (7), reserva biológica (3), reserva de producción de fauna (2), reserva ecológica (3), reserva marina (4)
13_28	446	201.4 - 201.6	Tracheophyta (89%); Chordata (10%)	3 géneros	38 spp. (Chordata 58%; Tracheophyta 42%); LC (37), VU (1)	Área ecológica de recreación (1), área protegida comunitaria (1), área protegida privada (1), parque nacional (3), refugio de vida silvestre (1), reserva biológica (3), reserva de producción de fauna (1)

16_28	199	40.3 - 90.9	Tracheophyta (93%); Chordata (3%); Bryophyta (2%)	-	11 spp. (Chordata 36%; Tracheophyta 64%); LC (11)	Área ecológica de conservación (2), área protegida autónoma descentralizada (1), área nacional de recreación (1), área protegida comunitaria (2), parque nacional (4), refugio de vida silvestre (1), reserva biológica (4), reserva de producción de fauna (1), reserva ecológica (2)
22_28	356	137.5 - 137.8	Tracheophyta (64%); Chordata (28%); Bryophyta (4%)	3 géneros	72 spp. (Chordata 92%; Tracheophyta 8%); EN (1), LC (67), NT (2), VU (2)	Área nacional de recreación (5), área protegida comunitaria (1), parque nacional (5), refugio de vida silvestre (7), reserva de producción de fauna (2), reserva ecológica (6), reserva geobotánica (1), reserva marina (5)
24_28	63	43.9 - 44.4	Chordata (57%); Tracheophyta (13%); Arthropoda (10%); Mollusca (8%); Echinodermata (3%)	-	34 spp. (Chordata 91%; Tracheophyta 6%; Echinodermata 3%); DD (3), EN (3), LC (15), NT (2), VU (11)	Parque nacional (1), reserva marina (1)

* Se incluyen también grupos supraespecíficos; ¹ categorías listas roja de la UICN (UICN, 2021): DD = datos insuficientes, LC = preocupación menor, NT = casi amenazado, VU = vulnerable, EN = en peligro, CR = en peligro crítico; ² categorías del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Ecuador (SNAP, 2020).

Tabla 2

Áreas consenso, especies endémicas, índice de endemividad (mínimo y máximo) y porcentaje de especies por phyla, para resultados del análisis de endemismo en cuadrículas de 0.75° y 10,390 especies (y 1,773 categorías supraespecíficas) de plantas, animales y hongos de Ecuador.

Area consenso	Especies endémicas*	Índice de endemividad	Phyla (especies endémicas)
13_94	3,202	1,450.2 - 1,724.9	Tracheophyta (86%), Chordata (5%) y Bryophyta (6%)
27_94	1,206	249.7 - 535.4	Tracheophyta (76%) y Chordata (21%)
38_94	1,476	658.9 - 801.2	Tracheophyta (91%) y Chordata (6%)
68_94	245	110.6 - 129.2	Tracheophyta (90%) y Chordata (7%)
81_94	407	210.0 - 210.2	Tracheophyta (80%) y Chordata (15%)
88_94	60	43.8 - 44.0	Chordata (57%), Tracheophyta (15%), Arthropoda (10%), Mollusca (7%) y Echinodermata (3%)

* Se incluyen también grupos supraespecíficos.

Leimbeck et al. (2004), Quijano-Abril et al. (2006) y Endara et al. (2009) realizaron estudios sobre diversidad y endemismo en Araceae, Piperaceae y Orchidaceae, respectivamente; en general, los 3 estudios sugieren AE en los Andes y Amazonia de Ecuador. En el presente estudio, el área consenso 2_28 en la región norte de Andes y Amazonia es sustentada por especies endémicas de varias familias de traqueófitos: Orchidaceae (311 spp.), Asteraceae (289 spp.), Melastomataceae (276 spp.), Araceae (201 spp.), Bromeliaceae (130 spp.) y Piperaceae (123 spp.), entre otras.

Por otro lado, varias instituciones públicas y privadas nacionales mantienen sitios web para la difusión de la biodiversidad. El portal BioWeb posee información sobre 3,265 especies de tetrápodos de Ecuador: aves (1,691 spp.), anfibios (641 spp.), reptiles (493 spp.) y mamíferos (440 spp.). (PUCE, 2021). Más recientemente, por iniciativa del Instituto Nacional de Biodiversidad, se desarrolló el sitio web que aloja la Base Nacional de Datos de Biodiversidad del Ecuador (BNDB SISBIO), estructurada a partir de Symbiota como software soporte (Gries et al., 2014). Éste ha permitido la creación de un repositorio de datos para representar la diversidad biológica nacional, a partir de la vinculación entre distintas bases de datos de otras colecciones como: INABIO - MECN, Universidad Técnica Particular de Loja, Herbario QCA, Herbario plantas vasculares Universidad Nacional de Loja y Charles Darwin Foundation, entre otras.

Sierra et al. (1999) desarrollaron una propuesta para identificar áreas (regiones y ecosistemas) prioritarias de conservación en Ecuador continental, a partir de criterios bióticos (riqueza de aves, especies endémicas, especies especialistas, y diversidad ecosistemas), administrativos y condiciones de conservación. Las áreas más críticas se encuentran en el sur de la costa y los Andes occidentales del país, asociados con ecosistemas secos de bosques semidecíduos piemontanos y montanos, bosques decíduos, matorrales secos, entre otros. En este sentido, el AE consenso 8_28 en el sur del país cuenta con 299 especies endémicas de Tracheophyta (81% especies de Magnoliopsida y Liliopsida) y Chordata (10% especies de Amphibia, Aves y Reptilia), e incluye algunos taxones en la lista roja: Magnoliopsida (*Anadenanthera colubrina* y *Espositoa lanata*), Liliopsida (*Cottea pappophoroides* y *Polypogon viridis*), Amphibia (*Telmatobius niger*, *Epipedobates anthonyi*, *Gastrotheca lojana* y *Atelopus bomolochos*, entre otras) Aves (*Arremon abeillei*, *Myiarchus phaeocephalus*, *Myiothlypis fraseri* y *Turdus reevei*, entre otras) y Reptilia (*Macropholidus annectens*, *Pholidobolus prefrontalis*, *Stenocercus ornatus* y *S. rhodomelas*, entre otras).

Reyes-Puig et al. (2017) estudiaron a partir de modelos de nicho ecológico la diversidad y conservación para reptiles de Ecuador continental. Estos autores superponen distribuciones predichas para especies endémicas, identificando áreas de endemismo en el noroeste de Ecuador, con especies también presentes en las laderas andinas occidentales y orientales. En el presente estudio se muestran AE coincidentes como 2_28 en la región norte de Andes y Amazonia, sustentada por varias especies de cordados, principalmente reptiles (98% especies de Squamata), anfibios (98% Anura) y aves (50% Passeriformes, 21% Apodiformes y 14% Caprimulgiformes, entre otros); y el área 5_28 extendida desde el norte al sur del país, cubriendo laderas occidentales y orientales de los Andes y parte de la Amazonia, sustentada por varias especies de cordados: aves (65% Passeriformes, 13% Apodiformes y 11% Caprimulgiformes, entre otros), anfibios (99% Anura) y reptiles (98% Squamata), entre otros.

De igual forma, Cuesta et al. (2017) utilizaron modelos de nicho ecológico en 744 especies de plantas vasculares, aves, anfibios y reptiles para presentar una propuesta de áreas para la conservación de la biodiversidad en el Ecuador continental. Estos autores señalan que los principales déficits de conservación del SNAP se concentran en los Andes del Sur, Amazonia central y las porciones central y sur de la llanura costera. Los resultados de las AE consensos para 1° se superponen con varias categorías de áreas protegidas en Ecuador. Si bien el análisis del presente estudio evaluó solo 2 tamaños de cuadrículas, otros análisis podrían enfocarse en ciertos taxones y distintas escalas, con el fin de determinar especies endémicas que sustenten áreas superpuestas con el SNAP.

Díaz-Acevedo et al. (2020) identificaron áreas de endemismo en los páramos neotropicales, a partir de 7,025 especies de aves, anfibios, mamíferos, reptiles y plantas, y contemplado cuadrículas de 0.25° y 0.50°. En particular, los autores indican 374 especies endémicas (en áreas consensos con datos totales) en el norte de Ecuador: Tracheophyta (Orchidaceae, Araceae, Bromeliaceae, Calceolariaceae y Melastomataceae) y Chordata (Craugastoridae). Estos resultados son similares al área 5_28 señalada en la presente investigación, coincidiendo en la composición de algunos taxones endémicos: Tracheophyta (Rubiaceae, Orchidaceae, Asteraceae, Melastomataceae, Poaceae, Araceae, Fabaceae, Solanaceae, Bromeliaceae, Gesneriaceae, Piperaceae y Polypodiaceae, entre otras) y Chordata (Emberizidae, Trochilidae, Tyrannidae, Strabomantidae, Hylidae, Formicariidae, Dendrobatidae y Phyllostomidae, entre otras).

Las AE consenso 10_28 y 22_28 coinciden principalmente con los bosques húmedos de la región

sur del Chocó, una de las ecorregiones con mayor concentración de especies, y al mismo tiempo, es una de las áreas más severamente amenazadas. Estos bosques incluyen especies endémicas principalmente representadas por Orchidaceae y Araceae (Fagua y Ramsey, 2019; León-Yáñez et al., 2011). En la monografía para la herpetofauna del Chocó Esmeraldeño, realizada por el MECN (2010), se resalta la riqueza de anfibios incluidos en Strabomantidae (principalmente *Pristimantis* spp.), Centronelidae e Hylidae; mientras que, en reptiles, predominaron especies de Polychrotidae y Colubridae.

Las especies endémicas que sustentan las áreas consenso estuvieron principalmente representadas por Magnoliopsida (Fabaceae, Passifloraceae y Asteraceae, entre otras), Liliopsida (Orchidaceae, Bromeliaceae y Araceae, entre otras), Aves (Emberizidae y Furnariidae, entre otras), Amphibia (Strabomantidae y Hylidae, entre otras), Reptilia (Colubridae y Elapidae, entre otras) y Actinopterygii (Bryconidae y Characidae, entre otras); e incluyeron algunos taxones en la lista roja: *Gastrotheca plumbea*, *Pristimantis eremitus*, *Rhaebo caeruleostictus*, *Alouatta palliata*, *Ateles fusciceps* y *Cebus aequatorialis*, entre otras.

El archipiélago de las Galápagos es una de las áreas más estudiadas por su biodiversidad y endemismo. El aislamiento del continente y la colonización humana tardía han contribuido para que la fauna y flora de las islas sean investigadas con miras a comprender procesos ecológicos, evolutivos y biogeográficos que ocurren a niveles locales (cada isla) o en su conjunto. Tye et al. (2002) señalan 560 plantas vasculares nativas de Galápagos, de las cuales 180 son especies endémicas. En el caso de vertebrados, estos autores indican 117 taxones, con mayor proporción de especies endémicas en reptiles y mamíferos terrestres, seguido de aves terrestres y marinas, y en menor proporción mamíferos marinos. En las islas Galápagos, las AE consenso 88_94 y 24_28 para análisis en cuadrículas 0.75° y 1°, respectivamente, muestran especies endémicas sustentadas principalmente por cordados: peces (15 spp. en 0.75° y 16 spp. 1°), aves (9 spp./10 spp.), reptiles (7 spp.) y mamíferos (3 spp.). De igual forma, respecto a las plantas vasculares, las AE consenso estuvieron sustentadas por especies de Liliopsida (6 spp.) y Magnoliopsida (3 spp./2 spp.). Bisconti et al. (2001) realizaron un análisis de parsimonia de endemismos incluyendo 71 especies de reptiles, aves terrestres y el género *Scalesia*, y considerando cada isla como terminal en la matriz de presencia/ausencia. Los cladogramas mostraron grupos monofiléticos representados por islas de mayor área, obteniendo congruencia con otros análisis biogeográficos basados en filogenia. Sin embargo, debido a diferencias de escala, los resultados de áreas consenso para 0.75° y 1°

no son comparables con los obtenidos mediante análisis de parsimonia de endemismos, y por otro lado, las AE estuvieron sustentadas tanto por organismos terrestres como marinos.

Un aspecto importante a considerar en el presente estudio fue la inclusión de taxones supraespecíficos. La opción fue considerada en la última versión de VNDM a partir de la propuesta de Szumik y Goloboff (2015), quienes sugirieron que un grupo de taxones se consideran anidados, cuando el índice de endemidad contribuido por un taxón superior (ejemplo: género, familia y orden, entre otros) es mayor que la suma de las puntuaciones de endemidad aportadas por sus taxones subordinados para la misma área. En particular, algunas AE consensos contemplaron grupos supraespecíficos, el área 2_28 incluye 5 géneros: *Aa* (Orchidaceae), *Linochilus* (Asteraceae), *Dacnis* (Thraupidae), *Callimedusa* (Phyllomedusidae) y *Culex* (Culicidae). Sin embargo, estos taxones poseen distribuciones que exceden los límites políticos de Ecuador, lo cual podría explicar su baja contribución al AE consenso en términos del índice de endemidad, en donde sus aportes fueron inferiores a 0.52 (siendo 1.00 el máximo valor para un taxón perfectamente endémico). No obstante, la inclusión de grupos supraespecíficos podría sugerir la existencia de patrones de anidamiento en especies cercanamente relacionadas, por ejemplo, *Callimedusa* posee 6 especies distribuidas en laderas orientales de los Andes de Ecuador y Perú, y en la cuenca amazónica de Colombia y Bolivia (Duellman et al., 2016; Frost, 2021): *C. atelopoides*, *C. baltea*, *C. duellmani*, *C. ecuatoriana*, *C. perinesos* y *C. tomopterna*. Esto podría evaluarse considerando en los análisis de endemismo los grupos supraespecíficos obtenidos en los cladogramas de las hipótesis filogenéticas. De igual forma, *Culex*, uno de los géneros más diversos de culícidos, presenta subgéneros, por ejemplo: *Cx. (Microculex)* sp. y *Cx. (Carrollia)* sp., en donde las fases inmaduras se desarrollan estrictamente en plantas que almacenan agua (fitotelmatas), sugiriendo la existencia de procesos de coevolución, lo cual ha permitido utilizar dicha información para identificar áreas de endemismo en Venezuela (Del Ventura et al., 2015; Navarro et al., 2007).

Finalmente, los resultados presentados para las AE de Ecuador a partir del análisis de 10,390 especies de plantas, animales y hongos, servirán de base para estudios sobre conservación y definiciones de categorías biogeográficas. También evidencian la importancia de las bases de datos abiertas sobre biodiversidad, así como la relevancia de contar con apoyo gubernamental que fomenten las iniciativas de instituciones de investigación públicas y privadas para conocer y catalogar la diversidad biológica en el Neotrópico (Canhos et al., 2015).

Agradecimientos

Al editor y revisores del manuscrito por las sugerencias y observaciones que mejoraron substancialmente el documento.

Referencias

- Aagesen, L., Szumik, C. y Goloboff, P. A. (2013). Consensus in the search for areas of endemism. *Journal of Biogeography*, 40, 2011–2016. <https://doi.org/10.1111/jbi.12172>
- Bisconti, M., Landini, W., Bianucci, G., Cantalamessa, G., Carnevale, G., Ragaini, L. et al. (2001). Biogeographic relationships of the Galapagos terrestrial biota: parsimony analyses of endemism based on reptiles, land birds and *Scalesia* land plants. *Journal of Biogeography*, 28, 495–510. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2001.00548.x>
- BNDB SISBIO (Base de Datos y Sistema de Biodiversidad del Ecuador). (2021). Recuperado el 19 de marzo, 2021 de: <http://bndb.sisbioecuador.bio/bndb/index.php>
- Canhos D. A. L., Sousa-Baena, M. S., de Souza, S., Maia, L. C., Stehmann, J. R., Canhos, V. P. et al. (2015). The Importance of Biodiversity E-infrastructures for Megadiverse Countries. *Plos One Biology*, 13, e1002204. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002204>
- Cuesta, F., Peralvo, M., Merino-Viteri, A., Bustamante, M., Baquero, F., Freile, J. F. et al. (2017). Priority areas for biodiversity conservation in mainland Ecuador. *Neotropical Biodiversity*, 3, 93–106. <https://doi.org/10.1080/23766808.2017.1295705>
- Del Ventura, F., Liria, J. y Navarro, J. C. (2013). Determinación de áreas de endemismo en mosquitos (Diptera: Culicidae) en Venezuela, mediante criterios explícitos de optimización. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 53, 165–182.
- Díaz-Acevedo, C. J., Romero-Alarcón, L. V. y Miranda-Esquível, D. R. (2020). Páramos neotropicales como unidades biogeográficas. *Revista de Biología Tropical*, 68, 503–516. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v68i2.39347>
- Duellman, W. E., Marion, A. B. y Hedges, B. (2016). Phylogenetics, classification, and biogeography of the treefrogs (Amphibia: Anura: Arboranae). *Zootaxa*, 4104, 1–109. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4104.1.1>
- Endara, L., Williams, N. y León-Yáñez, S. (2009). Patrones de endemismo de orquídeas endémicas ecuatorianas: perspectivas y prioridades para la conservación. En A. M. Pridgeon y J. P. Suárez (Eds.), *Proceedings of the Second Scientific Conference on Andean Orchids* (pp. 63–70). Loja, Ecuador: Universidad Técnica Particular de Loja.
- Fagua, J. C. y Ramsey, R. D. (2019). Geospatial modeling of land cover change in the Chocó-Darien global ecoregion of South America; one of most biodiverse and rainy areas in the world. *Plos One*, 14, e0211324. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211324>
- Frost, D. R. (2021). Amphibian species of the World: an online reference. Version 6.1 (16-8-2021). Electronic Database accessible at <https://amphibiansoftheworld.amnh.org/index.php> American Museum of Natural History, New York, USA. <https://doi.org/10.5531/db.vz.0001>
- García-Roselló, E., Guisande, C., Manjarrés-Hernández, A., González-Dacosta, J., Heine, J., Pelayo-Villamil, P. et al. (2015). Can we derive macroecological patterns from primary Global Biodiversity Information Facility data? *Global Ecology and Biogeography*, 24, 335–347. <https://doi.org/10.1111/geb.12260>
- GBIF.org (2021). GBIF Occurrence Download. Recuperado el 18 de marzo, 2021 de: <https://doi.org/10.15468/dl.w4st8s>
- Goloboff, P. A. (2016). NDM and VNDM: programs for the identification of areas of endemism, v. 3.1, Program and documentation. Recuperado el 17 de marzo, 2021 de: <https://www.lillo.org.ar/phylogeny>
- Goloboff, P. A., Farris, J. S. y Nixon, K. C. (2008). TNT, a free program for phylogenetic analysis. *Cladistics*, 24, 774–786. <https://doi.org/10.1111/j.1096-0031.2008.00217.x>
- Gries, C., Gilbert, E. y Franz, N. (2014) Symbiota - A virtual platform for creating voucher-based biodiversity information communities. *Biodiversity Data Journal*, 2, e1114. <https://doi.org/10.3897/BDJ.2.e1114>
- Hijmans, R. (2012). DIVA-GIS: A free computer program for mapping and geographic data analysis. Recuperado el 15 de marzo, 2021 de: <https://www.diva-gis.org/>
- Hijmans, R., Guarino, L., Cruz, M. y Rojas, E. (2001). Computer tools for spatial analysis of plant genetic resources data: 1. DIVA-GIS. *Plant Genetic Resources Newsletter*, 127, 15–19.
- Hill, M. (1973). Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. *Ecology*, 54, 427–432.
- Jørgensen, P. M. y León-Yáñez, S. (1999). Catalogue of the vascular plants of Ecuador. *Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden*, 75, 1–1182.
- León-Yáñez, S., Valencia, R., Pitman N., Endara, L., Ulloa, C. y Navarrete, H. (2011). *Libro rojo de las plantas endémicas del Ecuador, 2ª edición*. Quito: Publicaciones del Herbario QCA/ Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Leimbeck, R. M., Valencia, R. y Balslev, H. (2004). Landscape diversity patterns and endemism of Araceae in Ecuador. *Biodiversity and Conservation*, 13, 1755–1779. <https://doi.org/10.1023/B:BIOC.0000029332.91351.7a>
- Liria, J., Szumik, C. y Goloboff, P. A. (2021). Analysis of endemism of world arthropod distribution data supports biogeographic regions and many established subdivisions. *Cladistics*, 37, 559–570. <https://doi.org/10.1111/cla.12448>
- Maldonado, C., Molina, C. I., Zizka, A., Persson, C., Taylor, C. M., Alban, J. et al. (2015). Estimating species diversity and distribution in the era of Big Data: to what extent can we trust public databases? *Global Ecology and Biogeography*, 24, 973–984. <https://doi.org/10.1111/geb.12326>
- MECN (Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales). (2010). *Serie Herpetofauna del Ecuador: El Chocó Esmeraldeño*. Monografía 5. Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales. Quito, Ecuador.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE). (2008). *Políticas y Plan Estratégico del Sistema Nacional de Áreas Protegidas*

- del Ecuador 2007-2016*. Resumen Ejecutivo. Proyecto GEF; Sistema Nacional de Áreas Protegidas. Quito, Ecuador.
- Missouri Botanical Garden (MOBOT.org) (2021). Catalogue of the Vascular Plants of Ecuador. Recuperado el 20 de marzo, 2021 de: <http://www.mobot.org/mobot/research/ecuador/welcome.shtml>
- Morrone, J. J. (2008). Endemism. En S. E. Jørgensen y B. D. Fath (Eds.), *Evolutionary Ecology*. Vol. 2. Encyclopedia of Ecology. Oxford: Elsevier.
- Natural History Museum. (2021). Data Portal query created at 2021-03-18 14:05:21.272175 PID. Recuperado el 18 de marzo, 2021 de: <https://doi.org/10.5519/qd.2dohz5o4>
- Navarro, J. C., Liria, J., Piñango, H. y Barrera, R. (2007). Biogeographic area relationships in Venezuela: A Parsimony analysis of Culicidae-Phytotelmata relationships distributions in National Parks. *Zootaxa*, 1547, 1–19. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.1547.1.1>
- Noguera-Urbano, E. (2017). El endemismo: diferenciación del término, métodos y aplicaciones. *Acta Zoológica Mexicana*, 33, 89–107. <https://doi.org/10.21829/azm.2017.3311016>
- OpenRefine. (2021). OpenRefine. 3.4. A free, open source, power tool for working with messy data. Recuperado el 19 de marzo, 2021 de: <http://www.OpenRefine.org>
- Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). (2021). BioWeb. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Recuperado el 2 de mayo, 2021 de: <https://bioweb.bio/>
- QGIS Development Team. (2021). QGIS Geographic Information System. Available: Open Source Geospatial Foundation Project. Recuperado el 10 de marzo, 2021 de: <http://qgis.osgeo.org>
- Quijano-Abril, M. A., Callejas-Posada, R. y Miranda-Esquivel, D. R. (2006). Areas of endemism and distribution patterns for Neotropical *Piper* species (Piperaceae). *Journal of Biogeography*, 33, 1266–1278. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01501.x>
- Reyes-Puig, C., Almendáriz, C. A. y Torres-Carvajal, O. (2017). Diversity, threat, and conservation of reptiles from continental Ecuador. *Amphibian & Reptile Conservation*, 11, e147.
- Sierra, R., Campos, F. y Chamberlain, J. (1999). *Áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad en el Ecuador continental: un estudio basado en la biodiversidad de ecosistemas y su ornitofauna*. Ministerio del Ambiente, Proyecto Inefan-GEF- BIRF, Ecociencia y Wildlife Conservation Society, Quito.
- SNAP (Sistema Nacional de Áreas protegidas del Ecuador). (2020). Categorías de manejo. Recuperado el 19 de marzo, 2021 de: <http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/info-snap>
- SpeciesLink (2021). Rede SpeciesLink. Recuperado el 18 de marzo, 2021 de: <http://www.splink.org.br>
- Szumik, C., Cuezco, F., Goloboff, P. A. y Chalup, A. (2002). An optimality criterion to determine areas of endemism. *Systematics Biology*, 51, 806–816. <https://doi.org/10.1080/10635150290102483>
- Szumik, C. y Goloboff, P. A. (2004). Areas of endemism: improved optimality criteria. *Systematics Biology*, 53, 968–977. <https://doi.org/10.1080/10635150490888859>
- Szumik, C. y Goloboff, P. A. (2015). Higher taxa and the identification of areas of endemism. *Cladistics*, 31, 1–5. <https://doi.org/10.1111/cla.12112>
- Tye, A., Snell, H., Peck, S. B. y Aderson, H. (2002). Outstanding terrestrial features of the Galapagos Archipelago. En R. Bensted-Smith (Eds.), *A biodiversity vision for the Galapagos Islands*, Chapter 3 (pp. 12–23). Puerto Ayora, Galapagos: Charles Darwin Foundation.
- UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). (2021). The IUCN. Red List of Threatened Species. Version 2021-1. Recuperado el 19 de marzo, 2021 de: <https://www.IUCN.redlist.org>