

Capítulo 3

Diversidade biológica e redes ecológicas na Amazônia



Dentro da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Vitória de Souza 2018 (Foto: Lilo Claret/Amazônia Real)



Science Panel for the Amazon



Sobre o Painel Científico para a Amazônia (SPA)

O Painel Científico para a Amazônia é uma iniciativa inédita convocada sob os auspícios da Rede de Soluções para o Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (SDSN). O SPA é composto por mais de 200 cientistas e pesquisadores proeminentes dos oito países amazônicos, da Guiana Francesa e de parceiros globais. Esses especialistas se reuniram para debater, analisar e reunir o conhecimento acumulado da comunidade científica, dos Povos Indígenas e de outros atores que vivem e trabalham na Amazônia.

O Painel é inspirado no Pacto de Letícia pela Amazônia. Este é um relatório inédito que fornece uma avaliação científica abrangente, objetiva, aberta, transparente, sistemática e rigorosa do estado dos ecossistemas da Amazônia, das tendências atuais e de suas implicações para o bem-estar, a longo prazo, da região, bem como oportunidades e opções políticas relevantes para a conservação e o desenvolvimento sustentável.

Relatório de Avaliação da Amazônia 2021, Copyright @ 2021, Painel Científico para a Amazônia. Traduzido do Inglês para o Português por Jens Munck, Carol Moraes, Brian Rodrigues, Eráclito Sousa Neto, Henrique Braz, Matheus Almeida, Valeria Gauz, Azevedo Ventura, Ane Alencar, Igor Arnaldo de Alencar, Leonardo Mueller Vilela de Carvalho, Lucas Dutra, and Nathália Nascimento. Este relatório é publicado sob uma licença Creative Commons Atribuição – Não-Comercial – Compartilhamento pela mesma Licença 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0). ISBN: 978-1-7348080-6-3

Citação sugerida

Zapata-Ríos G, Andreatzi CS, Carnaval AC, Doria CRC, Duponchelle F, Flecker A, Guayasamín JM, Heilpern S, Jenkins CN, Maldonado C, Meneghelli D, Miranda G, Moraes R M, Silman M, Silveira MAPA, Tabet G, Trujillo F, Ulloa Ulloa C, Arieira J. 2021. Capítulo 3: Diversidade biológica e redes ecológicas na Amazônia. Em: Nobre C, Encalada A, Anderson E, Roca Alcazar FH, Bustamante M, Mena C, Peña-Claros M, Poveda G, Rodriguez JP, Saleska S, Trumbore S, Val AL, Villa Nova L, Abramovay R, Alencar A, Rodríguez Alzza C, Armenteras D, Artaxo P, Athayde S, Barretto Filho HT, Barlow J, Berenguer E, Bortolotto F, Costa FA, Costa MH, Cui N, Fearnside PM, Ferreira J, Flores BM, Frieri S, Gatti LV, Guayasamin JM, Hecht S, Hirota M, Hoorn C, Josse C, Lapola DM, Larrea C, Larrea-Alcazar DM, Lehm Ardaya Z, Malhi Y, Marengo JA, Melack J, Moraes R M, Moutinho P, Murmis MR, Neves EG, Paez B, Painter L, Ramos A, Rosero-Peña MC, Schmink M, Sist P, ter Steege H, Val P, van der Voort H, Varese M, Zapata-Ríos G (Eds). Relatório de Avaliação da Amazônia 2021. Traduzido do Inglês para o Português por Jens Munck. Rede de Soluções para o Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas, Nova Iorque, EUA. Disponível em <https://www.aamazoniaquequeremos.org/pca-publicacoes/>. DOI: 10.55161/SNFD8916

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| RESUMO GRÁFICO | 2 |
| RESUMO | 4 |
| 3.1 POR QUE A AMAZÔNIA É TÃO RICA EM ESPÉCIES E ECOSSISTEMAS? | 4 |
| 3.2 PADRÕES DE DIVERSIDADE BIOLÓGICA DE GRUPOS TAXONÔMICOS SELECIONADOS | 5 |
| 3.2.1 PLANTAS VASCULARES | 5 |
| AL. 2011). ALTHOUGH NATIONAL RED LISTS AND RED DATA BOOKS MAY BE RESTRICTED GEOGRAPHICALLY, THEY PROVIDE AN OVERVIEW OF THEIR STATUS AND A BASIS FOR CONSERVATION ACTIONS (PITMAN AND JØRGENSEN 2002). ... | 8 |
| 3.2.2 FUNGOS, ALGAS E PLANTAS NÃO VASCULARES | 9 |
| 3.2.3 DIVERSIDADE DE INSETOS | 10 |
| 3.2.4 DIVERSIDADE DE PEIXES | 13 |
| 3.2.5 DIVERSIDADE DE ANFÍBIOS | 14 |
| 3.2.6 DIVERSIDADE DE RÉPTEIS | 16 |
| 3.2.7 DIVERSIDADE DE AVES | 16 |
| 3.2.8 DIVERSIDADE DE MAMÍFEROS | 18 |
| 3.2.9 DIVERSIDADE DE PARASITAS E PATÓGENOS (E SUAS INTERAÇÕES COM MAMÍFEROS HOSPEDEIROS) | 19 |
| 3.3 PROCESSOS ECOLÓGICOS EXCEPCIONAIS E ADAPTAÇÕES EM ECOSSISTEMAS TERRESTRES E AQUÁTICOS | 21 |
| 3.3.1 INTERAÇÕES PLANTA-ANIMAL | 21 |
| 3.3.2 PULSOS DE INUNDAÇÕES E FLUXO DE NUTRIENTES | 22 |
| 3.3.3 MIGRAÇÕES DE PEIXES | 23 |
| 3.3.4 VARIAÇÃO AMBIENTAL E ADAPTAÇÃO DE ORGANISMOS | 25 |
| 3.4 PLASTICIDADE GENÉTICA E DIVERSIDADE MOLECULAR | 25 |
| 3.5 DIVERSIDADE FUNCIONAL | 26 |
| 3.6 CONHECIMENTO INCOMPLETO DA BIODIVERSIDADE | 29 |
| 3.7 CONCLUSÕES | 29 |
| 3.8 RECOMENDAÇÕES | 31 |
| 3.9 REFERÊNCIAS | 37 |

Resumo Gráfico



Figura 3.A A Amazônia é a área de maior biodiversidade para a maioria dos grupos taxonômicos. As fotos mostram espécies e ecossistemas icônicos ao longo do gradiente altitudinal da região, assim como as interações de espécies selecionadas. Ilustração de fundo por ekolara. Fotos de Esteban Suárez, Galo Zapata-Ríos, Fernando Trujillo, Robert Schlappal/© Superbass / CC-BY-SA-3.0 (via Wikimedia Commons).

Diversidade Biológica e Redes Ecológicas na Amazônia

Galo Zapata-Ríos^a, Cecilia S. Andreazzi^b, Ana Carolina Carnaval^c, Carolina Rodrigues da Costa Doria^d, Fabrice Duponchelle^e, Alexander Flecker^f, Juan M. Guayasamín^g, Sebastian Heilpern^h, Clinton N. Jenkinsⁱ, Carla Maldonado^j, Diego Meneghelli^k, Guido Miranda^l, Mónica Moraes R.^j, Miles Silman^m, Maria Aurea Pinheiro de Almeida Silveira^d, Gabriella Tabet^b, Fernando Trujilloⁿ, Carmen Ulloa Ulloa^o, Julia Arieira^p

Palavras Chaves

- A Bacia Amazônica é uma das áreas de maior biodiversidade do mundo para a maioria dos grupos taxonômicos. A diversidade varia geograficamente, com alguns grupos sendo mais diversos nas planícies amazônicas, enquanto outros prosperam nos Andes.
- As avaliações atuais subestimam a verdadeira riqueza de espécies da Amazônia, em parte devido à dificuldade de amostragem nesta vasta região. A Amazônia exibe uma taxa incrivelmente alta de descoberta de novas espécies (uma a cada dois dias) e, no ritmo atual, levará vários séculos para compilar uma lista completa de plantas e animais (sem mencionar sua distribuição geográfica, história natural e estado de conservação). Além disso, alguns grupos, como fungos, algas, líquenes e bactérias, são pouco estudados.
- As interações planta-animal são um processo ecológico central nas florestas amazônicas, sem o qual essas florestas deixariam de existir. Tais interações levaram à evolução da alta diversidade de espécies. Essas redes de mutualistas e consumidores determinam todos os aspectos das florestas amazônicas e são responsáveis por sua composição, regulação de espécies, recuperação de perturbações e geração da biodiversidade que compreende a floresta, os rios e outros ecossistemas.

^a Wildlife Conservation Society Ecuador Program, Mariana de Jesús E7-248 y La Pradera, Quito, Ecuador, gzapata@wcs.org

^b Instituto Oswaldo Cruz (IOC/Fiocruz), Av. Brasil 4365, Manguinhos, Rio de Janeiro RJ 21040-900, Brazil

^c City College of New York, 160 Convent Ave, New York NY 10031, USA

^d Universidade Federal de Rondônia, Av. Pres. Dutra 2965, Olaria, Porto Velho RO 76801-058, Brazil

^e Institut de Recherche pour le Développement, 44 bd de Dunkerque, Immeuble Le Sextant CS 90009, F-13572 Marseille cedex 02, France

^f Cornell University, E145 Corson Hall, Ithaca New York 14853, USA

^g Universidad San Francisco de Quito (USFQ), Instituto Biósfera-USFQ, Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales COCIBA, Laboratorio de Biología Evolutiva, campus Cumbayá, Diego de Robles s/n, Quito 170901, Quito, Ecuador

^h Columbia University, 535 W 116th St, New York NY 10027, USA

ⁱ Florida International University, 11200 SW 8th Street, Miami FL 33199, USA

^j Herbario Nacional de Bolivia, Instituto de Ecología, Universidad Mayor de San Andrés, Av. Villazón N° 1995, Plaza del Bicentenario, Zona Central, La Paz, Bolivia

^k Grupo de Estudos da Biodiversidade da Amazônia Sul-Occidental, Universidade Federal de Rondônia (UNIR), BR 364, Km 9.5, CEP 76801-059 Porto Velho RO, Brazil

^l Wildlife Conservation Society, Bolivia Program, C. Gabino Villanueva N° 340, Calacoto, La Paz, Bolivia

^m Wake Forest University, 1834 Wake Forest Road, Winston-Salem, NC 27109, USA

ⁿ Fundación Omacha, Carrera 20 N° 133 – 32, barrio La Calleja, Bogotá DC, Colombia

^o Missouri Botanical Garden, 4344 Shaw Blvd, St. Louis MO 63110, USA

^p Universidade Federal do Espírito Santo, Instituto de Estudos Climáticos, Av. Fernando Ferrari, 514, Goiabeiras, Vitória, ES, Brazil; Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Áreas Úmidas (INAU), Universidade Federal de Mato Grosso, R. Quarenta e Nove, 2367, Boa Esperança, Cuiabá, MT, Brazil

Resumo

Os cientistas não conseguiram estimar, na ordem de magnitude mais próxima, o número de espécies na Amazônia. Embora a Amazônia inclua uma das maiores florestas do mundo, também é uma das menos conhecidas biologicamente. Documentar sua biodiversidade é um desafio devido ao seu tamanho imenso, sua heterogeneidade e o acesso limitado. Com base no conhecimento atual, a Amazônia apresenta a maior densidade de espécies, bem como o maior número de espécies ameaçadas (muitas delas endêmicas) para plantas vasculares e não vasculares, peixes, anfíbios, aves e mamíferos. Ainda falta um conhecimento mais profundo dos padrões de biodiversidade, e a rotatividade espacial das assembleias de espécies em diferentes escalas permanece pouco compreendida. Na Amazônia, também podemos encontrar alguns exemplos notáveis de comportamento animal. Por exemplo, muitos peixes migram por longas distâncias e alguns deles realizam as mais longas migrações de água doce conhecidas no mundo, percorrendo toda a extensão da Bacia Amazônica em uma migração de ida e volta de ~12.000 km. Também é importante considerar que as interações planta-animal e as interações tróficas são processos ecológicos centrais nas florestas amazônicas. As interrupções dessas interações podem alterar a composição da comunidade florestal a longo prazo. A diversidade funcional, incluindo variações intra e interespecíficas, atraiu recentemente a atenção dos cientistas e é evidente que ela contribui para a resiliência da comunidade e do ecossistema a perturbações, incluindo mudanças climáticas. Ainda há muito a aprender sobre a biodiversidade amazônica, assembleias de espécies e interações ecológicas. Existem vieses espaciais e taxonômicos nos dados (incluindo muitos locais inexplorados e grupos taxonômicos menos conhecidos), que afetam nossa compreensão dos padrões de biodiversidade na Amazônia. Este capítulo destaca a necessidade de pesquisas mais básicas e aplicadas para melhorar nosso conhecimento dos padrões de biodiversidade em toda a região. Essas informações são fundamentais para entender os impactos das atividades humanas e informar sobre as ações de conservação e restauração.

Palavras-chave: Biodiversidade, riqueza de espécies, endemismo, fauna, flora, interações planta-animal, migração, diversidade filogenética, diversidade funcional.

3.1 Por que a Amazônia é tão rica em espécies e ecossistemas?

A Amazônia é a área com a maior diversidade biológica do planeta. Abrangendo aproximadamente 5.800.000km², a biodiversidade na província biogeográfica amazônica é incomensurável. Mais de um décimo das espécies do mundo ocorrem nesta região (Mittermeier et al. 2002). As avaliações da riqueza de espécies indicam cerca de 50 mil plantas vasculares, pelo menos 2406 peixes na Bacia Amazônica e 427 anfíbios, 371 répteis, 1 300 aves e 425 mamíferos na floresta amazônica (Mittermeier et al, 2003, Hubell et al. 2008, Jézéquel et al. 2020). Esses números são subestimativas grosseiras dos números reais e, para alguns grupos, são tendenciosos para a Amazônia Brasileira (<http://censo.museu-goeldi.br:8080/museugoeldi-web-1.2.0>). Além disso, esses números destacam a necessidade de mais pesquisas básicas sobre padrões de biodiversidade em toda a região (ver Quadro 3.2 para estimativas de números de riqueza de espécies que in-

cluem a seção andina da Bacia, com base em registros do Global Biodiversity Information Facility, GBIF). O endemismo também é alto na Bacia Amazônica. Por exemplo, nas planícies da Amazônia, aproximadamente 40% dos mamíferos, 70% dos répteis e 86% dos anfíbios não são encontrados em outros lugares (Mittermeier et al. 2003). Os ecossistemas amazônicos variam de florestas e savanas a várzeas (consulte o Capítulo 4). Os três principais tipos de água (águas brancas, negras e claras) diferem em sua origem e composição de sedimentos e minerais, formando um mosaico único de ecossistemas de água doce em toda a Bacia (ver Capítulo 4). A diversidade da vida na Amazônia é surpreendente, mas por que a Amazônia é tão rica em espécies e ecossistemas? Muitos processos contribuíram para gerar a alta biodiversidade amazônica (veja o Capítulo 2 para diferentes modelos de diversificação). Variáveis como tectônica, hidroclima, fatores evolutivos e ecológicos (ver Capítulo 2), regimes de perturbação e o legado mais recente de uma paisagem cultural (ver

Capítulo 10) estão entre os processos mais importantes.

Biodiversidade refere-se ao número de espécies, à variedade e variabilidade de organismos vivos (*por exemplo*, plantas, animais, fungos, microrganismos), incluindo ecossistemas terrestres, subterrâneos, marinhos e outros ecossistemas aquáticos e os complexos ecológicos dos quais eles fazem parte. Incluída no conceito de biodiversidade está a variedade dentro de espécies (diversidade genética), entre espécies e de ecossistemas (Convenção das Nações Unidas sobre Diversidade Biológica, <https://www.cbd.int/convention/articles/?a=cbd-02>). Os cientistas ainda não conseguiram estimar a ordem de magnitude mais próxima do número de espécies que vivem na Amazônia. Os pesquisadores continuam descobrindo novas espécies, mesmo entre os grupos taxonômicos mais conhecidos, como mamíferos e aves (Patterson 2001, Milá *et al.* 2012, Ribas e Aleixo 2019). Para muitos táxons de invertebrados, a biodiversidade não descrita é tão prevalente que os cientistas descreveram apenas uma pequena fração das espécies que ocorrem na região.

A Amazônia é um ícone global da biodiversidade. O conhecimento atual sobre a distribuição das espécies sugere padrões biogeográficos complexos (Ribas *et al.* 2012, Naka e Brumfield 2018, Silva *et al.* 2019, Moraes *et al.* 2020). Após considerar esses padrões biogeográficos e a história geológica e climática da região, os pesquisadores propuseram várias hipóteses para explicar a origem da alta biodiversidade amazônica (Haffer 2008, Leite e Rogers 2013). A relação entre dados biológicos, climáticos e geológicos (Baker *et al.* 2014) é importante para elucidar a história, origem e destino ambiental da biodiversidade amazônica. No entanto, os padrões biogeográficos variam consideravelmente entre os grupos taxonômicos, adicionando complexidade à análise da história ambiental e da diversificação biótica.

O estabelecimento de um sistema de drenagem transcontinental durante o Mioceno (9,4 a 9,0 Ma) pode ter promovido a evolução recente das comunidades de *terra firme* nas planícies da Amazônia ocidental (Hoorn *et al.* 2010, Ribas e Aleixo 2019). Em contrapartida, os diferentes habitats alagados dependem dos ambientes associados à dinâmica dos

rios e ao ciclo de cheias (o pulso de inundação), de modo que sua evolução está ligada ao amplo sistema de drenagem da Amazônia (Toews *et al.* 2016, Moraes *et al.* 2016). A dinâmica ribeirinha pode ter influenciado a evolução recente e distribuição de espécies adaptadas a ambientes alagados e talvez tenha interrompido o movimento entre populações orientais e ocidentais da Amazônia, como sugerido pela variação fenotípica em vertebrados e confirmado por análises genômicas (por exemplo, Leite e Rogers 2013). Além disso, como resposta a mudanças geológicas mais amplas, a maioria das espécies foi capaz de gerar diferentes graus de diversidade genética intraespecífica, dependendo de como elas responderam às mudanças físicas em seus habitats (Ribas e Aleixo 2019). Portanto, outro fator fundamental para a diversidade biológica regional é a heterogeneidade ambiental associada à elevação dos Andes e ao pulso e flutuação das cheias sazonais nas grandes planícies fluviais aluviais da Amazônia, complementadas por eventos climáticos macrorregionais (Junk 1997).

Este capítulo fornece uma visão geral da biodiversidade na região amazônica, explica por que essa região é tão rica em espécies e ecossistemas e descreve alguns processos ecológicos excepcionais que fazem da Amazônia um ícone do mundo natural. Grupos taxonômicos terrestres e aquáticos selecionados exibem o quanto sabemos e, mais importante, o quanto ainda não sabemos e temos que descobrir. Uma compreensão clara dos níveis de biodiversidade e suas variações espaciais e temporais é crucial para entender a estabilidade futura sob diferentes cenários de mudanças climáticas e informar sobre os esforços de conservação.

3.2 Padrões de diversidade biológica de grupos taxonômicos selecionados

3.2.1 Plantas Vasculares

A transmissão oral intangível perpetuou o conhecimento tradicional, as práticas agrícolas, os usos medicinais e os usos culinários das plantas amazônicas de geração em geração. Representações pictóricas em artefatos (por exemplo, têxteis, cerâmica, joias)

e restos arqueológicos deixados em toda a terra (ver, por exemplo, Mesía Montenegro 2014, Zarillo *et al.* 2018) apontam para usos tradicionais e domesticação de muitas plantas (Quadro 3.1). Os primeiros europeus narraram e ilustraram plantas domesticadas, como pimenta, mandioca e tabaco, bem como a primeira ilustração e deliciosa descrição do abacaxi (Cobo 1964[1653], Fernández de Oviedo e Valdés 1526, Myers 2007, Piso e Marcgrave 1648). Apesar do longo uso tradicional de algumas dessas plantas, desconhecemos ainda os benefícios potenciais da grande maioria das espécies (Alcantara-Rodriguez 2019, Antonelli *et al.* 2019, Conselho Nacional de Pesquisa 1989). A coroa espanhola financiou expedições botânicas às colônias sul-americanas no século XVIII com o objetivo de descobrir e documentar plantas medicinais, como o quinino (casca de cascarilla, *Cinchona officinalis*; Ruiz 1792, Ruiz e Pavón 1801). Essas primeiras expedições, juntamente com as posteriores europeias, coletaram milhares de espécimes de herbário e publicaram trabalhos que construíram a base da taxonomia moderna de plantas da Amazônia (por exemplo, Aublet 1775, Guiana Francesa; Ruiz e Pavón 1798–1802, Peru; Humboldt e Bonpland 1816–1818, norte da América do Sul; von Martius e colaboradores 1840–1906, Brasil, na época a primeira flora completa de um país sul-americano). No século XIX, os primeiros museus com herbários associados foram abertos nos jovens países (Museu Nacional do Rio de Janeiro em 1831, Universidade Central de Quito em 1860, Museu Paraense Emílio Goeldi em 1866, Universidade de Georgetown em 1879, Jardim Botânico do Rio de Janeiro em 1890), seguidos por muitos outros na virada do século XX. Durante a segunda metade do século XX, inúmeras iniciativas no país e colaborações internacionais em pesquisa e exploração botânica resultaram em novos herbários em museus e universidades, milhares de espécimes coletados, novas espécies de plantas descritas para a ciência e uma série de publicações de pesquisa florística. Nos últimos trinta anos, com o avanço dos recursos eletrônicos (herbários virtuais, bibliotecas digitais, bancos de dados), catálogos de plantas ou listas de controle (uma lista com curadoria de nomes de espécies) tornaram-se uma maneira mais

rápida de compilar informações e foram publicados para cada país (BFG 2018, Ulloa Ulloa *et al.* 2017, Ulloa Ulloa e Jørgensen 2018, Tabela 3.1). Ainda não existe uma flora moderna completa (na forma de trabalho descritivo revisado, com chaves de identificação e ilustrações) para nenhum país da região, mas colaborações online inovadoras estão sendo criadas (Tabela 3.1). Uma compilação recente de uma lista de plantas vasculares das Américas (Ulloa Ulloa *et al.* 2017) sintetizou as notáveis realizações de expedições de plantas, colecionadores e descritores, floras regionais e dezenas de milhares de publicações (Givnish, 2017). Os países amazônicos (Venezuela, Colômbia, Equador, Peru, Bolívia, Brasil, Guiana, Suriname e o departamento ultramarino francês da Guiana Francesa) são conhecidos por abrigar cerca de 79.600 espécies de plantas vasculares nativas, que correspondem a 20% de todas as plantas do mundo (Ulloa Ulloa *et al.* 2017, 2020; Nic Lughadha *et al.* 2016; Tabela 3.1). Aproximadamente 4% das descrições de espécies de plantas foram adicionadas de 2017 a 2020, e das 79.600 plantas vasculares atualmente conhecidas, 61% (48.531) são endêmicas (Ulloa Ulloa *et al.* 2020, Tabela 3.1, Figura 3.1). Não há uma lista oficial de todas as plantas vasculares da Bacia Amazônica, mas as estimativas para plantas de sementes que brotam abaixo de mil metros de altitude variam de 14 mil a 50 mil espécies (Gentry *et al.* 1997, Lewinsohn e Prado 2005, Cardoso *et al.* 2017). As estimativas para árvores de planície variam entre 6 mil e 16 mil espécies, incluindo pelo menos mil árvores resistentes a inundações e 388 plantas herbáceas (Junk e Piedade 1993; Cardoso *et al.* 2017; Ter Steege *et al.* 2016, 2020), enfatizando nosso conhecimento imperfeito da riqueza para as plantas amazônicas.

As atividades humanas podem ameaçar muitas espécies de plantas amazônicas, particularmente aquelas com faixas geográficas restritas (Ulloa Ulloa *et al.* 2017). As categorias da Lista Vermelha da IUCN (União Internacional para a Conservação da Natureza, 2001) foram usadas para avaliar o estado de conservação de plantas endêmicas do Equador (León-Yáñez *et al.* 2011), Peru (León *et al.* 2006) e Brasil (Martins *et al.* 2018). Sessenta e cinco por cento das espécies endêmicas avaliadas (8.564)

Tabela 3.1 Diversidade de plantas vasculares nativas (todas as plantas) em países e referências amazônicas.

| País/Região | Guianas (Guiana, Suriname, Guiana Francesa) | Venezuela | Colômbia | Equador | Peru | Bolívia | Brasil |
|---|--|--|--|--|--|--|---|
| Plantas Vasculares Totais (Os números entre parênteses são o número total de espécies endêmicas) (Ulloa Ulloa <i>et al.</i> 2020) | 8 389 (1 183) | 15 395 (3 475) | 24 047 (7 420) | 18 505 (5 992) | 19 836 (7 875) | 14 736 (3 097) | 34 472 (19 489) |
| Abaixo de 1000 m, Plantas de Sementes (Cardoso <i>et al.</i> 2017 ou especificado) | 6 890 [incl. Venezuela] | | 5 835 (Bernal <i>et al.</i> 2015) | 3 607 | 5 401 | 3 518 | 11 846 (BFG 2018) |
| Flora do País em Andamento | Flora das Guianas (Görts-van Rijn e colaboradores 1986–presente) | Flora da Venezuela (Lasser <i>et al.</i> editores 1968–presente) Flora da Guiana Venezuelana (Steyermark <i>et al.</i> 1995–2005) | Flora da Colômbia (1983–presente) | Flora do Equador (Sparre <i>et al.</i> editores, 1973–presente) | Flora do Peru (MacBride e colaboradores 1936–presente, ver Gentry, 1980) | Flora da Bolívia (Em preparação, ver Menezes <i>et al.</i> 2015) | Flora do Brasil 2020 online |
| Catálogo de Plantas | Funk <i>et al.</i> (2007); Feuillet (2009) | Hokche <i>et al.</i> (2008). | Bernal <i>et al.</i> (2015) | Jørgensen e León-Yáñez (1999); Ulloa Ulloa e Neill (2005); Neill e Ulloa Ulloa (2011) | Brako e Zarucchi (1993); Ulloa Ulloa <i>et al.</i> (2004) | Jørgensen <i>et al.</i> (2014) | Forzza <i>et al.</i> (2010); BFG (2018) |
| Endemias na Lista Vermelha | | Huérffano <i>et al.</i> (2020) | Em andamento (Calderón <i>et al.</i> 2002–presente, não exclusivo para plantas endêmicas) | León-Yáñez <i>et al.</i> 2011 | León <i>et al.</i> (2006 [2007]) | Em andamento (Navarro <i>et al.</i> 2012–presente) | Martins <i>et al.</i> (2018) |
| Plantas Úteis / Medicinais Existem inúmeras publicações locais e regionais. Citamos aqui apenas a nível nacional. | | Guánchez (1999) | Pérez Arbelaez (1956, 1990) | De La Torre <i>et al.</i> (2008); Ríos <i>et al.</i> (2007) | Brack Egg (1999), Reynel (2003). | | Ver Dutra <i>et al.</i> (2016); Vieira <i>et al.</i> (2016); Coradin <i>et al.</i> (2018) Mors <i>et al.</i> , (2000), Modolo e Foglio (2019) |
| Regional | Correa Q. (1989); Conselho Nacional de Pesquisa (1989); Estrella (1995), Villachica (1996), Tejedor Garavito <i>et al.</i> (2012) | | | | | | |

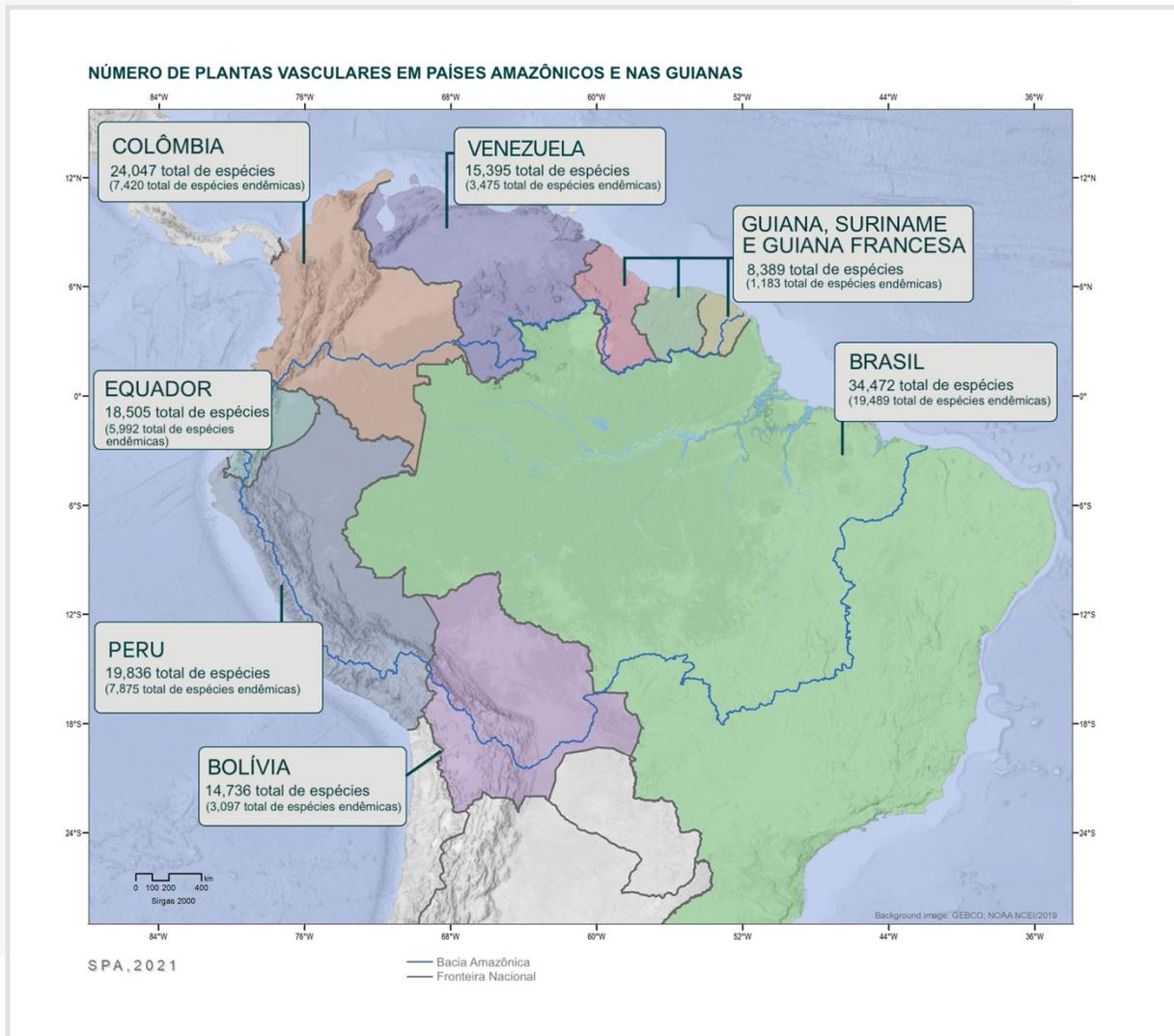


Figura 3.1 Número de plantas vasculares nos países amazônicos. Para cada área, são indicados o número total de espécies de plantas vasculares nativas e o número de espécies endêmicas (entre parênteses) (Dados de Ulloa Ulloa et al. 2020. Ilustração de C. Ulloa Ulloa).

estão ameaçadas, ou seja, listadas como Criticamente Ameaçadas (CR), Ameaçadas (EN) ou Vulneráveis (VU) na Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas da IUCN (Figura 3.2). Esse percentual está bem acima do risco mundial estimado para países tropicais de 47% (Pitman e Jørgensen 2002). Além disso, 2.011 espécies endêmicas eram Deficientes em Dados (ou seja, sem informações suficientes para uma avaliação detalhada), o que poderia substituir o número de espécies ameaçadas. Espécies

pouco conhecidas poderiam ser extintas sem sequer serem relatadas (Humphreys *et al.* 2019). As plantas endêmicas avaliadas do Equador, Peru e Brasil (13.165 espécies) combinadas representam aproximadamente 19% de todas as espécies endêmicas (*ca.* 67.900) da América do Sul tropical (Ulloa Ulloa *et al.* 2017, Figura 3.2). Somente para o Equador, 78% das espécies vegetais endêmicas estão sob risco devido ao desmatamento ou alteração do habitat (León-Yáñez *et al.* 2011). Embora

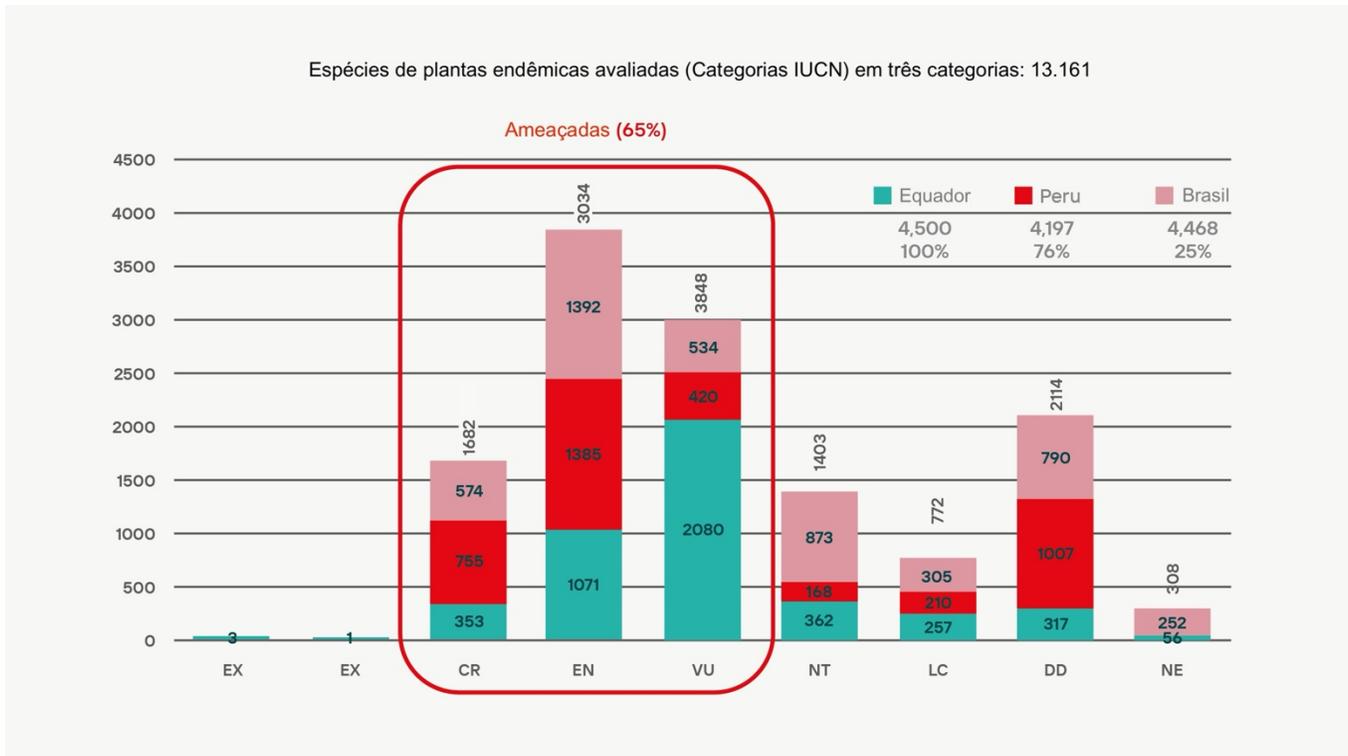


Figura 3.2 Plantas endêmicas (todas as plantas) do Brasil, Peru e Equador avaliadas nas categorias de estado de conservação da IUCN. O retângulo vermelho inclui as três categorias ameaçadas da Lista Vermelha da IUCN. Categorias da IUCN: EX=Extinto; EW=Extinto na Natureza; CR=Criticamente em Perigo; EN=Em Perigo; VU=Vulnerável; NT=Não Ameaçado; LC=Pouco Preocupante; DD= Deficiência de Dados; NE=Não Avaliado. Número de espécies vegetais endêmicas avaliadas: Equador 4.500 (100% de endêmicas, León-Yáñez *et al.* 2011), Peru 4.197 (76%, León *et al.* 2007), Brasil 4.468 (25%, Martins *et al.* 2018).

as Listas Vermelhas nacionais e os Livros de Dados Vermelhos possam ter restrições geográficas, eles fornecem uma visão geral de seu status e uma base para ações de conservação (Pitman e Jørgensen 2002).

3.2.2 Fungos, algas e plantas não vasculares

Plantas não vasculares (hepáticas, antóceros, musgos), algas e fungos são os principais condutores do ciclo de carbono e nutrientes em alta altitude (Beringer *et al.* 2001, Lang *et al.* 2009). Biogeograficamente, a diferença na abundância de plantas não vasculares na Amazônia é menor em comparação com as florestas andinas. Tal como acontece com as plantas vasculares, as plantas não vasculares têm seu centro de diversidade nos Andes tropicais, embora haja um aumento da diversidade de espécies com a altitude. Muitas vezes negligenciada nesses

habitats, a diversidade total desses táxons é tipicamente subestimada (Ferris *et al.* 1996).

Existe um grande número de espécies de algas e, embora as referências bibliográficas difiram significativamente nas estimativas do número de espécies, acredita-se que existam entre 30 mil e 50 mil espécies, das quais apenas metade foram descritas (Dos Santos 2016). As informações disponíveis sobre algas na Amazônia são muito escassas; nenhuma pesquisa tentou caracterizar a flora de microalgas ou algas subaéreas dessas florestas e examinar sua biodiversidade em detalhes usando métodos de última geração (Lopez-Bautista *et al.* 2007). Apresentar uma síntese do status de biodiversidade das algas da floresta tropical é difícil ou até impossível (Andersen, 1992).

Os fungos, por outro lado, são um reino próprio e são organismos diferentes de plantas e animais já que

excretam enzimas digestivas e absorvem nutrientes digeridos externamente. Embora os fatores que determinam sua diversidade permaneçam pouco explorados, as estimativas do número de espécies no planeta variam de meio milhão a quase 10 milhões. Estudos recentes têm sugerido que a diversidade fúngica é maior nas planícies do que nas encostas andinas (Arnold e Lutzoni 2007; Tedersoo *et al.* 2014), porém, estes últimos foram consideravelmente menos estudados (Barnes *et al.* 2016). Os líquens são compostos por dois organismos que vivem simbioticamente: fungos e células de algas fotossintéticas. Esses organismos são um dos componentes mais diversos da floresta amazônica (Sipman e Aptroot 2001, Lucking *et al.* 2009). Os grupos cortícola e foliícola são muito mais diversos do que as espécies saxícola (Lucking 2008). A quantidade excessiva de serrapilheira nessas florestas limita a diversidade de líquens terrestres; no entanto, existem alguns registros deles nas margens ou em deslizamentos de terra nas laterais de estradas.

Finalmente, os musgos representam a cobertura vegetal dominante em uma ampla gama de ecossistemas, especialmente aqueles que prosperam em ambientes de estresse por frio, onde geralmente adotam uma forma de almofada. No entanto, a diversidade de musgos na Amazônia é relativamente baixa. Embora 40 a 50 espécies possam ser encontradas em qualquer local específico, o aumento de espécies adicionais de um local para outro é baixo (Gradstein *et al.* 2001). Em geral, o conhecimento sobre a diversidade dos criptógamas é muito limitada (Scott *et al.* 1987, Brehm *et al.* 2008). Portanto, uma comparação da Amazônia com os Andes tropicais e áreas circundantes só pode se basear em estimativas usando uma alta rotatividade na composição de espécies ao longo dos gradientes de elevação. A diversidade desse grupo de plantas pode estar relacionada a fatores climáticos, edáficos e florísticos, mas é a umidade constante que favorece o crescimento desse grupo de plantas (Chaverri-Polini 1998).

3.2.3 Diversidade de insetos

Embora os insetos dominem o ecossistema terrestre (pelo número de espécies ou biomassa total), a

riqueza de insetos na região é completamente desconhecida (Adis 2007, Hanson e Nishida 2016). A entomofauna amazônica é incrivelmente rica ao longo de todos os estratos florestais verticais, e seria de se esperar que os padrões de distribuição das espécies em grandes escalas espaciais não sejam iguais nas diferentes regiões (Lucky *et al.* 2002, Erwin *et al.* 2005). Atribuímos aos insetos amazônicos números elevados de espécies, juntamente com altas densidades populacionais, especialmente aqueles que habitam o dossel da floresta (por exemplo, Adis *et al.* 1998, Erwin 1998). Por exemplo, Formicidae (as formigas) e Diptera (moscas, mosquitos e seus parentes) representaram 52% e 10%, respectivamente, dos mais de 300 artrópodes por metro quadrado obtidos ao nebulizar o dossel.

Além disso, um total de 95 espécies diferentes de formigas foram encontradas em uma única árvore, a mesma quantidade da fauna indígena de formigas na Alemanha (Adis 2007). Temos disponíveis informações muito limitadas sobre os centros de evolução e dispersão de insetos e de outros artrópodes que ocorrem na Amazônia. Os dados disponíveis (*por exemplo*, Erwin 1998, Adis 2007) sugerem que alguns grupos se originaram nos neotrópicos e distribuíram-se amplamente além das fronteiras da Amazônia (*por exemplo*, formigas cortadeiras, *Atta* spp.); enquanto outros grupos se originaram ao longo dos Andes ou do escudo da Guiana, com uma dispersão subsequente na Bacia Amazônica (*por exemplo*, Meinertellidae); e ainda há outros que se originaram na Amazônia, ao longo das planícies de várzea dos principais afluentes (*por exemplo*, alguns Carabidae).

Atualmente, é difícil prever se as mudanças na composição da comunidade estão relacionadas a diferenças nos tipos de vegetação, solo, clima, perturbação humana ou uma combinação muito sutil de todos esses fatores. Provavelmente, um conjunto próprio de fatores afeta os diferentes táxons e explica os padrões observados (*por exemplo*, Erwin *et al.* 2005, Oliveira *et al.* 2010, Solar *et al.* 2016). Em contraste com a quantidade de informações disponíveis para insetos terrestres e artrópodes, as comunida-

Quadro 3.1 Domesticação das plantas e influência humana

A Bacia Amazônica tem uma longa história de ocupação humana, de cultivo e domesticação de inúmeras plantas (Young *et al.* 2007, Pearsall 2008, Piperno 2011, Clement *et al.* 2016) (Figura B3.1.1). Na época do contato europeu, mais de cem espécies de plantas nativas já eram cultivadas tanto no alto dos Andes quanto na planície amazônica, incluindo feijão, cacau, mandioca, pimenta, amendoim, batata, batata-doce, inúmeras árvores frutíferas, palmeiras e muitas outras espécies tropicais americanas introduzidas na região (Pearsall 2008; Piperno 2011; Clement *et al.* 2010, 2015; Levis *et al.* 2017; Lombardo *et al.* 2020). No entanto, a imposição de métodos agrícolas europeus coloniais e culturas do hemisfério oriental relegou a maioria dessas espécies nativas ao consumo local e apenas um punhado ganhou importância mundial (National Research Council 1989, Ulloa Ulloa 2006, Young *et al.* 2007). No entanto, algumas espécies ainda são bem importantes na região (Alexiades e Shanley 2004, Shanley *et al.* 2011 FAO).

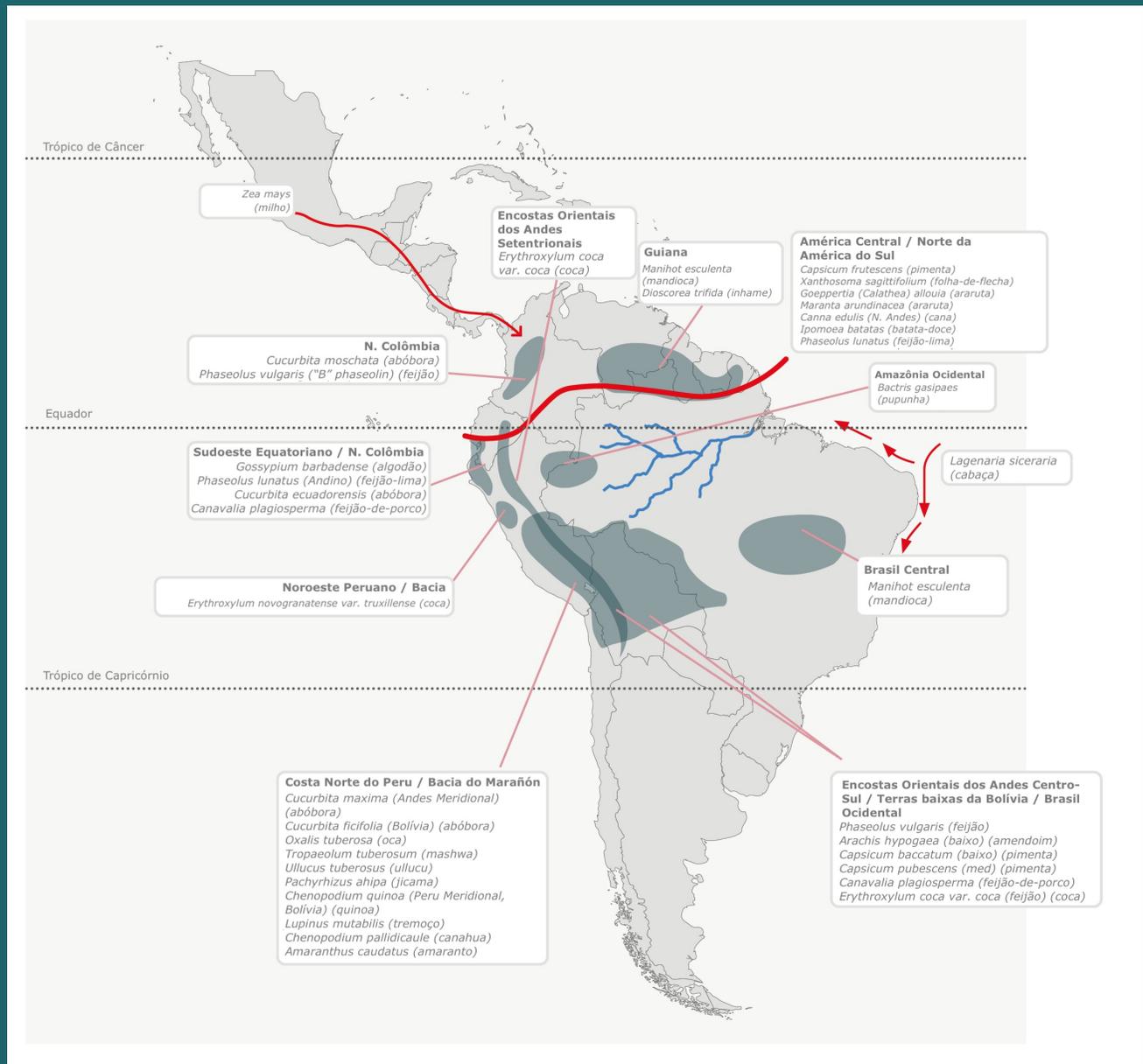


Figura B3.1.1 Áreas de origem das plantas domesticadas (adaptado de Pearsall, 2008).

A região dos Andes forneceu ao mundo a batata (complexo *Solanum tuberosum*), o tomate (*Solanum esculentum*), o pimentão, a pimenta *chili* (*Capsicum* spp.) e o feijão (espécie *Physalis*), selecionados e manipulados geneticamente há milhares de anos (Raimondi e Camadro 2003, Rodríguez-Burrouzo *et al.* 2003, Pearsall 2008).

Espécies de tubérculos menos conhecidas incluem *Arracacia xanthorrhiza* (mandioquinha), *Oxalis tuberosa* (oca), *Tropaeolum tuberosum* (mashua) e *Ullucus tuberosus* (olluco) (Conselho de Pesquisa Nacional 1989). Entre os pseudocereais, *Chenopodium quinoa* (quinoa) chegou recentemente aos mercados internacionais e se tornou um alimento importante nas dietas sem glúten. As árvores frutíferas originárias dos Andes são o tomateiro (*Solanum betaceum*), mamão (*Carica papaya*), lúcuma (*Pouteria lucuma*), várias espécies do gênero *Inga* e arbustos como lulo (*Solanum quitoense*), melão-andino (*Solanum muricatum*), fisális (*Physalis peruviana*) e nada menos que dez espécies de maracujá (espécies de *Passiflora*). Algumas dessas plantas chegaram aos mercados internacionais sendo cultivadas na Nova Zelândia e na Califórnia (Young *et al.* 2007).

Entre as espécies de plantas de uso polivalente com histórico de propagação e seleção humana estão as palmeiras (Arecaceae). Wallace (1853) foi o primeiro a relatar sobre as espécies de palmeiras na Amazônia como sendo úteis para os habitantes locais, e este foi o primeiro de uma série de esforços regionais em pesquisa etnobotânica, a nível local e regional e avaliações de exemplos de domesticação (Clement *et al.* 2010). Quando a colheita do palmito ocorre em propriedades comunais, os camponeses superexploram seus recursos (Balslev *et al.* 2015). A maioria das palmeiras nativas dos Andes tropicais (Colômbia à Bolívia, 67% das 336 espécies) tem usos e aplicações diferentes, o que inclui alimentos, construção e óleo (Valencia *et al.* 2013, Moraes *et al.* 2015). Enquanto exploravam a Venezuela, Humboldt e Bonpland (1805) coletaram e descreveram para a ciência a castanha-do-pará, *Bertholletia excelsa* (Lecythidaceae), uma espécie de árvore já bem conhecida muito antes da chegada dos exploradores europeus e amplamente espalhada pela planície amazônica. Análises recentes da composição de espécies arbóreas das florestas amazônicas de planícies revelaram “hiperdominância” de algumas espécies, particularmente espécies domesticadas, como a castanha-do-pará e várias espécies de palmeiras, indicando que as comunidades arbóreas modernas na Amazônia de planícies podem ser estruturadas, em grande medida, por uma longa história de domesticação de plantas pelos povos amazônicos (ter Steege *et al.* 2013, Levis *et al.* 2017). Manchas florestais dominadas por uma ou algumas plantas úteis são possivelmente o resultado de práticas de manejo ao longo de milênios (como queima controlada, plantio de sementes ou melhoria do solo) que alteraram a composição das espécies vegetais (Levis *et al.* 2020; Silva *et al.* 2021). Outros estudos de caso mostram que a Amazônia oferece uma lista impressionante de categorias de plantas úteis que também fizeram parte dos processos de domesticação. *Bixa orellana*, o urucum, muito utilizado na América tropical e mundialmente pela indústria cosmética e como corante alimentar, provavelmente foi domesticado no norte da América do Sul (Moreira *et al.* 2015). Pesquisas recentes revelaram vestígios de cacau (*Theobroma cacao*) em um sítio arqueológico no sopé dos Andes equatorianos que remonta a 5 300 anos (Zarillo *et al.* 2018). O uso de *Anadenanthera colubrina* (angico-branco) em pó — uma planta psicoativa sul-americana com ampla distribuição — pode ter sido particularmente importante para a cultura Tiwanacota (600-1 000 d.C.) na Bolívia, perto do Lago Titicaca (Pochettino *et al.* 1999); seu uso foi então amplamente difundido, coincidindo com florestas secas sazonais entre 300–2.200 m (Kvist e Moraes 2006). A bacia amazônica é um centro de diversidade para o algodão, como a mais amplamente distribuída *Gossypium barbadense* (Malvaceae), que é a segunda espécie mais cultivada e é conhecida por uma melhor qualidade de fibra (Liu *et al.* 2015). Culturas importantes que provavelmente originaram-se no sudoeste da Amazônia são a mandioca (*Manihot esculenta*), a pupunha (*Bactris gasipaes*) e o amendoim (*Arachis hypogea*) (Clement *et al.*, 2016). O medicamento mais importante dos Andes é o quinino (casca de cinchona, quinina), explorado irracionalmente e usado durante séculos para tratar a malária (Crawford 2016; Ortiz Crespo 1995, 2002; Ulloa Ulloa 2006 [2007]). Originalmente extraído da casca do gênero de árvores da floresta nublada *Cinchona*, o alcaloide é atualmente produzido sinteticamente e garante o sabor amargo da água tônica (Ulloa Ulloa 2016 [2007]). A planta da coca (*Erythroxylum coca*) cresce nas encostas quentes dos Andes, e as folhas são socialmente mastigadas ou bebidas em chá (mate de coca) há séculos, especialmente no Peru e na Bolívia, como estimulante e para ajudar com os efeitos do enjôo causado pela altitude.

des de artrópodes aquáticos são muito mais conhecidas como resultado do monitoramento da qualidade da água (*por exemplo*, Heckman 2011, Hamada *et al.* 2014).

Muitos estudos sobre insetos aquáticos amazônicos examinaram a qualidade da água devido à sensibilidade dos insetos à perda da floresta e outras mudanças antrópicas (Hamada *et al.* 2014), particularmente as formas larvais de grupos como Ephemeroptera, Trichoptera, Diptera, Plecoptera e Odonata (Brito *et al.* 2020). A redução de insetos aquáticos induzida pelo desmatamento também pode afetar a ictiofauna, já que as larvas aquáticas de muitos insetos são a principal fonte de alimento para muitas espécies de peixes pequenos e médios. Um dos maiores desafios é sistematizar o conhecimento taxonômico de insetos aquáticos e outros macroinvertebrados (Hamada *et al.* 2014) nos diferentes ecossistemas aquáticos da Amazônia.

A alta diversidade da fauna aquática está associada à heterogeneidade ambiental dos ecossistemas aquáticos amazônicos. Espécies de dez ordens de insetos têm hábitos aquáticos ou semi-aquáticos especializados. Destaca-se a ordem Diptera, que detém metade dos insetos aquáticos conhecidos, notadamente o Chironomidae (Trivinho-Strixino 2019). Vários táxons são considerados bioindicadores aquáticos devido à sua dependência ao ambiente aquático em pelo menos algum estágio de sua vida. A manutenção das matas ciliares evita a perda de espécies e serviços ecossistêmicos prestados pelas comunidades de insetos aquáticos (Dala'Corte *et al.* 2020, Dias-Silva *et al.* 2020). Ao atualizar a lista de Trichoptera, Paprocki e França (2014) encontraram um aumento de mais de 65% no número de espécies, das quais 90% eram novas espécies para a ciência, além de serem novos registros para o Brasil. Elmidae, uma das quatro maiores famílias de Coleópteros aquáticos, teve o primeiro checklist de espécies de Elmidae amazônicos publicado na última década por Passos *et al.* (2010). Há um aumento de novos registros e descrições de gêneros e espécies para a região amazônica (*e.g.*, Menezes *et al.* 2018, Almeida *et al.* 2020). No entanto, há muito ainda que desconhecemos. A formação de taxonomistas, o for-

talecimento das coleções e o aumento contínuo da taxa de descrição de novas espécies podem reduzir essa lacuna de conhecimento (Rafael *et al.* 2009).

3.2.4 Diversidade de peixes

A bacia amazônica contém a fauna de peixes mais diversificada de água doce do mundo, com 2 406 espécies válidas pertencentes a 514 gêneros, 56 famílias e 18 ordens (Jézéquel *et al.* 2020). Essa diversidade excepcional, que representa aproximadamente 15% dos peixes de água doce do mundo, inclui 58% de espécies não encontradas em nenhum outro lugar da Terra (1.402 endêmicas, Jézéquel *et al.* 2020). Parte dessa diversidade também inclui táxons marítimos que se adaptaram à água doce, como as diversas arraias da Amazônia. Ao contrário de muitas outras bacias hidrográficas do mundo, onde a riqueza de espécies aumenta rio abaixo ao longo de gradientes fluviais (Muneepeerakul *et al.* 2008, Ibañez *et al.* 2009), a diversidade de espécies e o endemismo apresentam gradientes decrescentes oeste-leste na Bacia Amazônica, sugerindo que a fauna de peixes amazônica contemporânea se originou e colonizou a partir da porção oeste da Bacia (Oberdorff *et al.* 2019). Esse padrão de diversidade de peixes também indica que a colonização da porção leste da Bacia ainda está incompleta e é interpretada pelos autores como sendo consistente com o estabelecimento recente do rio Amazonas moderno nos últimos 2,5 Ma aproximadamente, um tópico ainda amplamente debatido.

A importância da riqueza de espécies para a estabilidade, função e resiliência do ecossistema depende da diversidade e dos valores das características das espécies (diversidade funcional) e do grau de redundância funcional (grau de similaridade nas características funcionais) entre as assembleias de espécies (Flynn *et al.* 2009, Mouillot *et al.* 2013, Kelley *et al.* 2018). A Bacia Amazônica não só tem a maior diversidade de peixes de água doce do mundo, como também tem a maior diversidade funcional (Toussaint *et al.* 2016). Embora a diversidade funcional geralmente aumente com a diversidade taxonômica, a diversidade funcional da fauna de peixes da Amazônia é muito maior do que o esperado por

causa de sua diversidade já excepcional (Toussaint *et al.* 2016), sendo provavelmente um reflexo da variabilidade extremamente rica das condições ambientais locais (Leitão *et al.* 2018, Benone *et al.* 2020).

A diversidade de espécies de peixes na Bacia Amazônica inclui uma grande variedade de formas (incluindo espécies achatadas no eixo dorso-ventral ou lateralmente, anguilliformes ou em forma de globo), cores, adaptações (*por exemplo*, às baixas concentrações de oxigênio encontradas nas várzeas), hábitos tróficos (sucção de sangue, ingestão de escamas ou o aruanã [*Osteoglossum bicirrhosum*], que pula vários metros acima da água para se alimentar de insetos, aranhas, pássaros ou répteis em galhos de árvores) e adaptações reprodutivas (*por exemplo* o Piratantã [*Copeina arnoldi*], que desova em folhas de plantas terrestres, revisado por Carvalho *et al.* 2007). Isso também inclui uma grande variedade de tamanhos, desde espécies minúsculas que amadurecem com menos de 20 mm de comprimento corporal padrão ou não excedem um máximo de 26 mm (Weitzman e Vari 1988), até espécies grandes que atingem 3 m ou mais de comprimento, como o pirarucu (*Arapaima gigas*) ou o piraiá *Brachyplatystoma filamentosum*, ambos pesando mais de 200 kg (Nelson 1994, Lundberg e Littmann 2003). Muitas das espécies pequenas e em miniatura são exploradas como peixes de aquário e sustentam um importante comércio ornamental internacional, onde os principais mercados de exportação são Ásia, Europa e América do Norte (Andrews 1990, Anjos *et al.* 2009, Evers *et al.* 2019). Este comércio também inclui algumas espécies de grande porte que são capturadas e exportadas em estágios juvenis, como muitos bagres pimelodídeos (*Brachyplatystoma* spp., *Pseudoplatystoma* spp., etc.), ou os aruanãs amazônicos (Moreau e Coomes 2006). Em contraste, espécies de médio e grande porte (principalmente pertencentes à Ordem Characiforme e Siluriforme, mas também Perciforme, Cichliforme, Clupeiforme ou Osteoglossiforme) suportam pescarias importantes em toda a Bacia e servem como oportunidade econômica e a principal fonte de proteína animal para muitos dos habitantes da Bacia Amazônica (Barthem e Goulding 2007, Duponchelle *et al.* 2021).

3.2.5 Diversidade de Anfíbios

Os anfíbios são um grupo ecologicamente e comportamentalmente diverso de vertebrados contendo 8.380 espécies (Frost 2021) que variam dos mais comuns (rãs, sapos e salamandras) às cecílias fossoriais (Duellman e Trueb 1986, Wells 2013) (Figura 3.3). A Bacia Amazônica apresenta a maior densidade de espécies do mundo e um dos maiores números de espécies ameaçadas de extinção (AmphibiaWeb 2020, Bass *et al.* 2010, Scheele *et al.* 2019) (Figuras 3.4 e Figura 3.5).

A diversidade de anfíbios amazônicos permanece sendo subdescrita. Além de uma lacuna amostral, que está amplamente associada ao isolamento de alguns de seus habitats (Azevedo-Ramos e Gallati 2002), as revisões taxonômicas e os inventários são insuficientes para dar conta da diversidade e distribuição dos anfíbios amazônicos. Entre as salamandras amazônicas, por exemplo, estima-se que o percentual de espécies não descritas seja de até 400%, em relação ao número atual de espécies conhecidas (Jaramillo *et al.* 2020). Na Amazônia brasileira, as estimativas de diversidade de anfíbios aumentaram 40% em três anos (Azevedo-Ramos e Gallati 2002, Avila-Pires *et al.* 2007). Isso tem implicações tanto para a ciência básica quanto para a aplicada, incluindo a lista de espécies ameaçadas (Peloso 2010). Por exemplo, análises abrangentes de anfíbios amazônicos amplamente distribuídos revelam frequentemente uma diversidade enigmática desenfreada, descobrindo muitas espécies em faixas menores no que antes se supunha ser uma única espécie amplamente distribuída (Funk *et al.* 2012, Fouquet *et al.* 2007, Jaramillo *et al.* 2020; Vacher *et al.* 2020). Os padrões de biodiversidade de anfíbios exibem uma variação considerável dentro da Bacia Amazônica, muitas vezes impulsionada pelo impacto combinado da topografia, hidrologia, história evolutiva e ecologia das espécies locais (Fouquet *et al.* 2015). Grupos de anfíbios, como sapos arborícolas, peregrina-macacos e dendrobatídeos, são mais diversos nas florestas tropicais de planícies, enquanto outros, como centrolenídeos, rãs-arlequim e sapos-

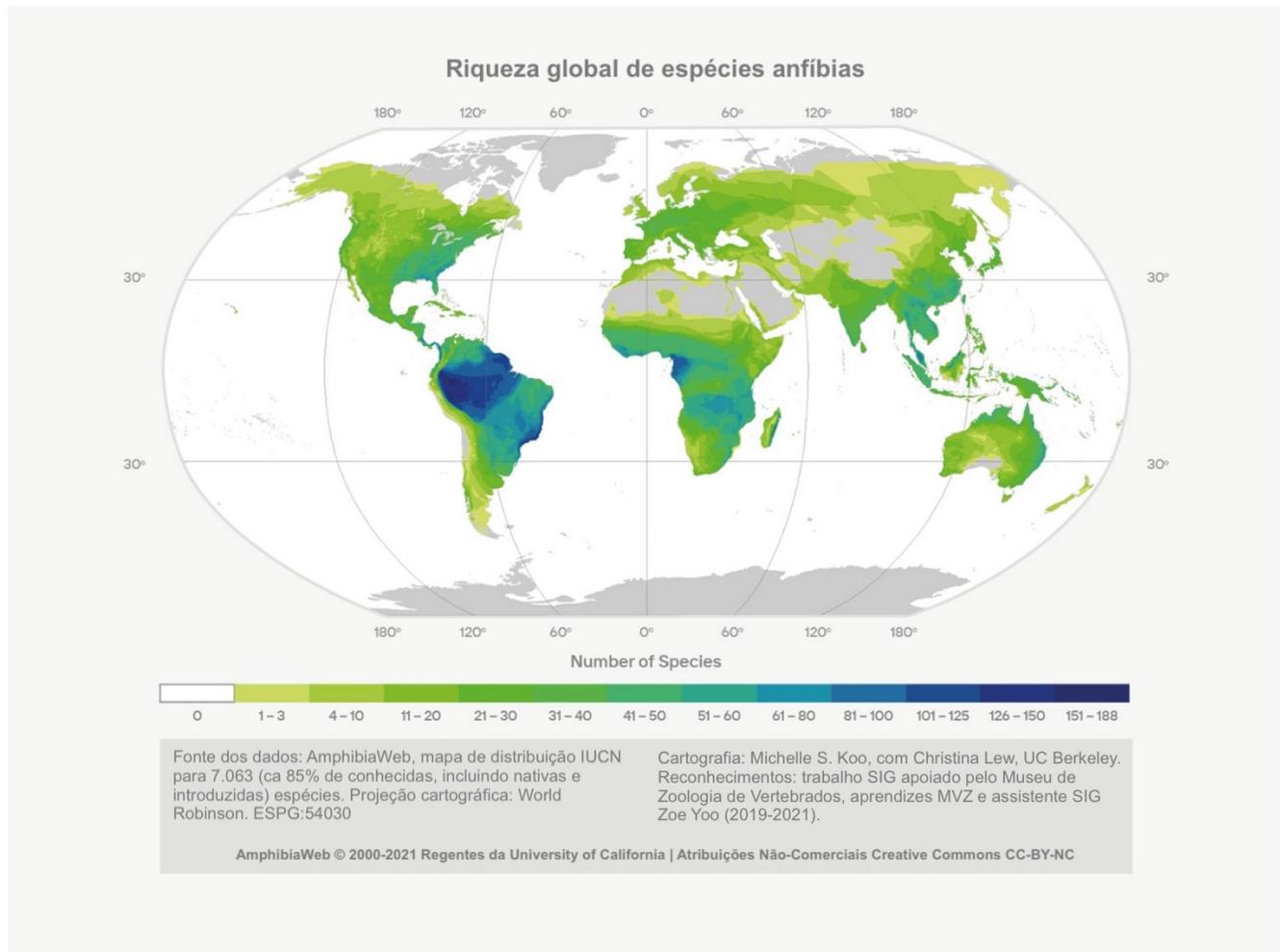


Figura 3.3 Riqueza global de espécies de anfíbios. Observe a alta diversidade alfa na floresta amazônica de várzea. Fonte: AmphibiaWeb (2020).

marsupiais são mais diversos nas florestas nubladas andinas (Frost 2021, Guayasamin *et al.* 2020). Os rios aparentam funcionar como barreiras para alguns táxons de anfíbios (especialmente espécies não ribeirinhas, Moraes *et al.* 2016), mas nem todos (Gascon *et al.* 2000). Seu impacto na distribuição de linhagens pode ser específico do rio (Funk *et al.* 2007b, Ortiz *et al.* 2018, Ferreira *et al.* 2020) e depende da ecologia da espécie (Fouquet *et al.* 2015). A elevação dos Andes e a dinâmica geológica resultante das planícies podem ter influenciado os padrões de diversidade de anfíbios na Amazônia, isso foi apoiado por um estudo de mudanças na composição de espécies ao longo dos transectos fluviais (Gaston *et al.* 2000). Estudos

baseados em DNA apoiam a ideia de que as comunidades amazônicas de planícies faziam parte de um conjunto conectado de ecossistemas neotropicais, que colonizaram repetidamente há mais de 10 milhões de anos. Os anfíbios colonizadores, especialmente dos Andes, contribuíram com novas linhagens para áreas adjacentes (Santos *et al.* 2009).

Preservar a diversidade de anfíbios da Bacia Amazônica é manter seus principais papéis ecológicos, valores culturais, histórias evolutivas únicas e também um potencial de bioprospecção (*por exemplo*, em espécies com alcaloides cutâneos potentes, como as rãs venenosas; Badio e Daly 1994, Daly 1995, Rodríguez *et al.* 2017). No entanto, dada a sua



Figura 3.4 Figura 3.4 Diversidade de anfíbios na bacia amazônica. (A) Embriões de *Nymphargus wileyi*. (B) *Hyloscirtus stauferorum*. (C) *Callimedusa tomopterna*. (D) Salamandra amazônica, *Bolitoglossa* sp. Fotos por Tropical Herping.

extrema vulnerabilidade à destruição de habitats, mudanças climáticas e doenças infecciosas, os anfíbios são frequentemente considerados em maior risco de extinção em relação a outros grupos de organismos (Schee-le *et al.* 2019, Stuart *et al.* 2004, Wake e Vredenburg 2008).

3.2.6 Diversidade de répteis

Os répteis estão entre os grupos de vertebrados mais diversificados de todo o planeta. Hoje temos registrados 11.341 espécies, em 92 famílias e 1.206 gêneros (Uetz e Hosed 2020). No entanto, mesmo com diversos estudos realizados na Amazônia nas últimas décadas, a diversidade de espécies continua a ser subestimada dada a frequente descoberta de novas espécies crípticas, demonstrando que ainda desconhecemos a real diversidade desse grupo (*e.g.*, Oliveira *et al.* 2016). A floresta amazônica registra 371 espécies que ocupam um número imenso de ambientes terrestres e aquáticos (Mittermeier *et al.* 2003, Ávila-Pires e Ramalho 2019). Os répteis têm padrões intrigantes de diversidade e distribuição em toda a Bacia Amazônica, como os conhecidos padrões de distribuição e diversidade ao longo dos gradientes latitudinais e do gradiente oeste-leste (Da Silva e Sites 1995, Guedes *et al.* 2018, Roll *et al.* 2017).

Além disso, os répteis escamados mostram um padrão intrigante de variação na riqueza de espécies ao longo de um gradiente norte-sul que vai do leste do Equador ao sudeste do Peru. Por exemplo, alguns estudos realizados no noroeste da Amazônia indicam uma maior diversidade de espécies em relação aos locais nas planícies amazônicas no sudeste (*e.g.*, Da Silva e Sites 1995). Recentemente, estimativas da riqueza de espécies obtidas em diferentes locais de amostragem, assim como de espécimes obtidos de coleções científicas, sugerem uma riqueza maior de espécies de serpentes no noroeste da Amazônia em comparação com a região sul (Rabosky *et al.* 2016). Além disso, esses e outros resultados implicam que a diversidade alfa para escamados distribuída ao norte da Amazônia pode ser até 30% maior em relação às comunidades do sul (Da Silva e Sites 1995, Duellman 2005).

3.2.7 Diversidade de aves

A Amazônia abriga o maior número de aves do mundo. Com pelo menos 1.300 espécies, das quais aproximadamente 265 são endêmicas, a Amazônia abriga aproximadamente 38% das aproximadamente 4 mil aves do Neotrópico (Nores 2000, Mittermeier *et al.* 2003). O verdadeiro número de espécies

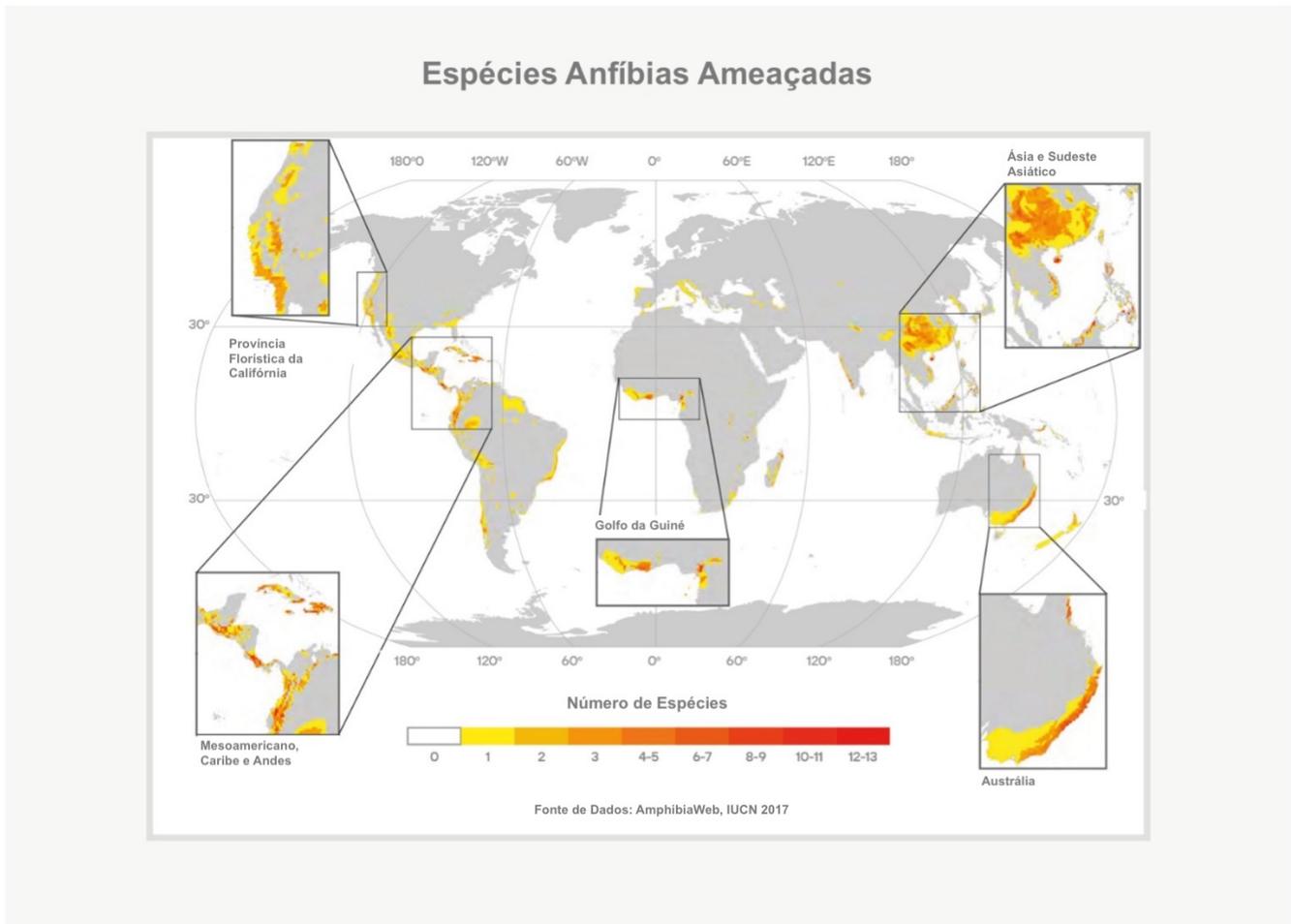


Figura 3.5. Espécies ameaçadas de anfíbios no mundo todo. Observe que inúmeras espécies dos planaltos da Bacia Amazônica estão ameaçadas. Fonte: AmphibiaWeb (2020).

de aves na Amazônia poderia ser muito maior. Estudos sistemáticos moleculares relativamente recentes revelaram que espécies tradicionalmente aceitas frequentemente agrupam várias linhagens geneticamente divergentes representando novas espécies crípticas reunidas (Milá *et al.* 2012). A diversidade de aves aumenta na proximidade com os Andes. A topografia e a ecologia mudam a uma altitude de aproximadamente 500 m, onde muitas espécies de aves de planície (~800) atingem sua faixa de elevação superior, e muitas aves andinas atingem sua faixa de elevação mais baixa (Nores 2000, 2011). Por várias décadas, os cientistas têm tentado entender a estrutura geográfica das comunidades de aves e as causas subjacentes aos padrões observados de especiação (*por exemplo*, Haffer 1969, Bates 2001, Pomara *et al.* 2010, Ribas e Aleixo 2019).

A evolução das aves amazônicas é um processo complexo, mas a sistemática molecular e os estudos filogeográficos sugerem que muitas linhagens aviárias se diversificaram recentemente durante o final do Terciário e o início do Quaternário (Weir 2006, Aleixo e Rossetti 2007, Silva *et al.* 2019). Este período coincide com grandes mudanças na paisagem (*por exemplo*, Colinvaux 1993, Haffer 1993, Bush 1994, Marroig e Cerqueira 1997). Parece que, durante o Plioceno, as faunas ancestrais de aves ocuparam principalmente habitats florestais de planaltos no norte e oeste da Amazônia. Após uma série de interações entre dinâmicas climáticas e barreiras ribeirinhas, linhagens aviárias começaram a se separar em lados opostos da região dos rios Negro e Madeira (os rios mais antigos da Bacia). Essas mudanças no clima e na conectividade afetaram as populações de aves de maneira

diferente, dependendo de suas necessidades ecológicas e do grau de especialização do habitat. Como resultado desses processos, atualmente, a Amazônia ocidental mais úmida contém faunas de aves mais antigas e ricas em comparação com a Amazônia oriental mais seca (Silva *et al.* 2019). No entanto, o conhecimento da evolução das aves amazônicas é um processo complexo cujos dados ainda estão fragmentados. Mais amostragens são necessárias para entender os padrões regionais de riqueza de espécies de aves e composição da comunidade na Amazônia (Oliveira *et al.* 2017).

3.2.8 Diversidade de mamíferos

A região amazônica abriga uma das mais ricas faunas de mamíferos do mundo, com aproximadamente 140 gêneros e 425 espécies (Mittermeier *et al.* 2003). Os mamíferos amazônicos representam aproximadamente um terço de toda a diversidade de mamíferos da América do Sul, de aproximadamente 1.260 espécies (Bonvicino e Weksler, 2012). Além disso, vários locais da Amazônia apresentam a maior diversidade alfa de mamíferos não voadores em qualquer lugar da Terra (Peres, 1999, da Silva *et al.* 2015). No entanto, o número de espécies em qualquer localidade da Amazônia varia significativamente, dependendo dos tipos de floresta e da diversidade de habitats. As comunidades de mamíferos em florestas sazonalmente alagadas (*várzea*), por exemplo, podem ser consideradas relativamente empobrecidas quando comparadas com as florestas vizinhas de *terra firme*, embora a densidade e a biomassa possam ser significativamente maiores na *várzea* do que na *terra firme* (Peres 1997, Haugaasen e Peres 2005). O endemismo também é muito alto, com 10 gêneros endêmicos e 144 espécies de mamíferos (34% do total) encontrados apenas na Amazônia (Pires *et al.* 2000, Solari *et al.* 2012). Essa impressionante diversidade de mamíferos não é distribuída igualmente entre as ordens. O alto nível de endemismo das espécies de mamíferos amazônicos deve-se principalmente à entrada de três ordens, marsupiais, roedores e primatas, que possuem juntos por volta de 80% de todas as espécies endêmicas (Voss e Emmons 1996, Paglia *et al.* 2012).

Apesar desses números, a fauna de mamíferos dessa vasta região ainda está subamostrada, e não há levantamentos exaustivos suficientes de mamíferos. Como resultado, a rotatividade espacial das assembleias de espécies em diferentes escalas permanece pouco compreendida (Voss e Emmons 1996, Peres 1999, Solari *et al.* 2012). Com base nos inventários de mamíferos realizados em toda a Amazônia, tem sido sugerido que as comunidades de mamíferos na Amazônia ocidental são as mais diversas da região, dos Neotrópicos e, provavelmente, do mundo. As explicações para esse padrão incluem fatores ecológicos atuais, como clima, habitat e heterogeneidade topográfica; produtividade primária; e dinâmica do ecossistema (Voss e Emmons 1996, Peres 1999; Machado *et al.* 2019). Os mamíferos são considerados bem conhecidos porque a taxa em que novas espécies são descobertas é baixa em comparação com outros grupos. No entanto, nos últimos anos, várias novas espécies foram descritas e novos registros estenderam as faixas geográficas de algumas espécies em centenas de quilômetros (Patterson 2001, 2020). Ainda estamos aprendendo sobre a fascinante diversidade de mamíferos amazônicos, e esse conhecimento é fundamental para a conservação da região amazônica.

A Amazônia experimentou um processo dinâmico de transformação ao longo de sua história, incluindo transgressões marinhas e mudanças abruptas no fluxo de seus corpos hídricos. A criação de barreiras geográficas, como corredeiras e riachos, permitiu que muitas espécies prosperassem e outras desaparecessem. Entre eles, os mamíferos aquáticos desempenham um papel importante. Os botos do gênero *Inia* se deslocaram do Atlântico para o centro do continente na Bolívia, onde foram isolados há cerca de 3,1 milhões de anos pelo rio Madeira (Hollatz *et al.* 2011), enquanto outros se dispersaram pela Amazônia e região do Orinoco. Atualmente, apenas a presença da espécie *Inia geoffrensis* é reconhecida com duas subespécies: *Inia geoffrensis geoffrensis* distribuída na Amazônia e Orinoquia, e *Inia geoffrensis boliviensis* na Bolívia e no Rio Madeira (Da Silva *et al.* 2018). No entanto, há evidências que

sugerem que a unidade boliviana pode ser uma espécie diferente (*Inia boliviensis*), enquanto no complexo Tocantins/Araguaia no Brasil há o *Inia araguaiaensis* (Hrbek *et al.* 2014). Da mesma forma, há aproximadamente 2,5 milhões de anos, o nível do oceano subiu aproximadamente 150 metros e gerou mais uma transgressão do mar na Amazônia, promovendo a entrada de mais um boto do gênero *Sotalia*. Esta espécie se adaptou às condições de água doce, evoluindo para *Sotalia fluviatilis* há aproximadamente 1,2 milhão de anos. Além disso, há evidências que sugerem que durante o Plioceno, cerca de 4,5 milhões de anos atrás, houve um deslocamento de peixes-boi do Atlântico para a Amazônia, dando origem à única espécie de peixe-boi de água doce, *Trichechus inunguis*, distribuída no Brasil, Colômbia, Peru e Equador (Domning 1982). Outro importante grupo de mamíferos aquáticos na Amazônia são as lontras; a ariranha (*Pteronura brasiliensis*) e a lontra neotropical (*Lontra longicaudis*), cuja origem parece estar associada às mudanças geológicas, hidrológicas e climáticas que a região experimentou durante o Plioceno-Pleistoceno.

3.2.9 Diversidade de parasitas e patógenos (e suas interações com mamíferos hospedeiros)

Se a biodiversidade de animais, fungos e plantas na Amazônia ainda é pouco conhecida, a biodiversidade de patógenos e parasitas é ainda menos conhecida. Apesar de representar por volta de um terço a mais da metade das espécies na Terra (Poulin 2014), esses organismos geralmente são ignorados em inventários de biodiversidade e estudos de conservação (Gómez e Nichols 2013). A maior parte do conhecimento atual é altamente tendenciosa para parasitas que causam doenças em humanos, animais domésticos ou plantas (Gómez e Nichols 2013). No entanto, parasitas e patógenos desempenham um papel importante nos níveis individual, populacional e ecossistêmico (Wood e Johnson 2015) ao modular a imunidade dos hospedeiros e a dinâmica de suas populações, alterar a composição das comunidades ecológicas e modificar as interações tróficas, o que inclui taxas de predação e ciclagem de nutrientes. Esses processos têm efeitos complexos, diretos e indiretos, que podem incluir efeitos em cascata

e coextinções, cujas implicações ainda não são completamente compreendidas (Strona 2015).

Apesar da importância da biodiversidade parasitária, a riqueza real da maioria dos grupos parasitários permanece, em grande parte, desconhecida. Ao contabilizar a biodiversidade de parasitas de mamíferos na região amazônica, verificamos que dos 425 mamíferos silvestres, apenas 185 espécies foram estudadas em relação às suas interações com parasitas. O Brasil é o país que publicou o maior número de estudos sobre interações parasita-mamífero, seguido por Peru, Guiana Francesa, Bolívia, Venezuela, Guiana, Equador e Colômbia. As espécies de mamíferos com maior riqueza de parasitas estudados são o marsupial *Didelphis marsupialis*, o morcego *Carollia perspicillatae* os primatas *Sapajus apella* e *Saimiri sciureus*. No entanto, a maioria desses estudos relata interações com uma única espécie de parasita; estudos que investigam a composição da comunidade de parasitas ou coinfeções são raros (Conga *et al.* 2014). Os protozoários são o grupo parasitário com maior número de estudos (84 publicações), mas não são o grupo com a maior riqueza de espécies. O grupo de parasitas com maior número de espécies relatadas interagindo com mamíferos silvestres são helmintos (77 espécies), ectoparasitas artrópodes (65 espécies), vírus (62 tipos), protozoários (29 espécies), bactérias (12 espécies) e fungos (sete espécies).

Desses, 38 vírus, 16 arbovírus, 11 bactérias, nove helmintos, 19 protozoários, um ectoparasita e sete fungos são conhecidos por serem zoonóticos e causar doenças em humanos. Os parasitas mais estudados infectando mamíferos silvestres na região amazônica são os protozoários *Trypanosoma cruzi* (agente causador da doença de Chagas em humanos), *Plasmodium brasilianum*, *Trypanosoma cruzi ma rinkelleyi*, *Trypanosoma rangeli*, o vírus da Raiva *lyssavirus* (agente causador da raiva em humanos) e o ectoparasita *Amblyomma cajennense* (Tabela 3.2).

Em relação aos vírus transmitidos por artrópodes (ou arbovírus), 27 espécies diferentes foram registradas como podendo infectar mamíferos selvagens na Amazônia. Desses, 16 são conhecidos por serem zoonóticos, incluindo os vírus Caraparu, Changuinola, Dengue, Guama, Mayaro, Marituba, Murutucu, Oriboca, Oropouche, Piry, Saint Louis, Tacaiuma e

Tabela 3.2 Espécies parasitárias e patogênicas mais estudadas na Amazônia.

| Grupos de Parasitas | Espécies mais estudadas | Referências |
|---------------------|---|--|
| Vírus | <i>Raiva lyssavirus</i> , Laguna negra orthohantavirus, Vírus da espuma símia | Deem e Emmons 2005, da Rosa <i>et al.</i> 2012, Carnieli Jr <i>et al.</i> 2013, Costa <i>et al.</i> 2013, Favoretto <i>et al.</i> 2013, Kobayashi <i>et al.</i> 2013, Muniz <i>et al.</i> 2013, de Barros Lopes <i>et al.</i> 2014; Oliveira <i>et al.</i> 2015, Pereira <i>et al.</i> 2017 |
| Arbovírus | <i>Changuinola</i> , <i>Marituba</i> , <i>Mayaro</i> , <i>Oriboca</i> , <i>Oropouche</i> | Leduc <i>et al.</i> 1981, Figueiredo <i>et al.</i> 1988, de Thoisy <i>et al.</i> 2003, Silva <i>et al.</i> 2013, Silva <i>et al.</i> 2014, Hang <i>et al.</i> 2014, Nunes <i>et al.</i> 2018, Nunes <i>et al.</i> 2019 |
| Bactéria | <i>Leptospira interrogans</i> , <i>Mycobacterium leprae</i> | Deem e Emmons 2005, da Silva <i>et al.</i> 2018, Stefani <i>et al.</i> 2019, dos Santos Medeiros <i>et al.</i> 2020 |
| Helmintos | <i>Dipetalonema gracile</i> , <i>Toxocara canis</i> , <i>Trypanoxyuris minutus</i> , <i>Trypanoxyuris trypanuris</i> | Hugot 1985, Bain <i>et al.</i> 1986, Tantalean <i>et al.</i> 1990, Hugot <i>et al.</i> 1996, Stuart <i>et al.</i> 1998, Hugot 1999, Noronha <i>et al.</i> 2002, Deem e Emmons 2005, Vieira <i>et al.</i> 2008 |
| Protozoários | <i>Trypanosoma cruzi</i> , <i>Trypanosoma rangeli</i> , <i>Trypanosoma cruzi marinkellei</i> , <i>Trypanosoma dionisii</i> , <i>Toxoplasma gondii</i> | Deane 1961, Deane e Damasceno 1961, Ayala 1964, Baker 1972, Miles <i>et al.</i> 1981, Miles <i>et al.</i> 1983, Lanham <i>et al.</i> 1984, Póvoa <i>et al.</i> 1984, Carrasco <i>et al.</i> 1996, Ziccardi e Lourenço-de-Oliveira 1997, Stuart <i>et al.</i> 1998, de Thoisy <i>et al.</i> 2003, Deem e Emmons 2005, Dubey <i>et al.</i> 2007, Demar <i>et al.</i> 2008, Lisboa <i>et al.</i> 2008, Roque <i>et al.</i> 2008, da Silva <i>et al.</i> 2009, Marcili <i>et al.</i> 2009a, Marcili <i>et al.</i> 2009b, Marcili <i>et al.</i> 2009c, Ortiz <i>et al.</i> 2009, Cavazzana <i>et al.</i> 2010, Lewis <i>et al.</i> 2011, De Araujo <i>et al.</i> 2013, Monteiro <i>et al.</i> 2012, Roque <i>et al.</i> 2013, Acosta <i>et al.</i> 2014, Vitaliano <i>et al.</i> 2014, da Costa <i>et al.</i> 2015, Jansen <i>et al.</i> 2015, Lima <i>et al.</i> 2015, da Costa <i>et al.</i> Dos Santos <i>et al.</i> 2017, Rodrigues <i>et al.</i> 2017, Jansen <i>et al.</i> 2018, Barros <i>et al.</i> 2019, Filgueiras <i>et al.</i> 2019, Pérez <i>et al.</i> 2019, Rodrigues <i>et al.</i> 2019, McClean <i>et al.</i> 2020 |
| Ectoparasita | <i>Amblyomma ovale</i> , <i>Amblyomma naponense</i> , <i>Amblyomma geayi</i> , <i>Amblyomma cajennense</i> , <i>Amblyomma nodosum</i> | 1996, Stuart <i>et al.</i> 1998, Labruna <i>et al.</i> 2002a, Labruna <i>et al.</i> 2002b, Robbins e Deem 2002, Zerpa <i>et al.</i> 2003, Deem e Emmons 2005, Labruna <i>et al.</i> 2005, Robbins <i>et al.</i> 2009, Martins <i>et al.</i> 2013, Martins <i>et al.</i> 2014, Soares <i>et al.</i> 2015, Witter <i>et al.</i> 2016, Furtado <i>et al.</i> 2017, Zimmermann <i>et al.</i> 2018, Gruhn <i>et al.</i> 2019, Peckle <i>et al.</i> 2019 |
| Fungos | <i>Histoplasma capsulatum</i> , <i>Pneumocystis carinii</i> | Lainson e Shaw 1975, Arias <i>et al.</i> 1982, Naiff <i>et al.</i> 1985, Naiff <i>et al.</i> 1996, Hugot <i>et al.</i> 2003 |

Febre Amarela. É importante enfatizar que na região amazônica alguns desses agentes zoonóticos também são compartilhados com espécies de mamíferos domesticados, como animais de estimação e gado e que outros patógenos zoonóticos já foram identificados em animais domesticados (por exemplo, Vírus da Encefalite Equina Oriental e Vírus do Nilo Ocidental). Essas espécies domesticadas podem desempenhar um papel importante no ciclo de transmissão de agentes zoonóticos (Johnson *et al.* 2020), especialmente quando em altas densidades (por exemplo, produção pecuária), funcionando como hospedeiros amplificadores e intermediários da transmissão para humanos e animais selvagens. Dadas as preocupações recentes sobre o risco de uma pandemia emergente originada na região amazônica (Vale *et al.* 2021), as atuais taxas crescentes de desmatamento, a perda e homogeneização da biodiversidade e o aumento das vulnerabilidades sociais são as principais preocupações. Isso, somado à lacuna de conhecimento sobre a biodiversidade das interações hospedeiro-parasita, elucida a necessidade de entender e construir resiliência a doenças emergentes como um dos principais desafios sociais e prioridade de pesquisa.

3.3 Processos Ecológicos Excepcionais e Adaptações em Ecossistemas Terrestres e Aquáticos

3.3.1 Interações planta-animal

As interações planta-animal são um processo ecológico central nas florestas amazônicas, sem o qual essas florestas deixariam de existir: 80–90% das árvores dependem obrigatoriamente de animais para dispersão de sementes (Gentry 1982, Hawes *et al.* 2020), e até 98% das plantas dependem obrigatoriamente de animais para a polinização (Bawa 1990). Os animais dispersores são atraídos às sementes por uma ampla variedade de estratégias de plantas, e pássaros, morcegos, mamíferos, peixes e insetos são todos dispersores importantes que respondem e selecionam diferentes estratégias de plantas para atração (*por exemplo*, Howe e Smallwood 1982). Os efeitos consumistas geram diversidade por meio de corridas armamentistas coevolutivas e controlam a biodiversidade vegetal e animal em escalas de tempo ecológicas e evolutivas. Essas redes de mutualistas e consumidores regulam todos os aspectos

das florestas amazônicas e são responsáveis por sua composição, regulação de espécies, recuperação de distúrbios e geração de biodiversidade. Mudanças nas interações entre espécies podem ter efeitos em cascata na função do ecossistema amazônico e nos serviços que prestam à humanidade, conforme brevemente discutido abaixo.

Dispersores e polinizadores de sementes interagem com as plantas, formam redes mutualísticas e formam a própria arquitetura da biodiversidade amazônica (Bascompte e Jordano 2007). A dispersão de sementes afasta as sementes das árvores-mãe, limpando-as da polpa e, em muitos casos, alterando-as fisiologicamente, o que aumenta a chance de sobrevivência e a diversidade genética (Howe e Smallwood 1982, Hardesty *et al.* 2006). As comunidades dispersoras de sementes são excepcionalmente complexas (Jordano *et al.* 2007), e as redes de dispersores de plantas são compostas por muitos módulos diferentes com diferentes tipos de dispersores (Donatti *et al.* 2011), ressaltando a importância da manutenção da biodiversidade nesses sistemas (Kakishima *et al.* 2015). Vastas áreas da Amazônia são inundadas sazonalmente, e os peixes demonstraram ser dispersores críticos nessas florestas, ligando processos terrestres e aquáticos (Goulding 1983, Correa *et al.* 2015a). As redes de polinização nas florestas amazônicas são altamente diversificadas e complexas, elas incluem uma grande variedade de invertebrados e vertebrados e formam a base da reprodução na perpetuação das florestas amazônicas (Bawa 1990, Bascompte e Jordano 2007). As redes de polinizadores muitas vezes são altamente especializadas e construídas com módulos de espécies em interação com baixa redundância, ressaltando o papel da biodiversidade polinizadora e da conservação na biodiversidade amazônica geral e nos serviços ecossistêmicos (Kremen *et al.* 2007, Olesen *et al.* 2007).

As interações tróficas são igualmente importantes, mantendo os animais em redes de herbivoria nas folhas, sementes e raízes, com altos graus de especialização. As interações coevolutivas entre plantas e herbívoros levaram à evolução da alta diversidade de espécies, prendendo grupos de organismos em

corridas armamentistas evolutivas de ataque e defesa (Ehrlich e Raven 1964) e levaram a uma diversificação espetacular nos traços funcionais das plantas amazônicas e nas defesas químicas que não apenas regulam e geram diversidade florestal, mas também fornecem serviços críticos à humanidade (Coley e Barone 1996, Fabricant e Farnsworth 2001, FAO *et al.* 2011). Os efeitos dos herbívoros nas plantas dependem tanto da geologia quanto do clima, e o equilíbrio nessas interações gerou a diversificação no nível da paisagem de árvores tropicais (Fine *et al.* 2004, Fine *et al.* 2013). As interações planta-herbívoro surgiram como o componente-chave na manutenção da diversidade nas florestas tropicais, com efeitos dependentes da frequência e da densidade em múltiplas escalas (Janzen 1970, Harms *et al.* 2000, Terborgh 2012). Todas essas interações planta-animal estão embutidas em teias alimentares de interações de consumo, que por sua vez as regulam nos ecossistemas amazônicos, com regulação direta por predação e mutualismos indiretos decorrentes de cascatas tróficas (Schmitz 2008, Terborgh e Feely 2009).

As interações planta-animal estão em alto risco de múltiplas formas devido às mudanças causadas pelo homem (*por exemplo*, Sales *et al.* 2020, 2021). As interrupções nas interações planta-animal podem ter efeitos rápidos na composição da comunidade florestal, o que tem consequências a longo prazo (Terborgh *et al.* 2001), alterando a composição florestal, bem como a função e os serviços do ecossistema (Morris 2010). A defaunação tem efeitos em cascata nas florestas amazônicas através dos efeitos diretos da caça e efeitos indiretos de distúrbios antropogênicos, afetando particularmente vertebrados de grande porte (Bodmer *et al.* 1997). A defaunação afeta todas as interações planta-animal, especialmente as redes de predação e dispersão de sementes, com consequências significativas para a diversidade de árvores amazônicas (Kurten 2013, Peres *et al.* 2016); para a função e serviços ecossistêmicos, particularmente o armazenamento de carbono (Markl *et al.* 2012, Bello *et al.* 2015); ciclagem de nutrientes (Stevenson e Guzmán-Caro 2010, Doughty *et al.* 2016); e até mesmo biogeografia (Doughty *et al.*

2016). O desmatamento e a fragmentação florestal podem ter efeitos além da simples remoção de árvores, com efeitos em cascata na polinização (Wirth *et al.* 2008, Barlow *et al.* 2016, Lister e García 2018), dispersão (Laurance *et al.* 2006, Markl *et al.* 2012, Caughlin *et al.* 2014, Hawes *et al.* 2020) e redes de consumo (Terborgh 2013), alterando de forma fundamental as interações ecológicas que mantêm e geram a biodiversidade amazônica. As interações planta-animal são particularmente vulneráveis aos efeitos das mudanças climáticas, tanto diretamente através da interrupção das redes de interação planta-animal devido às diferentes respostas ao clima entre os componentes (Primack *et al.* 2009, Salcido *et al.* 2020), e indiretamente por exacerbar os efeitos da defaunação e degradação florestal (Valladares *et al.* 2006, Barlow *et al.* 2016). Um resultado central do estudo das florestas amazônicas é que as redes intactas de interação planta-animal são essenciais para a resiliência da biodiversidade florestal às mudanças antropogênicas e para a recuperação e restauração dos sistemas amazônicos.

3.3.2 Pulsos de inundações e fluxo de nutrientes

Os ecossistemas aquáticos da Amazônia são um complexo mosaico de habitats influenciados por pulsos de inundações e também pelo padrão de fluxo de nutrientes. Isso gera áreas com alta e baixa produtividade, que têm promovido processos complexos de adaptação em organismos aquáticos. Os peixes são, sem dúvida, um dos casos mais relevantes, sustentando uma grande biomassa em rios altamente produtivos (águas brancas), como o Amazonas, o Madeira, o Caquetá/Japurá, o Putumayo e o Purus, e uma baixa biomassa, mas alta riqueza de espécies em rios de águas negras e claras. Neste último, os peixes dependem mais de fontes externas de alimento (frutas, sementes, insetos) ou de subsídios tróficos fornecidos por peixes migratórios (ver Seção 3.3.3). Dadas as condições transparentes em águas claras ou negras, os peixes geralmente desenvolvem cores intensas com uma função importante para a reprodução (Borghezán *et al.* 2021).

Muitas espécies que vivem em várzeas têm adaptações especiais para suportar os baixos níveis de oxigênio e as altas temperaturas durante períodos de seca (Junk *et al.* 1983, Val 1995, Val e Almeida-Val 1995, Val *et al.* 2015). No entanto, outras espécies optam por realizar migrações laterais em direção aos canais principais para fins reprodutivos, desovando nos canais principais e depois retornando para lagos e pequenos afluentes. Estes peixes são predominantemente das famílias Prochilodontidae e Curimatidae. Espécies como o pirarucu (paiche, *Arapaima gigas*), aparentemente sedentárias, constroem ninhos no fundo dos lagos e se reproduzem durante a vazante do rio. Quando o nível da água sobe, eles fazem pequenas migrações laterais em direção à floresta alagada, onde os machos exercem o cuidado parental dos filhotes (Castello 2007).

Grandes carnívoros aquáticos, como o boto do rio Amazonas (*Inia geoffrensis*), às vezes acompanham as migrações de peixes, garantindo acesso permanente e abundante às presas. Em geral, as fêmeas parecem ser mais caseiras e estão associadas a sistemas de lagos e confluências onde cuidam de seus filhotes, enquanto os machos fazem longas migrações em busca de opções alimentares e reprodutivas (Trujillo *et al.* 2018). Em termos adaptativos, os botos do rio Amazonas desenvolveram uma melhor capacidade de busca de peixes na floresta inundada do que sua espécie simpátrica, o tucuxi (*Sotalia fluviatilis*). As vértebras cervicais do pescoço não estão fundidas, permitindo-lhes mover a cabeça, o que, combinado com seu focinho longo, lhes permite capturar peixes bentônicos ou pelágicos que se escondem sob macrófitas ou na vegetação submersa. Da mesma forma, uma barbatana dorsal baixa e barbatanas peitorais com grande capacidade de movimento permitem que elas se movam muito bem nos igarapés. Algo semelhante ocorre com as ariranhas (*Pteronura brasiliensis*), que compõem grupos familiares de 6 a 14 indivíduos. Elas vivem sobretudo em afluentes e lagoas e têm territórios mais ou menos bem definidos durante o período de seca, mas quando o nível da água sobe, os peixes se dispersam na floresta alagada e o tamanho do território aumenta.

Durante os períodos de pouca água, grandes extensões de praias são expostas e são o habitat ideal para a desova maciça de várias espécies de tartarugas, especialmente do gênero *Podocnemis*, como a tartaruga-da-Amazônia (*Podocnemis expansa*) e o Tracajá (*Podocnemis unifilis*). O sucesso reprodutivo dessas espécies depende, em grande parte, das características da praia, principalmente do tipo de sedimento e da altura em que os ninhos são escavados, pois há frequentes elevações nos níveis de água que podem afetar os ninhos nas partes mais baixas. Outra espécie que se adaptou às cheias na Amazônia é a onça-pintada (*Panthera onca*), isso que antes se imaginava que se deslocava para áreas não alagadas durante esses períodos. Estudos recentes mostram que em áreas como Mamirauá no Brasil, a onça-pintada pode passar até três meses vivendo nas copas das árvores, alimentando-se principalmente de preguiças, jacarés e até mesmo ariranhas (Ramalho 2012, Alvarenga *et al.* 2018).

3.3.3 Migrações de peixes

Os peixes migradores desempenham importantes papéis ecológicos nas redes alimentares aquáticas amazônicas, fornecendo subsídios cruciais entre componentes do ecossistema, seja como predadores ou presas, ou como engenheiros ou agentes de dispersão de sementes. Portanto, a modificação ou interrupção de seus padrões migratórios por sobre-pesca, represamento ou degradação do habitat provavelmente alterará profundamente os processos do ecossistema, modificando cascatas tróficas, produção primária, processamento detritico e transferência de subsídios em amplas escalas espaciais (Flecker *et al.* 2010, Barthem *et al.* 2017; Anderson *et al.* 2018).

Os bagres do gênero *Brachyplatystoma* realizam a mais longa migração de água doce conhecida no mundo. O Dourada, *B. rousseauxii*, usa quase toda a extensão da Bacia Amazônica em uma migração de ida e volta de até ~12.000 km entre suas áreas de desova no piemonte andino da Bolívia, Colômbia, Equador e Peru, até seu viveiro natural no estuário no Brasil (Barthem e Goulding 1997, Barthem *et al.* 2017, Duponchelle *et al.* 2016, Hauser *et al.* 2020). Essa migração excepcional envolve o retorno natal,

um comportamento raramente observado em água doce, mas comum em espécies que migram ao mar dos rios, como o salmão. Neste processo, os peixes adultos geralmente retornam à bacia hidrográfica onde nasceram ou no alto Madeira (Duponchelle *et al.* 2016) ou no alto Amazonas (Hauser *et al.* 2020). Juntamente com os botos, os bagres são os predadores de ápice dos rios amazônicos (Barthem e Goulding 1997) e várias espécies são sobrepeçadas (Barthem *et al.* 1991, Petrere *et al.* 2004, Agudelo *et al.* 2013). Como demonstrado em ecossistemas marinhos e de água doce, os predadores do topo da cadeia desempenham funções ecológicas essenciais e o esgotamento das suas populações pode implicar modificações profundas dos ecossistemas pelas cascatas tróficas (Baum e Worm 2009, Chase *et al.* 2009, Frank *et al.* 2005, Persson *et al.* 2007). Efeitos em cascata semelhantes são esperados com o declínio da ampla comunidade de grandes bagres na Bacia Amazônica (Angelini *et al.* 2006, Lima 2017), o que poderia ser ainda mais acentuado por seu comportamento migratório excepcional (Borer *et al.* 2005).

As migrações de peixes, e em particular os movimentos de peixes detritívoros, também desempenham papéis ecológicos cruciais no transporte de nutrientes, com consequências importantes na dinâmica local da cadeia alimentar. Os peixes da família Prochilodontidae (*Prochilodus* e *Sema-prochilodus*), que se alimentam de detritos, algas e microrganismos associados (Bowen 1983), de fato realizam migrações complexas e em grande escala de afluentes pobres em nutrientes (águas pretas ou claras) durante o período de secas para as ricas várzeas de afluentes de águas brancas para desova e alimentação durante cheias (Ribeiro e Petrere 1990, Vazzoler e Amadio 1990, Vazzoler *et al.* 1989). Seus movimentos entre diferentes sistemas fluviais conectam cadeias alimentares de grandes escalas espaciais diferentes e resultam em uma importante transferência de energia e biomassa para águas oligotróficas, onde essas espécies são predadas por grandes piscívoros que normalmente não suportariam altas densidades populacionais sem esses subsídios (Hoinghaus *et al.* 2006, Winemiller e Jepsen 1998).

Embora esse fenômeno tenha sido estudado principalmente em peixes Prochilodontidae, os fluxos de produção primária de rios de águas brancas ricos em nutrientes para rios de águas claras ou negras por espécies detritívoras migratórias provavelmente são difundidos na Bacia Amazônica, como muitos outros caracídeos migratórios, como o *Anodus* spp., *Brycon* spp., *Colossoma macropomum*, *Leporinus* spp., *Mylossoma* spp., *Triportheus* spp. desovam e crescem exclusivamente em águas brancas, mas podem viver em qualquer tipo de água uma vez adultos (Lima e Araujo-Lima 2004). Outro caso marcante é a migração anual do *Trichomycterus barbourni* (~3 cm) que consiste em centenas de milhares de indivíduos que se deslocam de sua área de berçário no rio Beni a jusante até seu topo, atingindo centenas de quilômetros a montante (Miranda-Chumacero *et al.* 2015). Essa migração fornece uma fonte de alimento para peixes, aves aquáticas, répteis e populações humanas ao longo do caminho.

Muitos peixes migratórios amazônicos coevoluíram uma relação mutuamente benéfica com a floresta. Durante a estação das cheias, os peixes migratórios invadem os igarapés para se alimentar de frutos que caem na água, dispersando as sementes por grandes distâncias e aprimorando seu processo de germinação (Goulding 1980, Correa and Winemiller 2014, Correa *et al.* 2015a). A maioria das cerca de 150 espécies de peixes frugívoros conhecidas no Neotrópico, pertencentes a 17 famílias e 6 ordens, também ocorre na Bacia Amazônica (Horn *et al.* 2011). Eles podem consumir pelo menos 566 espécies de frutos e sementes de 82 famílias de plantas, contribuindo assim para sua distribuição espacial e biodiversidade (Correa *et al.* 2015a). Como a pesca comercial visa sobretudo espécies de grande porte, que podem dispersar sementes em um espaço mais amplo e de uma maior diversidade de plantas, a sobrepesca pode ameaçar não apenas as populações de peixes que comem frutas, mas também a biodiversidade e a conservação da floresta alagada (Correa *et al.* 2015b).

3.3.4 Variação ambiental e adaptação de organismos

Dos 7 milhões de km² cobertos pela região amazônica, 800 mil km² são ecossistemas aquáticos. A interação entre terra e água corresponde a uma delicada engrenagem climática que é responsável pelos pulsos de inundação (Junk *et al.* 1989). Esta é, sem dúvida, um dos processos ambientais mais importantes e relevantes na Amazônia, uma vez que gera variações de até 15 m no plano vertical e milhares de quilômetros de alagamento no plano lateral. Isso marca claramente um período de secas e um período de cheias, com períodos de transição ao longo do ano. Esse ciclo, repetido por milhares de anos, tem gerado processos excepcionais de adaptação pela fauna e flora. Boa parte da vegetação está adaptada para permanecer submersa por vários meses e sincronizar seus processos de frutificação com as cheias como estratégia de dispersão. Da mesma forma, durante este período, a proliferação de macrófitas e grandes manchas de vegetação aquática servem de refúgio para peixes e outros organismos e fornecem alimento para espécies como peixes-boi e capivaras (Parolin *et al.* 2004, Piedade *et al.* 2010, Junk *et al.* 2011).

Mudanças no nível da água também geram um mecanismo que desencadeia a migração lateral de muitas espécies, incluindo peixes, botos e peixes-boi (Cox-Fernandes 1997, Martin e da Silva 2004, Arraut *et al.* 2010). No caso dos botos, em cheias, eles se dispersam nos igarapés, afluentes e lagoas em busca de alimento, mas quando o nível da água começa a diminuir, os tucuxis (*Sotalia fluviatilis*) se deslocam para os principais rios e mais tarde os botos-cor-de-rosa (*Inia geoffrensis*) também o fazem para evitar ficar presos em corpos d'água com baixo suprimento de alimentos. As águas rasas representam o momento de maior disponibilidade de alimentos nos principais rios. Com a contração do sistema inteiro, os peixes ficam contidos em um espaço menor e os botos aproveitam para se alimentar. Esse acréscimo de energia permite que a reprodução esteja em sincronia com a estação. Os jovens nascem 13 meses depois, em períodos de seca também. Em contraste, os peixes-boi se beneficiam da maior produção de macrófitas em períodos de che-

ias, enquanto no verão eles devem procurar por algas em troncos submersos e subsistir com as reservas de gordura corporal.

3.4 Plasticidade Genética e Diversidade Molecular

Já que a delimitação das espécies é baseada na variação genética, seleção natural e adaptação (Sexton *et al.* 2009), a riqueza de espécies é amplamente considerada como uma medida fundamental da biodiversidade em nível geral (Gotelli e Colwell 2001). Os padrões de variação genética nas espécies também representam um componente vital, mas muitas vezes subestimado, da biodiversidade amazônica; a diversidade filogenética avalia a distintividade evolutiva e cumulativa dentro e entre áreas e táxons (Antonelli *et al.* 2018a). A diversidade filogenética mede a quantidade total de evolução por linhagem ao longo do tempo entre todos os membros de um clado ou área (Tucker *et al.* 2017). Em geral, provou-se que isso fornece uma melhor estimativa da divergência de características do que a riqueza de espécies por si só (Forest *et al.* 2007).

Embora muitos grupos de organismos estejam amplamente distribuídos em regiões tropicais, o padrão detalhado de variação em espécies (Costa e Magnusson 2010), incluindo variação espacial, genética e morfológica, e sua estrutura genética foram documentados recentemente, correspondendo a várias unidades evolutivas independentes (Ribas *et al.* 2012, Schultz *et al.* 2017). A diversidade genética de mamíferos terrestres e anfíbios é 27% maior em áreas tropicais, e habitats perturbados têm menos diversidade genética em comparação com áreas não perturbadas (Miraldo *et al.* 2016). Recentemente, desenvolveu-se filogenias moleculares bem amostradas para revelar a evolução da biota tropical (Dexter *et al.* 2017, Eiserhardt *et al.* 2017). A amostragem molecular no nível intraespecífico (subespécies e populações) avançou significativamente nos Neotrópicos (Antonelli *et al.* 2018b). De acordo com a análise de filogenias moleculares datadas, foi demonstrado que algumas regiões neotropicais podem ser mais permeáveis a linhagens imigrantes do que outras. Além disso, as diferenças intrínsecas entre os grupos taxonômicos (como a capacidade de

dispersão) podem permitir que algumas linhagens colonizem novas regiões (Antonelli *et al.* 2018b), apesar do conservadorismo de nicho (Crisp *et al.* 2009) e outras apoios para se adaptar às mudanças ecológicas (Simon *et al.* 2009, Trujillo-Arias *et al.* 2017). No entanto, para a maioria dos grupos taxonômicos da Amazônia, o conhecimento sobre trocas bióticas e históricos de dispersão permanece surpreendentemente pobre e não se entende quais regiões serviram como fontes primárias ou como sumidouros de biodiversidade, definidos como provedores e receptores (Antonelli *et al.* 2018b). Concluiu-se que a Amazônia é a principal fonte de diversidade neotropical de angiospermas, samambaias, serpentes, aves, mamíferos e rãs para outras regiões, fornecendo >2.800 linhagens (63% de todos os eventos de dispersão), sendo aproximadamente 4,6 vezes a segunda fonte mais importante de diversidade (Antonelli *et al.* 2018b, Figura 3.6).

Como se sabe, tanto a Amazônia ocidental quanto a central possuem a maior riqueza de espécies de comunidades arbóreas (ter Steege *et al.* 2003, Chave *et al.* 2007) e, portanto, a maior diversidade filogenética, mas a menor distância média do táxon mais próximo (Honorio Coronado *et al.* 2015). A distância filogenética média de par a par entre as espécies está correlacionada com a distribuição uniforme dos táxons entre os três principais clados de angiospermas (Magnoliídeas ou Dicotiledôneas, Monocotiledôneas, Eudicotiledôneas) e são as mais altas da Amazônia ocidental. Finalmente, florestas tropicais sazonalmente secas e florestas em areias brancas têm baixa diversidade filogenética (Fine *et al.* 2010, Honorio Coronado *et al.* 2015).

Diante das mudanças e impactos ambientais, populações com diversidade genética reduzida podem ser menos capazes de responder (Whitman e Agrawal 2009) e, portanto, mais vulneráveis a processos de fragmentação e extinções locais (Spielman *et al.* 2004). Essa diversidade genética tem sido proposta como mecanismo de sobrevivência em ambientes heterogêneos ou mutáveis, como os trópicos (Lande 2014). Um exemplo clássico em relação às constantes mudanças no teor de oxigênio nas águas amazônicas é o desenvolvimento e reversão de várias características morfológicas em peixes sob condições

hipóxicas (Almeida-Val *et al.* 2006, Fernández-Osuna e Scarabotti 2016). Além disso, a capacidade de várias linhagens se estabelecerem na Amazônia ocidental e meridional também pode estar relacionada às altas taxas de alteração e rotatividade na região (Quesada *et al.* 2012, Marimon *et al.* Baker *et al.* 2014).

3.5 Diversidade Funcional

A diversidade funcional, ou o valor, alcance e distribuição de traços funcionais em uma determinada comunidade, desempenha um papel fundamental na geração e manutenção da biodiversidade e dos processos ecossistêmicos. A diversidade funcional depende da variabilidade dos valores de traços de todas as espécies presentes, dentro e entre espécies e da extensão da sobreposição de nichos funcionais (Petchy e Gaston 2006, Díaz *et al.* 2007). Traços funcionais (Chapin *et al.* 2001, Violle *et al.* 2007) vinculam mecanicamente as espécies ao seu efeito nos ecossistemas em que vivem. Por exemplo, os traços funcionais afetam a capacidade competitiva e a coexistência entre espécies (Kraft *et al.* 2008, Guilherme *et al.* 2019), capacidade de invasão (Miranda-Chumacero *et al.* 2012, Van Damme *et al.* 2015), estrutura e função da comunidade e do ecossistema (Bueno *et al.* 2013, Sobral *et al.* 2017), adaptações ao longo de gradientes ambientais (Asner *et al.* 2014a, von May *et al.* 2017, Santos *et al.* 2019), e resistência à perturbação e mudança ambiental (Arévalo-Sandi *et al.* 2018, Arantes *et al.* 2019, Hooper e Ashton 2020).

As condições ambientais atuam como filtros, determinando padrões de diversidade funcional na Bacia Amazônica, selecionando espécies que exibem características morfológicas, comportamentais ou reprodutivas semelhantes. Por exemplo, estruturalmente, ambientes menos complexos (*por exemplo*, savana) abrigam mais espécies de formigas menores, com mandíbulas menores e olhos maiores. Em ambientes florestais mais complexos, há mais espécies de formigas maiores, com mandíbulas maiores e olhos menores. Assim, a composição morfológica das assembleias de formigas terrestres corresponde à complexidade ambiental, sugerindo que certas

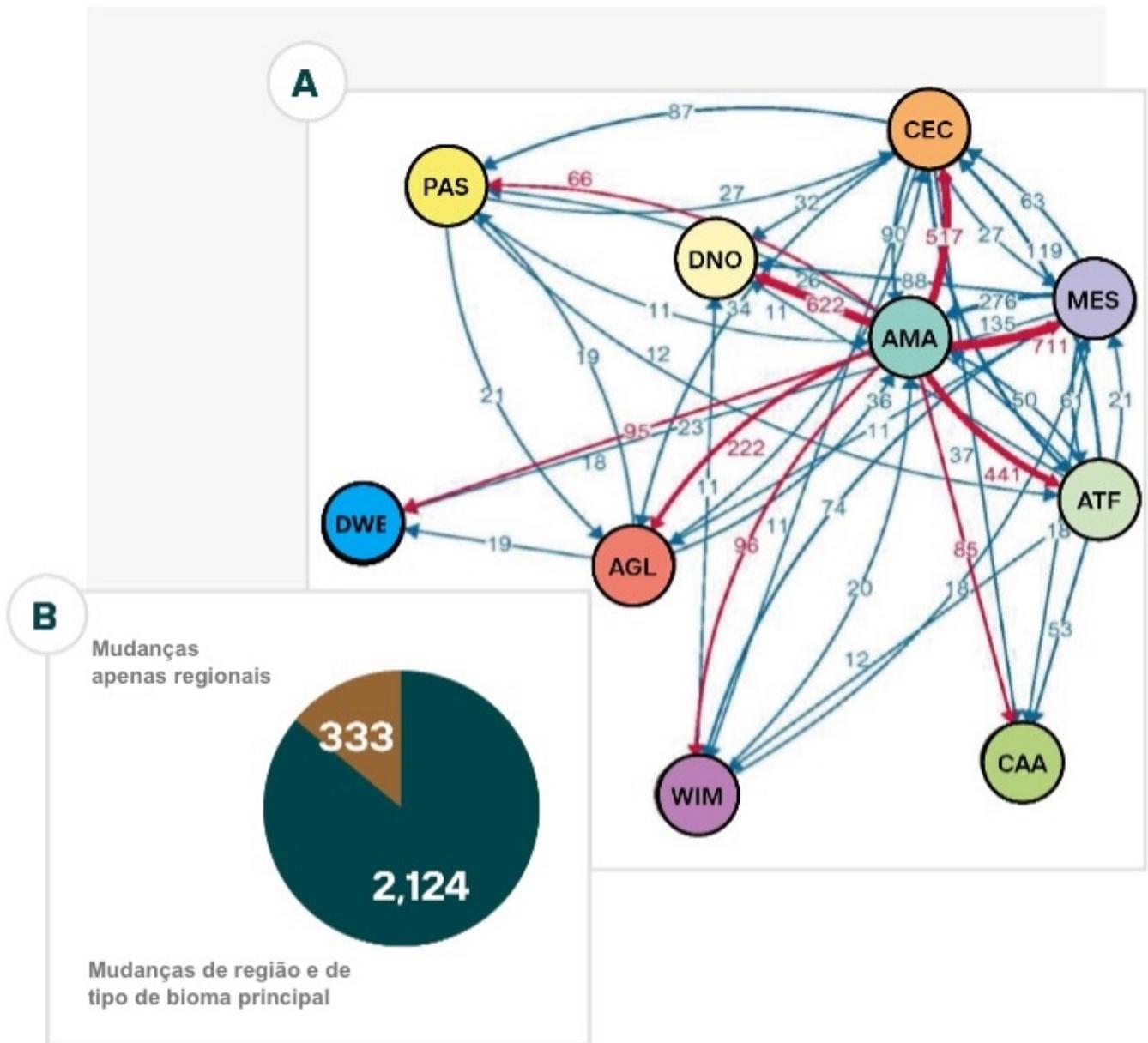


Figura 3.6 A Amazônia como principal fonte de linhagens de biodiversidade na região neotropical (Antonelli *et al.* 2018b). A) Intercâmbio biótico entre regiões neotropicais estimado a partir de filogenias moleculares datadas. As setas indicam a direção e o número de eventos de dispersão, com espessura de linha proporcional ao número de eventos. Apenas conexões com mais de 10 eventos são mostradas. A posição dos círculos no layout reflete a conexão biótica entre as regiões. Os eventos de dispersão para fora da Amazônia estão destacados em vermelho. AGL, Savanas Andinas; AMA, Amazônia; ATF, Florestas Atlânticas; CAA, Caatinga; CEC, Cerrado e Chaco; DNO, Norte Seco da América do Sul; DWE, Oeste Seco da América do Sul; MES, Mesoamérica; PAS, Estepe Patagônica; WIM, Índias Ocidentais. B) Número de eventos de dispersão não ambíguos associados a mudanças nos principais tipos de bioma em comparação com mudanças para outras regiões dentro do mesmo tipo de bioma.

características das formigas oferecem vantagens ecológicas a determinadas espécies em determinados habitats (Guilherme *et al.* 2019). A química foliar das árvores fornece outro exemplo de diversidade funcional variando com as condições ambientais. Os compostos estruturais e de defesa exibem uma diversidade impressionante na Amazônia e os portfólios químicos das copas das árvores mudam drasticamente ao longo dos gradientes de elevação e fertilidade do solo (Asner *et al.* 2014b). Da mesma forma, a diversidade de traços funcionais em comunidades de peixes, como estratégias de alimentação, históricos de vida, comportamentos migratórios e uso de habitat, estão positivamente correlacionados com a cobertura florestal em várzeas de rios (Aranes *et al.* 2019). Consequentemente, o ambiente influencia a diversidade funcional e, à medida que a perda de habitat por desmatamento prossegue, o conjunto de características funcionais encontradas nas comunidades de peixes é altamente comprometido.

A Amazônia está entre as regiões mais funcionalmente diversas da Terra para uma série de táxons (*por exemplo*, peixes: Toussaint *et al.* 2016; plantas: Wieczynski *et al.* 2019; anfíbios: Ochoa-Ochoa *et al.* 2019). A diversidade taxonômica e funcional é frequentemente dissociada e, para alguns grupos taxonômicos, a diversidade funcional é consideravelmente maior na Amazônia do que seria esperado da diversidade taxonômica. Os peixes de água doce representam um exemplo marcante (Toussaint *et al.* 2016), e diferentes hipóteses foram avançadas para explicar a tremenda diversidade funcional de peixes de água doce em todo o Neotrópico (Albert *et al.* 2020). Os Neotrópicos abrigam aproximadamente 40% das espécies de peixes de água doce do mundo, mas esta mesma região abriga mais de 75% da diversidade funcional dos peixes. A diversidade funcional de água doce na Amazônia inclui uma incrível variação na forma corporal e ecologia trófica, variando de bagres comedores de madeira com uma boca de ventosa (*por exemplo*, *Cochliodon*, *Panaque* spp.), cujos dentes e maxilares são especializados em arrancar troncos de árvores submersos, a peixes elétricos com olhos pequenos vivendo em águas tur-

vas (Gymnotiformes), a frugívoros migratórios com dentes semelhantes a molares que podem ser importantes predadores de sementes, assim como agentes de dispersão de sementes (*por exemplo*, *Collossoma*, *Piaractus*; Correa *et al.* 2015a), a bagres vampiros alongados que se alimentam de sangue nas brânquias de outros peixes, *Vandellia* (Albert *et al.* 2020).

A diversidade funcional explica as interações biológicas e como os organismos podem impulsionar processos ecossistêmicos cruciais. Por exemplo, a diversidade trófica, um importante traço funcional, influencia como as espécies podem influenciar processos ecológicos, como interações predador-presa, dispersão de sementes, sequestro de carbono e ciclos biogeoquímicos, todas essas funções críticas nos ecossistemas aquáticos e terrestres da Amazônia. Além disso, a diversidade de espécies em si pode ser um forte impulsionador da função do ecossistema. Por exemplo, nas paisagens mistas de floresta-savana da região de Rupununi, na Guiana, a riqueza de espécies de mamíferos parece estar fortemente correlacionada com o ciclo do carbono (Sobral *et al.* 2017). Curiosamente, as concentrações de carbono do solo e o armazenamento de carbono no solo e nas árvores são mais altas em locais com maior riqueza de espécies de mamíferos. Assim, o número de interações alimentares influencia a quantidade de carbono que permanece nos solos, pois os corpos dos animais, fezes e frutos processados pelos mamíferos tornam-se fontes de matéria orgânica do solo. Da mesma forma, em sistemas aquáticos tropicais, a reciclagem de nutrientes mediada pelo consumidor por peixes varia muito com características como tamanho corporal do consumidor, estequiometria corporal e posição trófica. Os peixes podem modular a ciclagem de nutrientes em riachos tropicais (Taylor *et al.* 2006, Capps *et al.* 2013) e as extinções de peixes podem ter consequências profundas nas taxas de remineralização de nitrogênio e fósforo (McIntyre *et al.* 2007).

A diversidade funcional pode contribuir ainda mais para a resiliência da comunidade e do ecossistema à perturbação, incluindo mudanças climáticas ou defaunação. Por exemplo, características das

plantas, como a capacidade de suportar o estresse hídrico e de temperatura, podem determinar como a dinâmica da composição, a biomassa vegetal e o sequestro de carbono das florestas amazônicas respondem a períodos prolongados de seca (Levine *et al.* 2016). Os modelos sugerem que as florestas com alta diversidade de características vegetais se regenerarão mais rapidamente do que as florestas com baixa diversidade de características vegetais após a perda de grandes árvores para as mudanças climáticas. Assim, os cientistas que preveem impactos das mudanças climáticas na composição da floresta amazônica, biomassa e função de sumidouro de carbono no próximo século não podem negligenciar a diversidade de traços (Sakschewski *et al.* 2016). A redundância funcional postula que em ecossistemas ricos em biodiversidade como a Amazônia, a extinção de algumas espécies não causará uma perda substancial na função do ecossistema se as espécies remanescentes desempenharem papéis equivalentes e forem capazes de assumir as funções desempenhadas por espécies extintas (Lawton e Brown 1993). De fato, avaliações de redes de dispersão de sementes em florestas amazônicas mostram alta conectividade e sobreposição de dieta entre várias espécies e grupos de vertebrados, sugerindo alta redundância. No entanto, as observações mostram que florestas fragmentadas e defaunadas sofrem muito com efeitos tróficos em cascata, sugerindo complementaridade em vez de redundância em grandes vertebrados (Bueno *et al.* 2013, Arévalo-Sandi *et al.* 2018).

3.6 Conhecimento Incompleto da Biodiversidade

Embora a Amazônia seja uma das maiores e mais intactas florestas do mundo, também é uma das menos conhecidas biologicamente. Seu tamanho e diversidade imensos e acesso limitado tornam a tarefa de documentar sua biodiversidade extremamente desafiadora. Consequentemente, existem vieses espaciais e taxonômicos nos dados, às vezes graves (Oliveira *et al.* 2016, Schulman *et al.* 2007, Vale e Jenkins 2012). Observando os dados de localidade de espécies em bancos de dados globais (Figura 3.7), há um forte viés espacial em relação a áreas urbanas, centros de pesquisa e principais rotas de acesso (*por exemplo*, estradas, rios). Ao mesmo tempo, algumas partes da Bacia têm poucos ou

mesmo nenhum dado sobre quaisquer táxons, ou pelo menos nenhum dado que seja digitalmente acessível.

Olhando para os táxons, também há fortes vieses. A maioria dos dados disponíveis são para plantas ou aves (>80% no GBIF). Grupos como borboletas têm muito menos dados, e grupos extremamente diversos, como fungos e bactérias, são quase inteiramente desconhecidos. É claro que esses vieses taxonômicos não são exclusivos da Amazônia; eles existem na maioria das áreas do mundo, uma consequência da sociedade ter mais interesse por alguns táxons do que por outros. Há também um número substancial de espécies ainda não descritas, mesmo para táxons bem conhecidos (Pimm *et al.* 2010). Também é improvável que essas espécies sejam como as já conhecidas. Espécies a serem descobertas são certamente mais raras e mais restritas em suas distribuições do que as espécies já conhecidas. Normalmente, são as espécies comuns e difundidas que são descritas primeiro (Pimm e Jenkins 2019). Consequentemente, a biodiversidade que ainda não conhecemos pode não seguir os mesmos padrões que a biodiversidade que conhecemos hoje.

Esses vieses espaciais e taxonômicos nos dados e nossa falta geral de dados adequados afetam nossa capacidade de entender os verdadeiros padrões de biodiversidade na Amazônia. Isso inclui questões como precisamente onde estão os centros de endemismo e onde se pode encontrar as espécies mais ameaçadas, questões bem preocupantes para a conservação. No entanto, embora tais limitações em nosso conhecimento sejam problemáticas, a realidade é que todos os lugares têm dados incompletos. Devemos tomar decisões usando as melhores informações disponíveis, reconhecendo que, à medida que aprendemos mais, pode ser sensato melhorar as decisões passadas.

3.7 Conclusões

A Amazônia é um ícone global da biodiversidade. Ainda assim, em muitos grupos taxonômicos, a di-

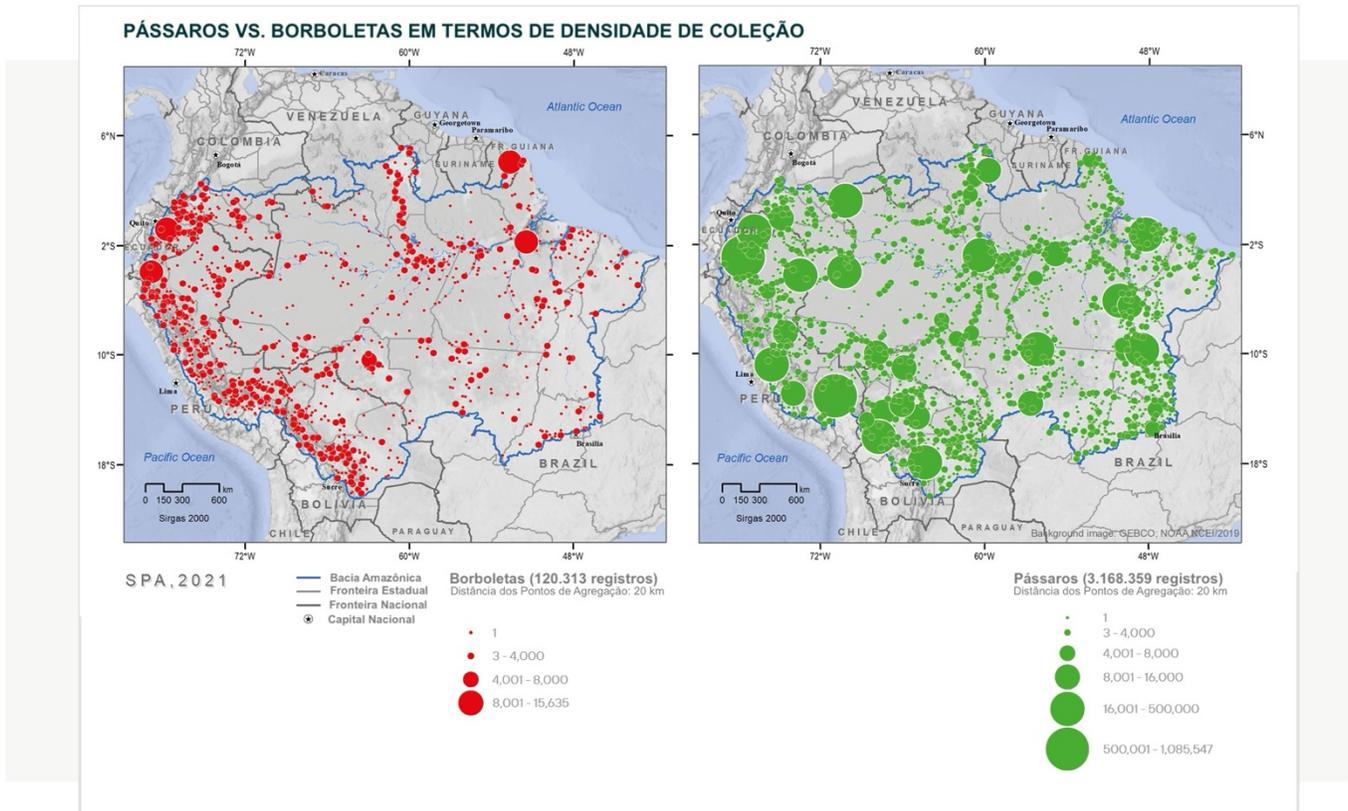


Figura 3.7 Borboletas (120.313 registros) versus aves (3.168.359 registros) em termos de densidade de coleta. Fonte: GBIF 2021. Método de agrupamento de dados: Naturais de Jenks, Distância de agregação: 20 km.

versidade de espécies é notoriamente não descrita, e estudos taxonômicos aprofundados revelam uma extensa diversidade enigmática. Como resultado, estimar a riqueza de espécies na região é uma tarefa desafiadora. Os padrões de biodiversidade apresentam variações consideráveis dentro da Bacia Amazônica, sendo alguns grupos mais diversos em florestas tropicais de várzea e outros em ambientes andinos. Ainda estamos aprendendo sobre a fascinante diversidade de mamíferos amazônicos, e esse conhecimento é fundamental para a conservação da região amazônica.

As interações planta-animal são um processo ecológico central nas florestas amazônicas, sem o qual essas florestas deixariam de existir. Essas redes de mutualistas e consumidores regulam todos os aspectos das florestas amazônicas e são responsáveis

por sua composição, regulação de espécies, recuperação de distúrbios e geração de biodiversidade. Mudanças nas interações entre espécies podem ter efeitos em cascata na função do ecossistema amazônico e nos serviços que prestam à humanidade, conforme brevemente discutido abaixo. Um resultado central do estudo das florestas amazônicas é que as redes intactas de interação planta-animal são essenciais para a resiliência da biodiversidade florestal às mudanças antropogênicas e para a recuperação e restauração dos sistemas amazônicos.

Os ecossistemas aquáticos da Amazônia são um complexo mosaico de habitats influenciados por pulsos de inundações e também pelo padrão de fluxo de nutrientes. A justaposição de águas de baixa e alta produtividade promove processos complexos de adaptação entre organismos nativos. Os peixes

migradores desempenham importantes papéis ecológicos nas redes alimentares aquáticas amazônicas, transferindo energia e nutrientes entre diferentes componentes do ecossistema, seja como predadores, presas, espécies engenheiras ou agentes de dispersão de sementes. A modificação ou interrupção de seus padrões migratórios por sobrepesca, repesamento ou degradação do habitat altera os processos ecossistêmicos e as cascatas tróficas, a produção primária, o processamento detrítico e a transferência de subsídios em amplas escalas espaciais.

Tanto a variação interespecífica quanto intraespecífica nos traços funcionais na biota amazônica é enorme. A diversidade funcional determina a capacidade competitiva e a coexistência das espécies, a diversificação, a capacidade de invasão, a estrutura e função da comunidade e do ecossistema, as adaptações ao longo dos gradientes ambientais e a resistência a perturbações e mudanças ambientais. A diversidade funcional, por exemplo, pode contribuir ainda mais para a resiliência da comunidade e do ecossistema às perturbações, incluindo as mudanças climáticas. Assim, cientistas prevendo impactos das mudanças climáticas na composição da floresta amazônica, biomassa e função de sumidouro de carbono no próximo século, não podem negligenciar a diversidade de traços.

Os vieses espaciais e taxonômicos existentes nos dados de biodiversidade na Amazônia afetam nossa capacidade de entender os verdadeiros padrões de biodiversidade na região. Essas lacunas incluem questões como localizar centros de endemismo, áreas com as espécies mais ameaçadas e outras

questões de grande preocupação para a conservação. Embora tais lacunas de conhecimento podem ser problemáticas, elas não devem impedir a tomada de decisões informadas pelo conhecimento atual e abertas à incorporação de novas informações à medida que se tornam disponíveis. As políticas públicas são de extrema importância para o apoio à pesquisa básica e aplicada baseada na biodiversidade na Amazônia, envolvendo equipes de pesquisa transnacionais e diversificadas.

3.8 Recomendações

- Promover estudos de herbário/museu baseados em campo, laboratório e coleção e colaborações de pesquisa que busquem compilar um catálogo abrangente de espécies amazônicas, complementado com vales devidamente preservados e seus tecidos/extratos de DNA (para estudos moleculares).
- Apoiar a taxonomia, atualmente uma disciplina subfinanciada e subestimada. Precisamos de mais taxonomistas trabalhando ao lado de biólogos moleculares e pessoas locais dispostas a contribuir com sua riqueza de conhecimento tradicional para a descrição de novas espécies.
- É crucial manter a conectividade altitudinal da Amazônia aos Andes. Caso contrário, as espécies perderão a capacidade de migrar em resposta às mudanças climáticas.

É essencial estabelecer iniciativas de conservação em grande escala, em nível de paisagem, que mantenham áreas centrais e conectividade para gar-

Quadro 3.2 Tendências na Descoberta de Novas Espécies de Vertebrados na Bacia Amazônica

A cada ano, novas espécies de vertebrados da Amazônia são descritas, um processo de descoberta que começou há séculos atrás. Os primeiros vertebrados amazônicos foram descritos por Lineu em 1758: 13 peixes, 10 anfíbios, 50 répteis, 131 aves e 51 mamíferos. Para analisar as tendências nas descrições das espécies amazônicas, foram tomadas como referência 2.406 espécies de peixes (Jézéquel *et al.* 2020), 997 espécies de anfíbios (GBIF: 10.15468/dl.9mgq7k), 804 répteis (GBIF: 10.15468/dl.uy6mw9), 2.736 aves (GBIF: 10.15468/dl.3zkc3v) e 974 mamíferos (GBIF: 10.15468/dl.ttgkq4), para um total de 7.827 espécies (Figura B3.2.1). Este exercício não tem como objetivo determinar o número total de espécies na Amazônia, mas sim descrever tendências na taxa de descrições de espécies.

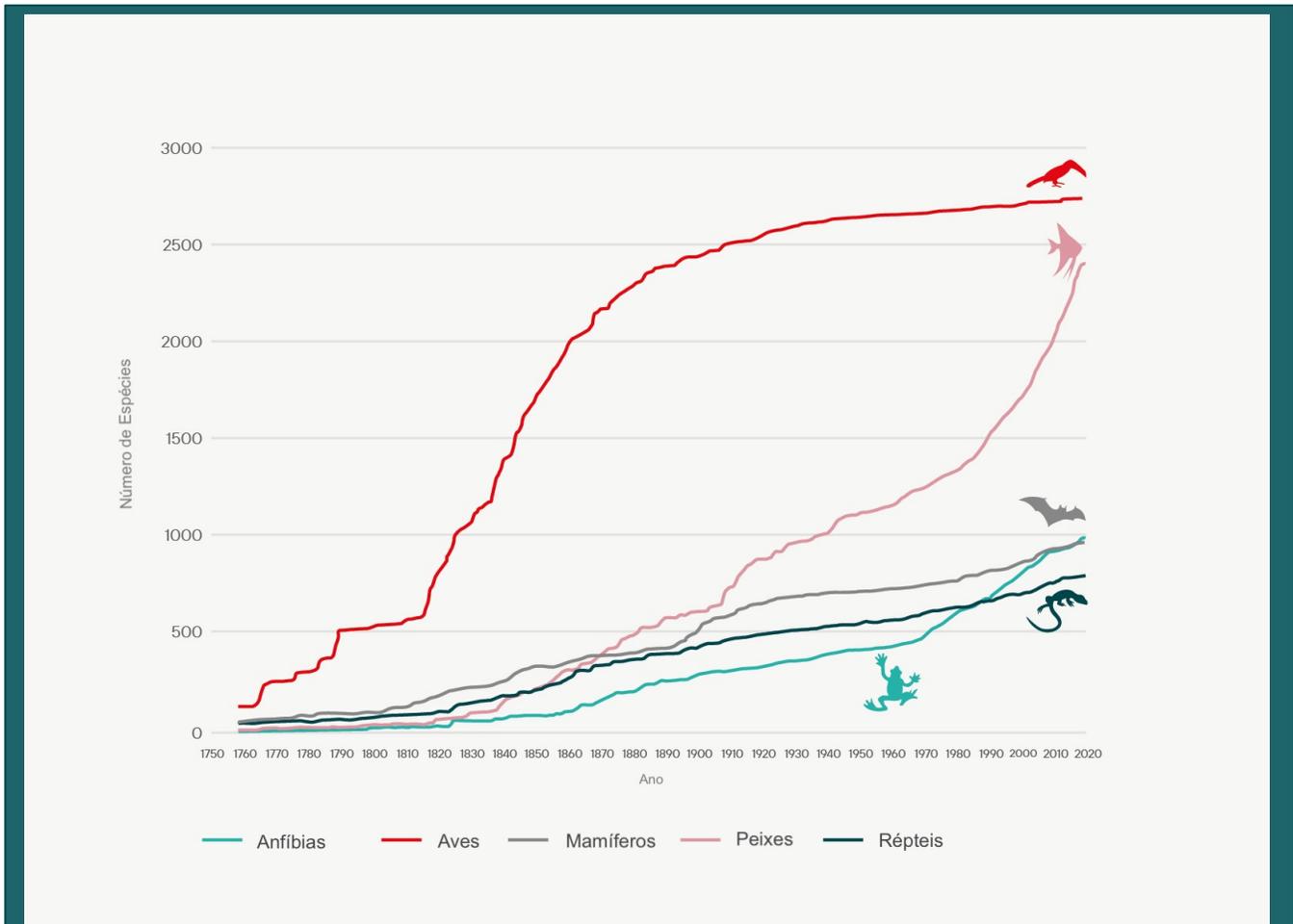


Figura B3.2.1 Curvas de acúmulo de espécies para cinco grupos de vertebrados da Bacia Amazônica.

Peixes Após as primeiras descrições de espécies feitas por Lineu, houve um período com uma taxa muito baixa de descrições até 1830. A partir de contribuições de naturalistas como Achille Valenciennes (1794–1865) e Johann Jakob Heckel (1790–1857), houve um aumento sustentado até o início do século XX. Por volta de 1910, com as principais contribuições de Franz Steindachner (1834–1919) e Carl H. Eigenmann (1863–1927), houve um aumento significativo de aproximadamente 600 espécies para pouco mais de mil. Entre 1940 e 1980 houve um aumento constante, mas é notável que, desde então, quando o número de espécies estava em 1.355, tenha havido um aumento exponencial sustentado no número descrito. De fato, entre 2010 e 2020, o maior número ($n=412$) e proporção (17%) de espécies foram descritos em qualquer década (Figura B3.2.2). Entre 1980 e 2019, foram descritas 44,3% das espécies amazônicas.

Desde 2016, foi atingida uma taxa equivalente a uma nova espécie por semana. Isso também se reflete no pico histórico de descrições alcançado na última década, com um total de 412 espécies (Figura B3.2.1). Segundo Jézéquel *et al.* (2019), o banco de dados de Peixes da Amazônia (<https://amazon-fish.com>) reconhece 2 406 espécies válidas (Jézéquel *et al.* 2019), com uma clara tendência a continuar adicionando novos. Com o tempo, os peixes podem se tornar o grupo de vertebrados com o maior número de espécies na Amazônia.

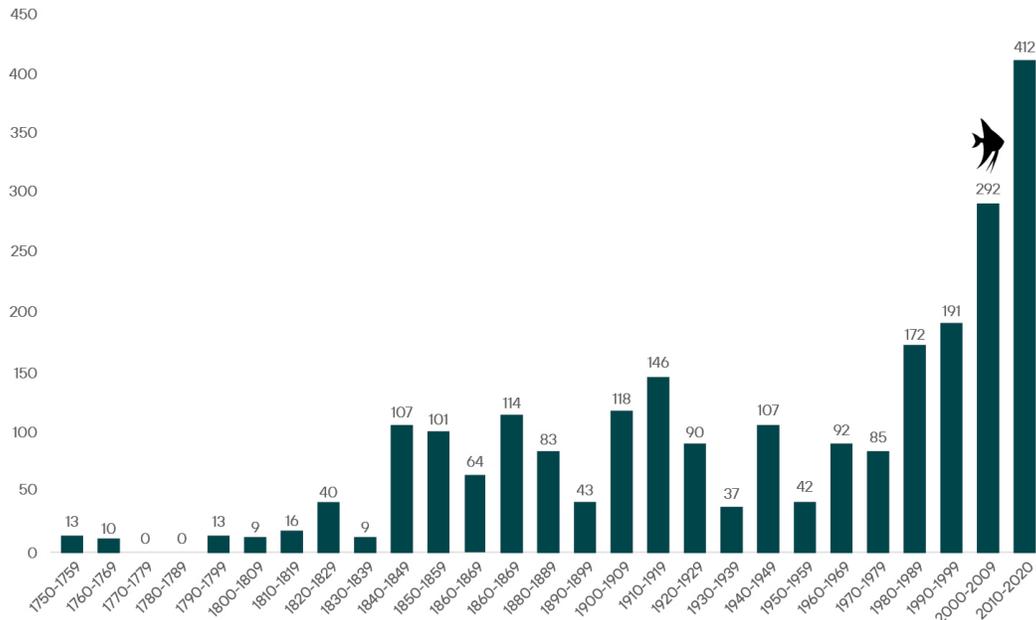


Figura B3.2.2 Número de espécies de peixes descritas por década na Bacia Amazônica

Anfíbios A taxa de descrições de novos anfíbios foi muito baixa até 1860, quando aumentou e permaneceu relativamente constante até 1970 (Figura B3.2.3). A partir da década de 1970, a taxa aumentou drasticamente, com 50,65% das espécies amazônicas descritas nos últimos 50 anos.

Nas décadas de 1990 e 2000, os picos de descrição foram atingidos com 128 e 118 espécies, respectivamente (Figura B3.2.3). De acordo com os dados disponíveis no GBIF, foram descritas 997 espécies de anfíbios válidas para a Amazônia, com tendência a continuar aumentando e constituindo um grupo prioritário de vertebrados para esforços taxonômicos. A descoberta de espécies se beneficiou da incorporação de dados moleculares e acústicos, bem como do aumento do número de herpetólogos na América do Sul.

Répteis Desde as descrições iniciais de Lineu de 50 espécies (1758), os répteis são o grupo de vertebrados com uma das menores taxas de descrição (Figura B3.2.1) e com o menor número de espécies descritas até o momento (804). Embora as descrições tenham aumentado continuamente, não há um período de aumento acentuado como com outros grupos de vertebrados, o que talvez destaca a necessidade de mais esforços taxonômicos. Na década de 1860, um pico de descrições foi alcançado com 74 espécies (9%), enquanto nas últimas décadas, entre 1990 e 2010, houve um aumento no número de espécies descritas, atingindo um pico de 54 entre 2000 e 2009 (Figura B3.2.4).

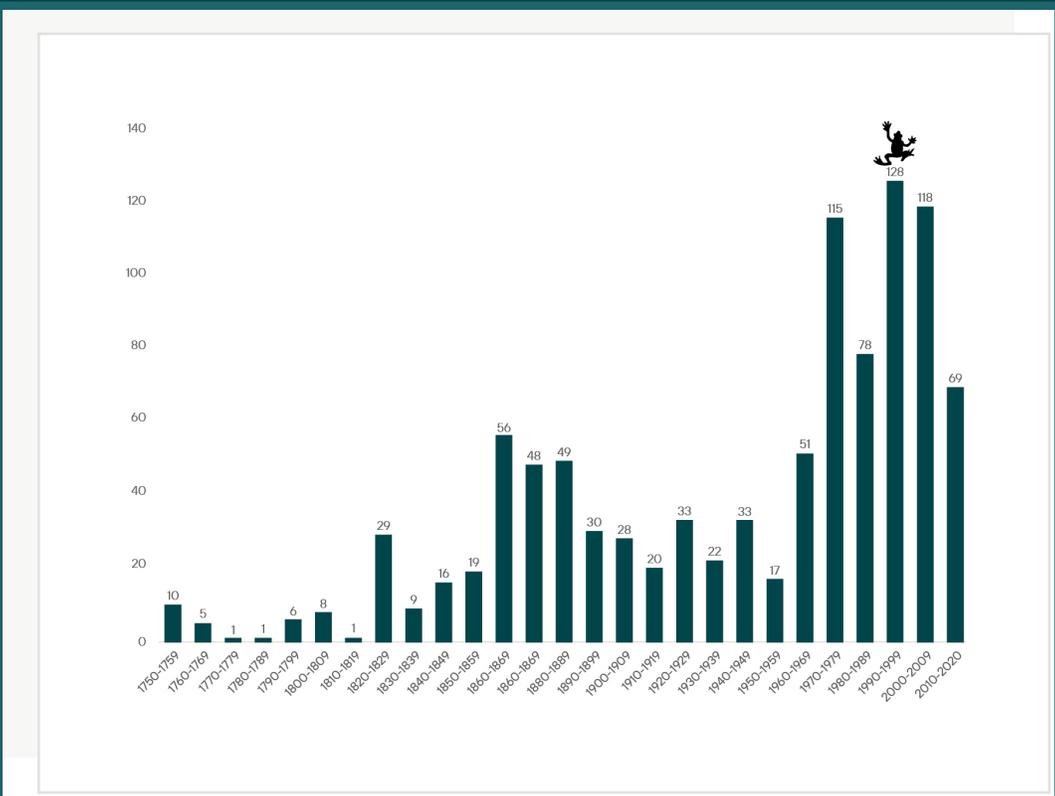


Figura B3.2.3 Número e porcentagem de espécies de anfíbios descritas por década na Amazônia.

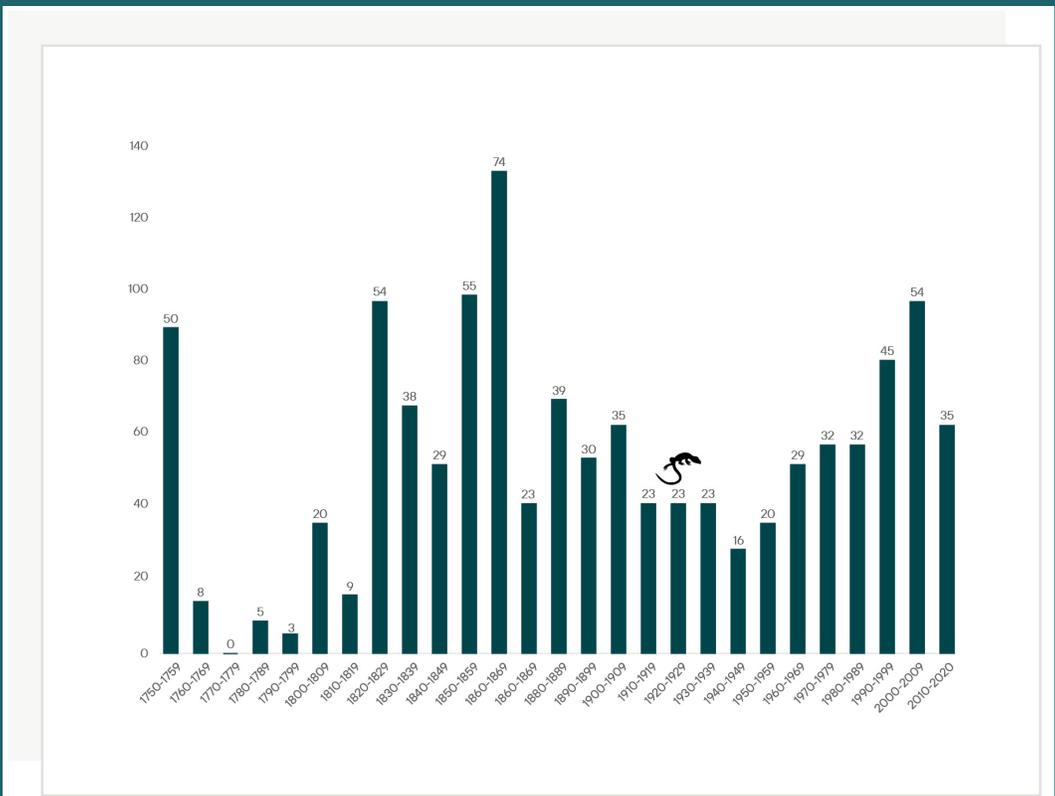


Figura B3.2.4 Número e porcentagem de espécies de répteis descritas por década na Amazônia.

Aves Desde que Lineu descreveu 150 espécies de aves, este é o grupo de vertebrados com o maior número de espécies, com 2.736 atualmente, de acordo com os dados do GBIF (Figura B3.2.1). Embora tenha havido um aumento muito baixo entre 1790 e 1810, o número de espécies aumentou rapidamente para 2.500 em 1910. O pico de descrições das espécies amazônicas ocorreu entre 1840 e 1849, com 349 espécies adicionadas (17%), representando 58,2% das espécies adicionadas entre 1810 e 1870 (Figura B3.2.5). Desde 1910, as descrições de espécies diminuíram significativamente, com apenas 25 espécies adicionadas desde a virada do século. Essa tendência sugere que as aves são o grupo de vertebrados mais conhecido, com o menor número de espécies a serem descritas.

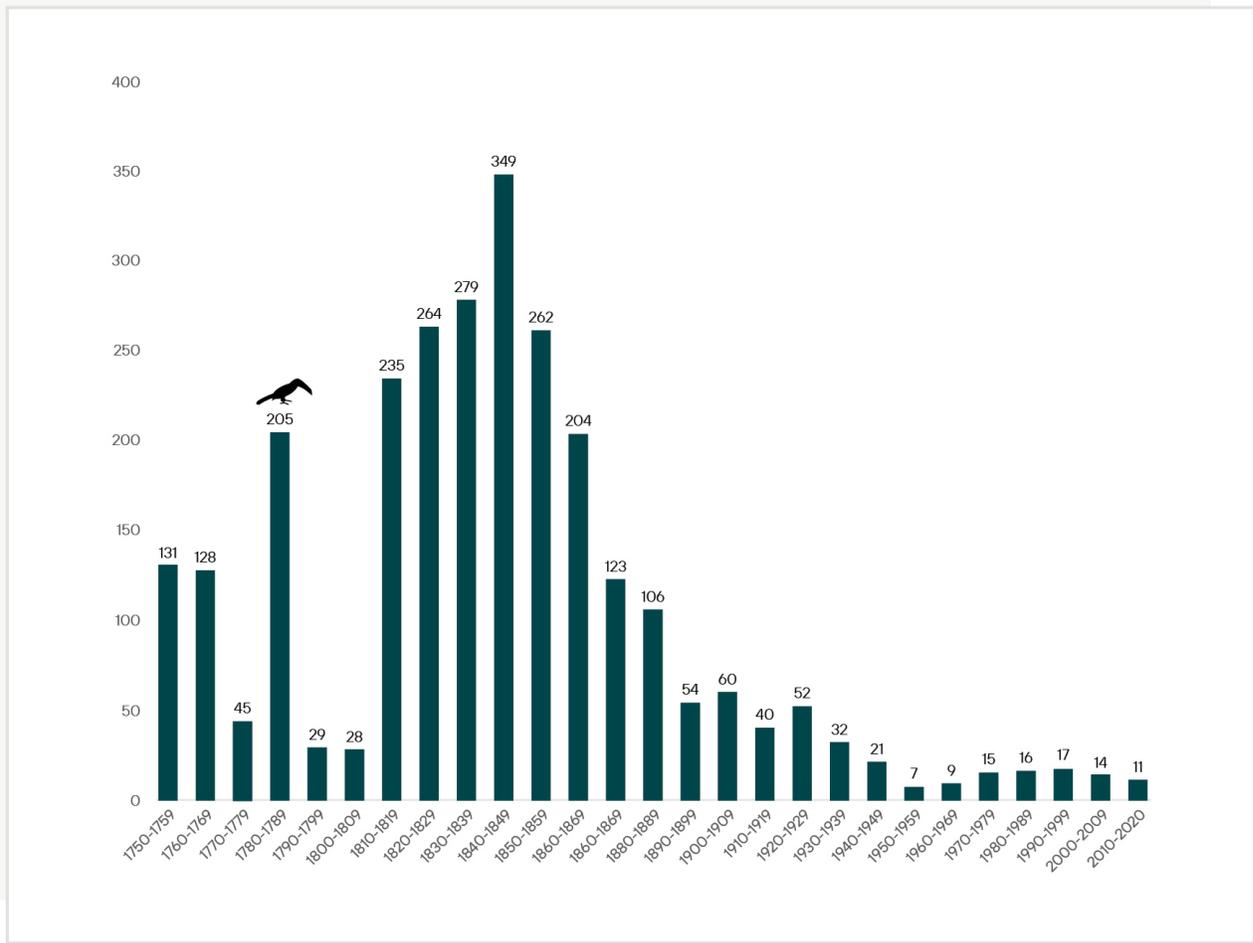


Figura B3.2.5 Número e porcentagem de espécies de pássaros descritas por década na Amazônia.

Mamíferos Quando começaram as descrições das espécies de mamíferos amazônicos (51 espécies descritas por Lineu em 1758), elas ocuparam o segundo lugar, depois das aves (Figura B3.2.1). O número de espécies de mamíferos passou para o terceiro lugar entre 1860 e 1870, posição que ocupou até a última década, quando os anfíbios ultrapassaram os mamíferos (975 vs 997, respectivamente) (Figura B3.1 e Figura B3.2.6).

A taxa de descrições manteve-se relativamente constante com aumentos em 1840 e 1900–1920, sendo este último período o pico nas descrições (92 espécies, 9%, Figura B3.2.6). O maior potencial para novas espécies de mamíferos na Amazônia está entre morcegos, roedores e marsupiais.

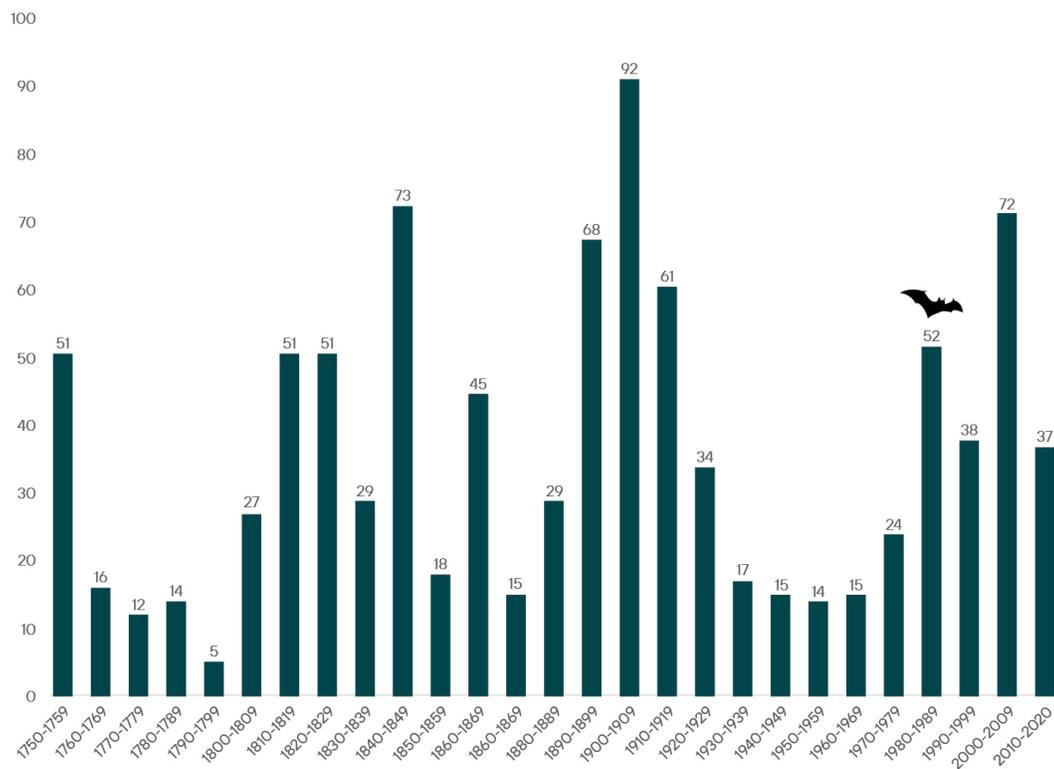


Figura B3.2.6 Número e porcentagem de espécies de mamíferos descritas por década na Amazônia.

Os padrões de descoberta variam muito entre as classes de vertebrados na Amazônia, e as taxas de descrições de novas espécies, por década, têm tido altas variações entre os grupos. Para continuar com as altas taxas de descrições de novas espécies, uma atenção especial deve ser dada à formação de taxonomistas integrativos, especialmente para peixes, anfíbios e pequenos mamíferos, cujas curvas de acúmulo de espécies estão longe de atingir uma assíntota, como acontece com as aves. Novas espécies estão sendo continuamente descritas na Amazônia, incluindo áreas afetadas pelos impactos negativos das atividades humanas. Os esforços para descrever novas espécies antes que elas sejam perdidas pela destruição do habitat devem ser intensificados se quisermos conhecer os verdadeiros níveis de riqueza de espécies na Amazônia e as formas mais eficazes de preservá-la.

Nota metodológica: Listas de espécies com o ano de descrição para cada espécie foram utilizadas na análise. No caso dos peixes, a lista disponível na Amazon Fish (Jézéquel *et al.* 2020), enquanto para o restante dos grupos as listas de espécies foram extraídas do GBIF, utilizando um polígono que abrange toda a bacia amazônica (Anfíbios, DOI: 10.15468/dl.9mgq7k; répteis, DOI: 10.15468/dl.uy6mw9; pássaros, DOI: 10.15468/dl.3zkc3v; e mamíferos, DOI: 10.15468/dl.ttgkq4). Em todos os casos, presume-se que as listas de peixes do GBIF e da Amazônia tenham as informações taxonômicas revisadas e validadas. Foram utilizados apenas os nomes científicos que incluem autor e ano, portanto os totais de espécies não indicam necessariamente o número total de espécies presentes na Amazônia. O polígono desenhado para o download do GBIF pode ter omitido algumas espécies ou incluído espécies que não ocorrem necessariamente na Amazônia.

antir a sobrevivência de espécies abrangentes, espécies migratórias, espécies raras, espécies com distribuições irregulares e a diversidade de características funcionais.

3.9 Referências

- Acosta IDCL, Costa AP Da, Gennari SM, and Marcili A. 2014. Survey of Trypanosoma and Leishmania in wild and domestic animals in an Atlantic rainforest fragment and surroundings in the state of Espírito Santo, Brazil. *J Med Entomol* **51**: 686–93.
- Adis J, Harada AY, Fonseca CRV da, et al. 1998. Arthropods obtained from the Amazonian tree species “Cupiuba” (*Goupia glabra*) by repeated canopy fogging with natural Pyrethrum. *Acta Amaz* **28**: 273.
- Adis J. 2007. Arthropods (terrestrial), Amazonian. In: Encyclopedia of Biodiversity. San Diego: Academic Press.
- Agudelo Córdoba E, León ÁVJ, Bonilla-Castillo CA, et al. 2013. Breeding, growth and exploitation of *Brachyplatystoma rousseauxii* Castelnau, 1855 in the Caqueta River, Colombia. *Neotrop Ichthyol* **11**: 637–47.
- Albert JS, Tagliacollo VA, and Dagosta F. 2020. Diversification of Neotropical Freshwater Fishes. *Annu Rev Ecol Evol Syst* **51**: 27–53.
- Alcantara-Rodriguez M, Françoço M, and Andel T van. 2019. Plant knowledge in the Historia Naturalis Brasiliae (1648): retentions of seventeenth-century plant use in Brazil. *Econ Bot* **73**: 390–404.
- Aleixo A and Fátima Rossetti D de. 2007. Avian gene trees, landscape evolution, and geology: towards a modern synthesis of Amazonian historical biogeography? *J Ornithol* **148**: 443–53.
- Alexiades M and Shanley P. 2004. Productos forestales, medios de subsistencia y conservación: Estudios de caso sobre sistemas de manejo de productos forestales no maderables. Bogor, Indonesia: CIFOR.
- Almeida MLS, Fernandes AS, and Boldrini R. 2020. A new species of *Macrelmis* Motschulsky, 1859 (Coleoptera: Elmidae) and new records of Elmidae from Roraima State, northern Brazil. *Zootaxa* **4718**.
- Almeida-Val VMF, Gomes ARC, and Lopes NP. 2006. Metabolic and physiological adjustments to low oxygen and high temperature in fishes of the Amazon. *Fish Physiol* **21**: 443–500.
- Alonso JÁ, Metz MR, and Fine PVA. 2013. Habitat Specialization by Birds in Western Amazonian White-sand Forests. *Biotropica* **45**: 365–72.
- Altieri MA. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. In: Invertebrate biodiversity as bioindicators of sustainable landscapes. Elsevier.
- Alvarenga GC, Ramalho EE, Baccaro FB, et al. 2018. Spatial patterns of medium and large size mammal assemblages in várzea and terra firme forests, Central Amazonia, Brazil. *PLoS One* **13**: e0198120.
- AmphibiaWeb. 2020. AmphibiaWeb. <https://amphibiaweb.org>.
- Andersen RA. 1992. Diversity of eukaryotic algae. *Biodivers & Conserv* **1**: 267–92.
- Anderson EP, Jenkins CN, Heilpern S, et al. 2018. Fragmentation of Andes-to-Amazon connectivity by hydropower dams. *Sci Adv* **4**: eaa01642.
- Andrews C. 1990. The ornamental fish trade and fish conservation. *J Fish Biol* **37**: 53–9.
- Angelini R, Fabrè NN, and Silva-JR UL da. 2006. Trophic analysis and fishing simulation of the biggest Amazonian catfish.
- Anjos HDB, Amorim RM de S, Siqueira JA, et al. 2009. Ornamental fish export of the state of Amazonas, Amazon basin, Brazil. *Bol do Inst Pesca* **35**: 259–74.
- Antonelli A, Ariza M, Albert J, et al. 2018a. Conceptual and empirical advances in Neotropical biodiversity research. *PeerJ* **6**: e5644.
- Antonelli A, Smith RJ, and Simmonds MSJ. 2019. Unlocking the properties of plants and fungi for sustainable development. *Nat Plants* **5**: 1100–2.
- Antonelli A, Zizka A, Carvalho FA, et al. 2018b. Amazonia is the primary source of Neotropical biodiversity. *Proc Natl Acad Sci* **115**: 6034–9.
- Arantes CC, Winemiller KO, Asher A, et al. 2019. Floodplain land cover affects biomass distribution of fish functional diversity in the Amazon River. *Sci Rep* **9**: 16684.
- Araújo VAL De, Boité MC, Cupolillo E, et al. 2013. Mixed infection in the anteater *Tamandua tetradactyla* (Mammalia: Pilosa) from Pará State, Brazil: *Trypanosoma cruzi*, *T. rangeli* and *Leishmania infantum*. *Parasitology* **140**: 455–60.
- Arévalo-Sandi A, Bobrowiec PED, Rodriguez Chuma VJU, and Norris D. 2018. Diversity of terrestrial mammal seed dispersers along a lowland Amazon forest regrowth gradient. *PLoS One* **13**: e0193752.
- Arias JR, Naiff RD, Naiff MF, et al. 1982. Isolation of *Histoplasma capsulatum* from an armadillo (*Dasypus novemcinctus*) in the eastern Amazon of Brazil. *Trans R Soc Trop Med Hyg* **76**: 705–6.
- Arnold AE and Lutzoni F. 2007. Diversity and host range of foliar fungal endophytes: are tropical leaves biodiversity hotspots? *Ecology* **88**: 541–9.
- Arraut EM, Marmontel M, Mantovani JE, et al. 2010. The lesser of two evils: seasonal migrations of Amazonian manatees in the Western Amazon. *J Zool* **280**: 247–56.
- Asner GP, Anderson CB, Martin RE, et al. 2014a. Landscape-scale changes in forest structure and functional traits along an Andes-to-Amazon elevation gradient. *Biogeosciences* **11**: 843–56.
- Asner GP, Martin RE, Tupayachi R, et al. 2014b. Amazonian functional diversity from forest canopy chemical assembly. *Proc*

- Natl Acad Sci* **111**: 5604–9.
- Aublet F. 1775. Histoire des plantes de la Guiane française, rangées suivant la méthode sexuelle... Didot.
- Avila-Pires TC, and Ramalho WP. Censo da Biodiversidade da Amazônia Brasileira – MPEG: Lagartos <http://www.museu-goeldi.br/ceenso/>. Viewed 28 Mar 2019.
- Avila-Pires TCS, Hoogmoed MS, and Vitt LJ. 2007. Herpetofauna da Amazônia. *Herpetol no Bras II Belo Horiz Soc Bras Herpetol*: 13–43.
- Ayala FM. 1964. Presencia de un hemoflagelado semejante al Trypanosoma rangeli Tejera, 1920 en el mono Saimiri boli- viensis, en la region amazonica, Peru. *Rev Inst Med Trop São Paulo* **6**: 47–50.
- Azevedo-Ramos C and Galatti U. 2002. Patterns of amphibian diversity in Brazilian Amazonia: conservation implications. *Biol Conserv* **103**: 103–11.
- Badio B and Daly JW. 1994. Epibatidine, a potent analgetic and nicotinic agonist. *Mol Pharmacol* **45**: 563–9.
- Bain O, Petit G, and Rosales-Loesener L. 1986. Filaires de Singes sud-américains. *Bull du Muséum Natl d'histoire Nat Sect A, Zool Biol écologie Anim* **8**: 513–42.
- Baker JR. 1972. Protozoa of tissues and blood (Other than the Haemosporina). In: Pathology of Simian Primates. Karger Publishers.
- Baker PA, Fritz SC, Dick CW, et al. 2014. The emerging field of geogenomics: constraining geological problems with genetic data. *Earth-Science Rev* **135**: 38–47.
- Balslev H, Macia MJ, and Navarrete H. 2015. Cosecha de palmas en el noroeste de Suramérica: bases científicas para su manejo y conservación. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Barlow J, Lennox GD, Ferreira J, et al. 2016. Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. *Nature* **535**: 144–7.
- Barnes CJ, Maldonado C, Frøslev TG, et al. 2016. Unexpectedly high beta-diversity of root-associated fungal communities in the Bolivian Andes. *Front Microbiol* **7**: 1377.
- Barros JHS, Lima L, Schubach AO, and Teixeira MMG. 2019. *Trypanosoma madeirae* sp. n.: A species of the clade *T. cruzi* associated with the neotropical common vampire bat *Desmodus rotundus*. *Int J Parasitol Parasites Wildl* **8**: 71–81.
- Barros Lopes L De, Guterres A, Rozental T, et al. 2014. *Rickettsia bellii*, *Rickettsia amblyommii*, and Laguna Negra hantavirus in an Indian reserve in the Brazilian Amazon. *Parasites and Vectors* **7**: 1–7.
- Barthem R and Goulding M. 1997. The catfish connection: ecology, migration, and conservation of Amazon predators. Columbia University Press.
- Barthem R and Goulding M. 2007. Un ecosistema inesperado: la Amazonía revelada por la pesca. Museu Paraense Emilio Goeldi, Amazon Conservation Association (ACA).
- Barthem RB, Brito Ribeiro MCL de, and Petrere Jr M. 1991. Life strategies of some long-distance migratory catfish in relation to hydroelectric dams in the Amazon Basin. *Biol Conserv* **55**: 339–45.
- Barthem RB, Goulding M, Leite RG, et al. 2017. Goliath catfish spawning in the far western Amazon confirmed by the distribution of mature adults, drifting larvae and migrating juveniles. *Sci Rep* **7**: 1–13.
- Bascompte J and Jordano P. 2007. Plant-animal mutualistic networks: the architecture of biodiversity. *Annu Rev Ecol Evol Syst* **38**: 567–93.
- Bass MS, Finer M, Jenkins CN, et al. 2010. Global conservation significance of Ecuador's Yasuni National Park. *PLoS One* **5**: e8767.
- Bates JM. 2001. Avian diversification in Amazonia: evidence for historical complexity and a vicariance model for a basic diversification pattern. *Divers biológica e Cult da Amaz*: 119–37.
- Baum JK and Worm B. 2009. Cascading top-down effects of changing oceanic predator abundances. *J Anim Ecol* **78**: 699–714.
- Bawa KS. 1990. Plant-pollinator interactions in tropical rain forests. *Annu Rev Ecol Syst*: 399–422.
- Bello C, Galetti M, Pizo MA, et al. 2015. Defaunation affects carbon storage in tropical forests. *Sci Adv* **1**: e1501105.
- Benone NL, Leal CG, Santos LL dos, et al. 2020. Unravelling patterns of taxonomic and functional diversity of Amazon stream fish. *Aquat Sci* **82**: 1–11.
- Beringer J, Lynch AH, Chapin III FS, et al. 2001. The representation of arctic soils in the land surface model: the importance of mosses. *J Clim* **14**: 3324–35.
- Bernal R, Gradstein SR, and Celis M (Eds). 2015. Catálogo de plantas y líquenes de Colombia.
- Bernal R, Gradstein SR, and Celis M (eds). (Eds). 2015. Catálogo de plantas y líquenes de Colombia. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Bodmer RE, Eisenberg JF, and Redford KH. 1997. Hunting and the likelihood of extinction of Amazonian mammals: Caza y Probabilidad de Extinción de Mamíferos Amazónicos. *Conserv Biol* **11**: 460–6.
- Bonvicino CR and Weksler M. 2012. Speciation in Amazonia: Patterns and Predictions of a Network of Hypotheses. In: Patterson BD, Costa L. (Eds). Bones, Clones, and Biomes: the history and geography of recent Neotropical mammals. Chicago.: University of Chicago Press.
- Borer ET, Seabloom EW, Shurin JB, et al. 2005. What determines the strength of a trophic cascade? *Ecology* **86**: 528–37.
- Borghesan E de A, Pires TH da S, Ikeda T, et al. 2021. A Review on Fish Sensory Systems and Amazon Water Types With Implications to Biodiversity. *Front Ecol Evol* **8**.

- Bowen SH. 1983. Detritivory in neotropical fish communities. *Environ Biol Fishes* **9**: 137–44.
- Brako L and Zarucchi JL. 1993. Catalogue of the flowering plants and gymnosperms of Peru. Catálogo de las angiospermas y gimnospermas del Perú. *Monogr Syst Bot from Missouri Bot Gard* **45**: 1–1286.
- Brando PM, Paolucci L, Ummenhofer CC, et al. 2019. Droughts, Wildfires, and Forest Carbon Cycling: A Pantropical Synthesis. *Annu Rev Earth Planet Sci* **47**: 555–81.
- Brazil Flora Group. 2018. Brazilian Flora 2020: Innovation and collaboration to meet Target 1 of the Global Strategy for Plant Conservation (GSPC). *Rodriguésia* **69**: 1513–27.
- Brehm G, Homeier J, Fiedler K, et al. 2008. Mountain Rain Forests in Southern Ecuador as a Hotspot of Biodiversity – Limited Knowledge and Diverging Patterns
- Brito JG, Roque FO, Martins RT, et al. 2020. Small forest losses degrade stream macroinvertebrate assemblages in the eastern Brazilian Amazon. *Biol Conserv* **241**: 108263.
- Bueno RS, Guevara R, Ribeiro MC, et al. 2013. Functional Redundancy and Complementarities of Seed Dispersal by the Last Neotropical Megafrugivores (A Traveset, Ed). *PLoS One* **8**: e56252.
- Bush MB. 1994. Amazonian speciation: a necessarily complex model. *J Biogeogr*: 5–17.
- Calderón-Sáenz E. (ed.). 2006. Libro Rojo de Plantas de Colombia. Volumen 3: Orquídeas, Primera Parte. Serie Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia. Bogotá, Colombia. Instituto Alexander von Humboldt - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 828 p.
- Capps KA and Flecker AS. 2013. Invasive aquarium fish transform ecosystem nutrient dynamics. *Proc R Soc B Biol Sci* **280**: 20131520.
- Cardoso D, Särkinen T, Alexander S, et al. 2017. Amazon plant diversity revealed by a taxonomically verified species list. *Proc Natl Acad Sci* **114**: 10695–700.
- Carnieli P, Ruthner Batista HBC, Novaes Oliveira R de, et al. 2013. Phylogeographic dispersion and diversification of rabies virus lineages associated with dogs and crab-eating foxes (*Cerdocyon thous*) in Brazil. *Arch Virol* **158**: 2307–13.
- Carrasco HJ, Frame IA, Valente SA, and Miles MA. 1996. Genetic Exchange as a Possible Source of Genomic Diversity in Sylvatic Populations of *Trypanosoma cruzi*. *Am J Trop Med Hyg* **54**: 418–24.
- Castello L. 2007. Lateral migration of *Arapaima gigas* in floodplains of the Amazon. *Ecol Freshw Fish* **17**: 38–46.
- Caughlin TT, Ferguson JM, Lichstein JW, et al. 2015. Loss of animal seed dispersal increases extinction risk in a tropical tree species due to pervasive negative density dependence across life stages. *Proc R Soc B Biol Sci* **282**: 20142095.
- Cavazzana Jr M, Marcili A, Lima L, et al. 2010. Phylogeographical, ecological and biological patterns shown by nuclear (ssrRNA and gGAPDH) and mitochondrial (Cyt b) genes of trypanosomes of the subgenus *Schizotrypanum* parasitic in Brazilian bats. *Int J Parasitol* **40**: 345–55.
- Chapin FS, Sala OE, Huber-Sannwald E, and Leemans R. 2001. The future of biodiversity in a changing world. In: Chapin FS, Sala OE, Sannwald H (Eds). *Global Biodiversity in a Changing Environment*. Springer.
- Chase JM, Biro EG, Ryberg WA, and Smith KG. 2009. Predators temper the relative importance of stochastic processes in the assembly of prey metacommunities. *Ecol Lett* **12**: 1210–8.
- Chave J, Chust G, and Thébaud C. 2007. The importance of phylogenetic structure in biodiversity studies. *Scaling Biodivers*: 151–67.
- Chaverri-Polini A. 1998. Mountains, biodiversity and conservation. *UNASYLVA-FAO*, 49: 47–54.
- Clement C, Cristo-Araújo M De, Coppens D’Eeckenbrugge G, et al. 2010. Origin and Domestication of Native Amazonian Crops. *Diversity* **2**: 72–106.
- Clement CR, Denevan WM, Heckenberger MJ, et al. 2015. The domestication of Amazonia before European conquest. *Proc R Soc B Biol Sci* **282**: 20150813.
- Clement CR, Rodrigues DP, Alves-Pereira A, et al. 2016. Crop domestication in the upper Madeira River basin. *Bol do Mus Para Emílio Goeldi Ciências Humanas* **11**: 193–205.
- Cobo B. (1964 [1653]). *Historia del nuevo mundo*. Imp. de E. Rasco.
- Coley PD and Barone JA. 1996. Herbivory and plant defenses in tropical forests. *Annu Rev Ecol Syst* **27**: 305–35.
- Colinvaux PA. 1993. Pleistocene biogeography and diversity in tropical forests of South America. *Biol Relationships between Africa South Am*: 473–99.
- Conga DF, Bowler M, Tantalean M, et al. 2014. Intestinal helminths in wild Peruvian red uakari monkeys (*Cacajao calvus ucayalii*) in the northeastern Peruvian Amazon. *J Med Primatol* **43**: 130–3.
- Coradin L, Camillo J, and Pareyn F. 2018. Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: Região Centro-Oeste. *Embrapa Recur Genéticos e Biotecnol científico*.
- Correa SB and Winemiller KO. 2014. Niche partitioning among frugivorous fishes in response to fluctuating resources in the Amazonian floodplain forest. *Ecology* **95**: 210–24.
- Correa SB, Araujo JK, Penha JMF, et al. 2015b. Overfishing disrupts an ancient mutualism between frugivorous fishes and plants in Neotropical wetlands. *Biol Conserv* **191**: 159–67.
- Correa SB, Costa-Pereira R, Fleming T, et al. 2015a. Neotropical fish-fruit interactions: eco-evolutionary dynamics and conservation. *Biol Rev* **90**: 1263–78.
- Costa AP da, Costa FB, Soares HS, et al. 2015. *Trypanosoma cruzi*

- and *Leishmania infantum chagasi* Infection in Wild Mammals from Maranhão State, Brazil. *Vector-Borne Zoonotic Dis* **15**: 656–66.
- Costa AP da, Nunes PH, Leite BHS, *et al.* 2016. Diversity of bats trypanosomes in hydroelectric area of Belo Monte in Brazilian Amazonia. *Acta Trop* **164**: 185–93.
- Costa FRC and Magnusson WE. 2010. The need for large-scale, integrated studies of biodiversity—the experience of the Program for Biodiversity Research in Brazilian Amazonia. *Vol 8, Número 1, Pags 3-12*.
- Costa LJC, Andrade FAG, Uieda W, *et al.* 2013. Serological investigation of rabies virus neutralizing antibodies in bats captured in the eastern Brazilian Amazon. *Trans R Soc Trop Med Hyg* **107**: 684–9.
- Cox-Fernandes C. 1997. Lateral migration of fishes in Amazon floodplains. *Ecol Freshw Fish* **6**: 36–44.
- Crawford MJ. 2016. The Andean Wonder Drug, Cinchona bark and the Imperial Science in the Spanish Atlantic, 1630–1800. University of Pittsburg Press. 30.
- Crisp MD, Arroyo MTK, Cook LG, *et al.* 2009. Phylogenetic biome conservatism on a global scale. *Nature* **458**: 754–6.
- Da Silva, Moises B. *et al.* 2018. Evidence of zoonotic leprosy in Pará, Brazilian Amazon, and risks associated with human contact or consumption of armadillos. *PLoS neglected tropical diseases*, **12**: e0006532.
- Da -Silva V, Trujillo F, Martin A, *et al.* 2018. *Inia geoffrensis*. The IUCN Red List of Threatened.
- Dala-Corte RB, Melo AS, Siqueira T, *et al.* 2020. Thresholds of freshwater biodiversity in response to riparian vegetation loss in the Neotropical region. *J Appl Ecol* **57**: 1391–402.
- Daly JW. 1995. The chemistry of poisons in amphibian skin. *Proc Natl Acad Sci* **92**: 9–13.
- Da-Silva FM, Marcili A, Lima L, *et al.* 2009. *Trypanosoma rangeli* isolates of bats from Central Brazil: genotyping and phylogenetic analysis enable description of a new lineage using spliced-leader gene sequences. *Acta Trop* **109**: 199–207.
- Da-Silva Jr NJ and Sites Jr JW. 1995. Patterns of diversity of neotropical squamate reptile species with emphasis on the Brazilian Amazon and the conservation potential of indigenous reserves. *Conserv Biol* **9**: 873–901.
- Da-Silva MNF da, Oliveira ACM, Messias MR, *et al.* 2015. Biodiversidade brasileira de mamíferos amazônicos representada em coleções biológicas. In: Oliveira ACM, Miranda C. (Eds). Pequenos Mamíferos não-voadores da Amazônia Brasileira. SBMz.
- Da-Silva VMF. 2008. Amazon river dolphin: *Inia geoffrensis*. *Encycl Mar Mamm* **8235**: 26–8.
- de Thoisy B, Gardon J, Salas RA, *et al.* 2003. Mayaro Virus in Wild Mammals, French Guiana. *Emerg Infect Dis* **9**: 1326–9.
- Deane LM 1961. Tripanosomídeos de mamíferos da região amazônica. I. Alguns flagelados encontrados no sangue de mamíferos silvestres do Estado do Pará. *Rev Inst Med Trop, São Paulo* **3**: 15–28.
- Deane LM and Damasceno RG. 1961. Tripanosomídeos de mamíferos da Região Amazônica II. Tripanosomas de macacos da Zona do Salgado, Estado do Pará. *Rev Inst Med Trop São Paulo* **3**: 61–70.
- Deem SL and Emmons LH. 2005. Exposure of free-ranging maned wolves (*Chrysocyon brachyurus*) to infectious and parasitic disease agents in the Noel Kempff Mercado National Park, Bolivia. *J Zoo Wildl Med* **36**: 192–7.
- Demar M, Ajzenberg D, Serrurier B, *et al.* 2008. Atypical *Toxoplasma gondii* strain from a free-living jaguar (*Panthera onca*) in French Guiana. *Am J Trop Med Hyg* **78**: 195–7.
- Dexter KG, Lavin M, Torke BM, *et al.* 2017. Dispersal assembly of rain forest tree communities across the Amazon basin. *Proc Natl Acad Sci* **114**: 2645–50.
- Dias-Silva K, Brasil LS, Veloso GKO, *et al.* 2020. Land use change causes environmental homogeneity and low beta-diversity in Heteroptera of streams. In: Annales de Limnologie-International Journal of Limnology.
- Díaz S, Lavorel S, Bello F de, *et al.* 2007. Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. *Proc Natl Acad Sci* **104**: 20684–9.
- Domning DP. 1982. Commercial exploitation of manatees *Trichechus* in Brazil c. 1785--1973. *Biol Conserv* **22**: 101–26.
- Donatti CI, Guimarães PR, Galetti M, *et al.* 2011. Analysis of a hyper-diverse seed dispersal network: modularity and underlying mechanisms. *Ecol Lett* **14**: 773–81.
- Doughty CE, Wolf A, Morueta-Holme N, *et al.* 2016. Megafauna extinction, tree species range reduction, and carbon storage in Amazonian forests. *Ecography (Cop)* **39**: 194–203.
- Dubey JP, Sundar N, Gennari SM, *et al.* 2007. Biologic and genetic comparison of *Toxoplasma gondii* isolates in free-range chickens from the northern Pará state and the southern state Rio Grande do Sul, Brazil revealed highly diverse and distinct parasite populations. *Vet Parasitol* **143**: 182–8.
- Duellman WE and Trueb L. 1986. Biology of Amphibians. McGraw-Hill.
- Duellman WE. 2005. Cusco Amazónico. Ithaca, NY: Comstock Pub. Associates.
- Duponchelle F, Isaac VJ, Rodrigues Da Costa Doria C, *et al.* 2021. Conservation of migratory fishes in the Amazon basin. *Aquat Conserv Mar Freshw Ecosyst* **31**: 1087–105.
- Duponchelle F, Pouilly M, Pécheyrán C, *et al.* 2016. Trans-Amazonian natal homing in giant catfish. *J Appl Ecol* **53**: 1511–20.
- Dutra RC, Campos MM, Santos ARS, and Calixto JB. 2016. Medicinal plants in Brazil: Pharmacological studies, drug discovery, challenges and perspectives. *Pharmacol Res* **112**: 4–29.
- Ehrlich PR and Raven PH. 1964. Butterflies and plants: a study in

- coevolution. *Evolution (NY)*: 586–608.
- Eiserhardt WL, Couvreur TLP, and Baker WJ. 2017. Plant phylogeny as a window on the evolution of hyperdiversity in the tropical rainforest biome. *New Phytol* **214**: 1408–22.
- Erwin TL, Pimienta MC, Murillo OE, and Aschero V. 2005. Mapping patterns of β -diversity for beetles across the western Amazon Basin: A preliminary case for improving conservation strategies. *Proc Calif Acad Sci*: 72–85.
- Erwin TL. 1998. Forests and Insects. Allan D. Watt, Nigel E. Stork, and Mark D. Hunter (editors) London: Chapman & Hall, 1997 pp. i-xv, 1-406. *Biodiversity and Conservation* **7**: 1662–1664. [Review]
- Estrella, E. 1995. Plantas medicinales Amazónicas : realidad y perspectivas. Lima.
- Evers H-G, Pinnegar JK, and Taylor MI. 2019. Where are they all from?—sources and sustainability in the ornamental freshwater fish trade. *J Fish Biol* **94**: 909–16.
- Fabricant DS and Farnsworth NR. 2001. The value of plants used in traditional medicine for drug discovery. *Environ Health Perspect* **109**: 69–75.
- FAO 2011. Fruit trees and useful plants in Amazonian life (P Shanley, M Margaret Cymerys, M Serra, and G Medina, Eds). FAO, CIFOR, PPI.
- Favoretto s. R, mattos c. C De, mattos c. A De, *et al.* 2013. The emergence of wildlife species as a source of human rabies infection in Brazil. *Epidemiol Infect* **141**: 1552–61.
- Fernández de Oviedo G. 1526. Ouiedo de la natural hystoria de las Indias. Exposición Histórico -Americana de Madrid. Catálogo 589.
- Fernández-Osuna MA and Scarabotti PA. 2016. Phenotypic plasticity associated to environmental hypoxia in the neotropical serrasalmid *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887) (Characiformes: Serrasalminidae). *Neotrop Ichthyol* **14**.
- Ferreira AS, Lima AP, Jehle R, *et al.* 2020. The influence of environmental variation on the genetic structure of a poison frog distributed across continuous Amazonian rainforest. *J Hered* **111**: 457–70.
- Ferris MJ, Ruff-Roberts AL, Kopczynski ED, *et al.* 1996. Enrichment culture and microscopy conceal diverse thermophilic *Synechococcus* populations in a single hot spring microbial mat habitat. *Appl Environ Microbiol* **62**: 1045 LP – 1050.
- Feuillet C. 2009. Checklist of the plants of the Guiana shield 1. An update to the angiosperms. *J Bot Res Inst Texas*: 799–814.
- Figueiredo LTM and Rosa APAT da. 1988. Jatobal virus antigenic characterization by ELISA and neutralization test using EIA as indicator, on tissue culture. *Mem Inst Oswaldo Cruz* **83**: 161–4.
- Filgueiras A, Barros JH da S, Xavier SCC, *et al.* 2019. Natural *Trypanosoma* (Trypanozoon) *evansi* (Steel, 1885) infection among mammals from Brazilian Amazon. *Acta Trop* **190**: 92–8.
- Fine PVA, Garcia-Villacorta R, Pitman NCA, *et al.* 2010. A floristic study of the white-sand forests of Peru. *Ann Missouri Bot Gard* **97**: 283–305.
- Fine PVA, García-Villacorta R, Pitman NCA, *et al.* 2010. A Floristic study of the white-sand dorests of Peru 1. *Ann Missouri Bot Gard* **97**: 283–305.
- Fine PVA, Mesones I, and Coley PD. 2004. Herbivores promote habitat specialization by trees in Amazonian forests. *Science* **305**: 663–5.
- Fine PVA, Metz MR, Lokvam J, *et al.* 2013. Insect herbivores, chemical innovation, and the evolution of habitat specialization in Amazonian trees. *Ecology* **94**: 1764–75.
- Flecker AS, McIntyre PB, Moore JW, *et al.* 2010. Migratory fishes as material and process subsidies in riverine ecosystems. In: American Fisheries Society Symposium.
- Flora de Colombia. Flora de Colombia. 1983–present. 26+ vols. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional, Bogotá.
- Flora do Brasil. 2020. Jardim Botânico do Rio de Janeiro <http://floradobrasil.jbrj.gov.br>.
- Flynn DFB, Gogol-Prokurat M, Nogeire T, *et al.* 2009. Loss of functional diversity under land use intensification across multiple taxa. *Ecol Lett* **12**: 22–33.
- Forest F, Grenyer R, Rouget M, *et al.* 2007. Preserving the evolutionary potential of floras in biodiversity hotspots. *Nature* **445**: 757–60.
- Forzza RC, Leitman PM, Costa A, *et al.* 2010. Catálogo de plantas e fungos do Brasil-Vol. 2. JBRJ.
- Fouquet A, Courtois EA, Baudain D, *et al.* 2015. The trans-riverine genetic structure of 28 Amazonian frog species is dependent on life history. *J Trop Ecol* **31**: 361–73.
- Fouquet A, Gilles A, Vences M, *et al.* 2007. Underestimation of Species Richness in Neotropical Frogs Revealed by mtDNA Analyses (J-N Volff, Ed). *PLoS One* **2**: e1109.
- Frank KT, Petrie B, Choi JS, and Leggett WC. 2005. Trophic cascades in a formerly cod-dominated ecosystem. *Science* **308**: 1621–3.
- Frost DR. 2021. Amphibian Species of the World: an Online Reference. Version 6.1. <http://research.amnh.org/vz/herpetology/amphibia>.
- Funk VA, Berry P, Alexander S, *et al.* 2007a. Checklist of the plants of the Guiana Shield (Venezuela: Amazonas, Bolivar, Delta Amacuro; Guyana, Surinam, French Guiana). Citeseer.
- Funk WC, Caldwell JP, Peden CE, *et al.* 2007b. Tests of biogeographic hypotheses for diversification in the Amazonian forest frog, *Physalaemus petersi*. *Mol Phylogenet Evol* **44**: 825–37.
- Funk WC, Caminer M, and Ron SR. 2012. High levels of cryptic species diversity uncovered in Amazonian frogs. *Proc R Soc B Biol Sci* **279**: 1806–14.
- Furtado MM, Metzger B, Almeida Jácomo AT de, *et al.* 2017. Hepatozoon SPP. Infect Free-Ranging Jaguars (*Panthera onca*) in

- Brazil. *J Parasitol* **103**: 243–50.
- Gascon C, Malcolm JR, Patton JL, *et al.* 2000. Riverine barriers and the geographic distribution of Amazonian species. *Proc Natl Acad Sci* **97**: 13672–7.
- Gaston, KJ Blackburn, TM, Greenwood, *et al.* 2000. Abundance-occupancy relationships, *J Appl Ecol*, **37**: 39–59. doi:10.1046/j.1365-2664.2000.00485.x
- GBIF. 2021. Global Biodiversity Information Facility. <https://www.gbif.org/species/6>.
- Gentry A. 1980. The flora of Peru: a conspectus. *Fieldiana Bot* **5**: 1–73.
- Gentry A. 1997. Regional overview: South America. In Center of plant diversity. A guide and strategy for their conservation (SD Davis, VH Heywood, O. Herrera-Macbride, J. Villa-Lobos & AC Hamilton, eds.).
- Gentry AH. 1982. Patterns of Neotropical Plant Species Diversity. In: Evolutionary Biology. Boston, MA: Springer US.
- Gentry AH. 1988. Tree species richness of upper Amazonian forests. *Proc Natl Acad Sci* **85**: 156–9.
- Givnish TJ. 2017. A New World of plants. *Science* **358**: 1535–6.
- Gómez A and Nichols E. 2013. Neglected wild life: Parasitic biodiversity as a conservation target. *Int J Parasitol Parasites Wildl* **2**: 222–7.
- Görts-van Rijn ARA. 1985. Flora of the Guianas: Phanerogams. Series A. Koeltz Scientific Books.
- Gotelli NJ and Colwell RK. 2001. Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecol Lett* **4**: 379–91.
- Goulding M. 1980. The fishes and the forest: explorations in Amazonian natural history. Univ of California Press.
- Goulding M. 1983. The role of fishes in seed dispersal and plant distribution in Amazonian floodplain ecosystems. *Sonderbd Naturwiss Ver Hambg* **7**: 271–83.
- Gradstein SR, Churchill SP, and Salazar-Allen N. 2001. Guide to the bryophytes of tropical America. *Mem YORK Bot Gard*.
- Gruhn KD, Ogrzewalska M, Rozental T, *et al.* 2019. Evaluation of rickettsial infection in free-range capybaras (*Hydrochoerus hydrochaeris* Linnaeus, 1766) (Rodentia: Caviidae) and ticks (Acari: Ixodidae) in the Western Amazon, Brazil. *Ticks Tick Borne Dis* **10**: 981–6.
- Guayasamin JM, Cisneros-Heredia DF, McDiarmid RW, *et al.* 2020. Glassfrogs of Ecuador: diversity, evolution, and conservation. *Diversity* **12**: 222.
- Guedes TB, Sawaya RJ, Zizka A, *et al.* 2018. Patterns, biases and prospects in the distribution and diversity of Neotropical snakes. *Glob Ecol Biogeogr* **27**: 14–21.
- Guilherme DR, Souza JLP, Franklin E, *et al.* 2019. Can environmental complexity predict functional trait composition of ground-dwelling ant assemblages? A test across the Amazon Basin. *Acta Oecologica* **99**: 103434.
- Haffer J. 1969. Speciation in Amazonian Forest Birds. *Science* **165**: 131–7.
- Haffer J. 1993. Time's cycle and time's arrow in the history of Amazonia. *Compte rendu des séances la société biogéographie* **69**: 15–45.
- Haffer J. 2008. Hypotheses to explain the origin of species in Amazonia. *Brazilian J Biol* **68**: 917–47.
- Hamada N, Nessimian JL, and Querino RB. 2014. Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia. Manaus: Editora do INPA, 2014.
- Hang J, Forshey BM, Yang Y, *et al.* 2014. Genomic characterization of group C orthobunyavirus reference strains and recent South American clinical isolates (T Ikegami, Ed). *PLoS One* **9**: e92114.
- Hanson PE. 2016. Insects and other arthropods of tropical America. Cornell University Press Ithaca.
- Hardesty BD, Hubbell SP, and Bermingham E. 2006. Genetic evidence of frequent long-distance recruitment in a vertebrate-dispersed tree. *Ecol Lett* **9**: 516–25.
- Harms KE, Wright SJ, Calderón O, *et al.* 2000. Pervasive density-dependent recruitment enhances seedling diversity in a tropical forest. *Nature* **404**: 493–5.
- Haugaasen T and Peres CA. 2005. Mammal assemblage structure in Amazonian flooded and unflooded forests. *J Trop Ecol*: 133–45.
- Hauser M, Duponchelle F, Hermann TW, *et al.* 2020. Unmasking continental natal homing in goliath catfish from the upper Amazon. *Freshw Biol* **65**: 325–36.
- Hawes JE, Vieira ICG, Magnago LFS, *et al.* 2020. A large-scale assessment of plant dispersal mode and seed traits across human-modified Amazonian forests. *J Ecol* **108**: 1373–85.
- Heckman CW. 2011. Encyclopedia of South American Aquatic Insects: Hemiptera-Heteroptera: Illustrated Keys to Known Families, Genera, and Species in South America. Springer Science & Business Media.
- Hoeninghaus DJ, Winemiller KO, Layman CA, *et al.* 2006. Effects of seasonality and migratory prey on body condition of Cichla species in a tropical floodplain river. *Ecol Freshw Fish* **15**: 398–407.
- Hollatz C, Vilaca ST, Redondo RAF, *et al.* 2011. The Amazon River system as an ecological barrier driving genetic differentiation of the pink dolphin (*Inia geoffrensis*). *Biol J Linn Soc* **102**: 812–27.
- Honorio Coronado EN, Dexter KG, Pennington RT, *et al.* 2015. Phylogenetic diversity of Amazonian tree communities (MC Fitzpatrick, Ed). *Divers Distrib* **21**: 1295–307.
- Hooper ER and Ashton MS. 2020. Fragmentation reduces community-wide taxonomic and functional diversity of dispersed tree seeds in the Central Amazon. *Ecol Appl* **30**: e02093.
- Hoorn C, Wesselingh FP, Steege H ter, *et al.* 2010. Amazonia

- Through Time: Andean Uplift, Climate Change, Landscape Evolution, and Biodiversity. *Science* **330**: 927–31.
- Horn MH, Correa SB, Parolin P, *et al.* 2011. Seed dispersal by fishes in tropical and temperate fresh waters: the growing evidence. *Acta Oecologica* **37**: 561–77.
- Howe HF and Smallwood J. 1982. Ecology of Seed Dispersal. *Annu Rev Ecol Syst* **13**: 201–28.
- Hrbek T, Silva VMF da, Dutra N, *et al.* 2014. A New Species of River Dolphin from Brazil or: How Little Do We Know Our Biodiversity (ST Turvey, Ed). *PLoS One* **9**: e83623.
- Hubbell SP, He F, Condit R, *et al.* 2008. How many tree species are there in the Amazon and how many of them will go extinct? *Proc Natl Acad Sci USA* **105**: 11498.
- Huérfano A, Fedón I, and Mostacero J (Eds). 2003. Libro Rojo de la Flora Venezolana. 2ª Edición. Instituto Experimental Jardín Botánico Universidad Central de Venezuela.
- Hugot J-P, Demanche C, Barriol V, *et al.* 2003. Phylogenetic Systematics and Evolution of Primate-Derived Pneumocystis Based on Mitochondrial or Nuclear DNA Sequence Comparison. *Syst Biol* **52**: 735–44.
- Hugot JP, Gardner SL, and Morand S. 1996. The Enterobiinae subfam. nov. (Nematoda, Oxyurida) pinworm parasites of primates and rodents. *Int J Parasitol* **26**: 147–59.
- Hugot J-P. 1985. Sur le genre Trypanoxyuris (Oxyuridae, Nematoda). III. Sous-genre trypanoxyuris parasite de primates cebidae et atelidae. *Bull du Muséum Natl d'Histoire Nat* **7**: 131–55.
- Hugot JP. 1999. Primates and Their Pinworm Parasites: The Cameron Hypothesis Revisited (R Page, Ed). *Syst Biol* **48**: 523–46.
- Humboldt A von and Bonpland A. 1805. Essai sur la géographie des plantes. Accompagné d'un tableau physique des régions équinoxiales fondé sur des mesures exécutées, depuis le dixième degré de latitude boréale jusqu'au dixième degré de latitude australe, pendant les années 1799, 1800, 1801, 1802 et 1803. Paris: Schöll.
- Humphreys AM, Govaerts R, Ficinski SZ, *et al.* 2019. Global dataset shows geography and life form predict modern plant extinction and rediscovery. *Nat Ecol Evol* **3**: 1043–7.
- Jansen AM, Xavier SC das C, and Roque ALR. 2018. Trypanosoma cruzi transmission in the wild and its most important reservoir hosts in Brazil. *Parasit Vectors* **11**: 502.
- Jansen AM, Xavier SCC, and Roque ALR. 2015. The multiple and complex and changeable scenarios of the Trypanosoma cruzi transmission cycle in the sylvatic environment. *Acta Trop* **151**: 1–15.
- Janzen DH. 1970. Herbivores and the number of tree species in tropical forests. *Am Nat* **104**: 501–28.
- Jaramillo AF, La Riva I De, Guayasamin JM, *et al.* 2020. Vastly underestimated species richness of Amazonian salamanders (Plethodontidae: Bolitoglossa) and implications about plethodontid diversification. *Mol Phylogenet Evol* **149**: 106841.
- Jézéquel C, Tedesco PA, Bigorne R, *et al.* 2020. A database of freshwater fish species of the Amazon Basin. *Sci data* **7**: 1–9.
- Johnson CK, Hitchens PL, Pandit PS, *et al.* 2020. Global shifts in mammalian population trends reveal key predictors of virus spillover risk. *Proc R Soc B Biol Sci* **287**: 20192736.
- Jordano P, Garcia C, Godoy JA, and Garcia-Castano JL. 2007. Differential contribution of frugivores to complex seed dispersal patterns. *Proc Natl Acad Sci* **104**: 3278–82.
- Jørgensen PM and León-Yáñez S. 1999. Catalogue of the vascular plants of Ecuador. Missouri Botanical Garden St. Louis.
- Jørgensen PM, Nee M, Beck SG, *et al.* 2014. Catálogo de las plantas vasculares de Bolivia. Missouri Botanical Garden Press.
- Junk W. 1989. Flood tolerance and tree distribution in central Amazonian floodplains. Holm-nielsen. *Trop For Bot Dyn speciation, Divers*: 47–64.
- Junk WJ and Piedade MTF. 1993. Herbaceous plants of the Amazon floodplain near Manaus: Species diversity and adaptations to the flood pulse. *Amaz Limnol Oecologia Reg Syst Fluminis Amaz* **12**: 467–84.
- Junk WJ, Bayley PB, Sparks RE, and others. 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Can Spec Publ Fish Aquat Sci* **106**: 110–27.
- Junk WJ, Piedade MTF, Wittmann F, *et al.* 2011. Amazonian floodplain forests: ecophysiology, biodiversity and sustainable management. Springer Science & Business Media.
- Junk WJ, Soares GM, and Carvalho FM. 1983. Distribution of fish species in a lake of the Amazon river floodplain near Manaus (Lago Camaleão), with special reference to extreme oxygen conditions. *Amaz Limnol Oecologia Reg Syst Fluminis Amaz* **7**: 397–431.
- Junk WJ. 2013. The central Amazon floodplain: ecology of a pulsing system. Springer Science & Business Media.
- Junk WR. 1997. The Central Amazon Floodplain: Ecology of a Pulsing System. Springer Science & Business Media.
- Kakishima S, Morita S, Yoshida K, *et al.* 2015. The contribution of seed dispersers to tree species diversity in tropical rainforests. *R Soc open Sci* **2**: 150330.
- Kelley JL, Grierson PF, Collin SP, and Davies PM. 2018. Habitat disruption and the identification and management of functional trait changes. *Fish Fish* **19**: 716–28.
- Kobayashi Y, Sugimoto K, Mochizuki N, *et al.* 2013. Isolation of a phylogenetically distinct rabies virus from a tufted capuchin monkey (*Cebus apella*) in Brazil. *Virus Res* **178**: 535–8.
- Koroiva R, Brasil PG, Neiss UG, *et al.* Dragonflies and damselflies (Insecta: Odonata) housed in the Invertebrate Collection of the Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Brazil.
- Kraft NJB, Valencia R, and Ackerly DD. 2008. Functional traits and niche-based tree community assembly in an Amazonian forest. *Science* **322**: 580–2.
- Kremen C, Williams NM, Aizen MA, *et al.* 2007. Pollination and

- other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of land-use change. *Ecol Lett* **10**: 299–314.
- Kurten EL. 2013. Cascading effects of contemporaneous defaunation on tropical forest communities. *Biol Conserv* **163**: 22–32.
- Kvist L and Moraes M. 2006. Plantas psicoativas. *Botânica Económica los Andes Cent* **2**: 19.
- Kvist LP and Moraes M. 2006. Plantas psicoativas. *Botânica Económica los Andes Cent* **12**: 294–312.
- de la Torre L, Navarrete H, Muriel M P, et al. (eds.) 2008. Enciclopedia de las plantas útiles del Ecuador. Quito: Herbario QCA de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador; Aarhus: Herbario AAU del Departamento de Ciencias Biológicas de la Universidad de Aarhus, 949.
- Labruna MB, Barbieri FS, Martins TF, et al. 2010. New tick records in Rondônia, Western Brazilian Amazon. *Rev Bras Parasitol Veterinária* **19**: 192–4.
- Labruna MB, Camargo LMA, Terrassini FA, et al. 2002b. Notes on Parasitism by *Amblyomma humerale* (Acari: Ixodidae) in the State of Rondônia, Western Amazon, Brazil. *J Med Entomol* **39**: 814–7.
- Labruna MB, Jorge RSP, Sana DA, et al. 2005. Ticks (Acari: Ixodida) on wild carnivores in Brazil. *Exp Appl Acarol* **36**: 149–63.
- Labruna MB, Ribeiro AF, Cruz M V, et al. 2002a. Gynandromorphism in *Amblyomma cajennense* and *Rhipicephalus sanguineus* (Acari: Ixodidae). *J Parasitol* **88**: 810–1.
- Lainson R and Shaw JJ. 1975. Pneumocystis and Histoplasma infections in wild animals from the Amazon region of Brazil. *Trans R Soc Trop Med Hyg* **69**: 505–8.
- Lande R. 2014. Evolution of phenotypic plasticity and environmental tolerance of a labile quantitative character in a fluctuating environment. *J Evol Biol* **27**: 866–75.
- Lang SI, Cornelissen JHC, Hölzer A, et al. 2009. Determinants of cryptogam composition and diversity in Sphagnum-dominated peatlands: the importance of temporal, spatial and functional scales. *J Ecol* **97**: 299–310.
- Lanham SM, Miles MA, Souza AA de, and Póvoa MM. 1984. Anion-exchange separation for neotropical trypanosomes: a preliminary trial and a description of *Trypanosoma devei* from the tamarin *Saguinus midas niger*. *Z Parasitenkd* **70**: 311–9.
- Laurance WF, Nascimento HEM, Laurance SG, et al. 2006. Rapid decay of tree-community composition in Amazonian forest fragments. *Proc Natl Acad Sci* **103**: 19010–4.
- Lawton JH and Brown VK. 1993. Redundancy in ecosystems. In: Biodiversity and ecosystem function. Springer.
- LeDuc JW, Pinheiro FP, and Travassos da Rosa AP. 1981. An outbreak of Mayaro virus disease in Belterra, Brazil. II. Epidemiology. *Am J Trop Med Hyg* **30**: 682–8.
- Leitão RP, Zuanon J, Mouillot D, et al. 2018. Disentangling the pathways of land use impacts on the functional structure of fish assemblages in Amazon streams. *Ecography (Cop)* **41**: 219–32.
- Leite RN and Rogers DS. 2013. Revisiting Amazonian phylogeography: insights into diversification hypotheses and novel perspectives. *Org Divers & Evol* **13**: 639–64.
- León B, Pitman N, and Roque J. 2006. Introducción a las plantas endémicas del Perú. *Rev Peru Biol* **13**: 9–22.
- León-Yáñez S, Valencia R, Pitman N, et al. 2011. Libro Rojo de las Plantas Endémicas del Ecuador. Segunda edición. Publicaciones del Herbario QCA.
- Levine NM, Zhang K, Longo M, et al. 2016. Ecosystem heterogeneity determines the ecological resilience of the Amazon to climate change. *Proc Natl Acad Sci* **113**: 793–7.
- Levis C, Costa FRC, Bongers F, et al. 2017. Persistent effects of pre-Columbian plant domestication on Amazonian forest composition. *Science* **355**: 925–31.
- Levis C, Costa FRC, Bongers F, et al. 2017. Persistent effects of pre-Columbian plant domestication on Amazonian forest composition. *Science* **355**: 925–31.
- Levis C, Flores BM, Moreira PA, et al. 2018. How People Domesticated Amazonian Forests. *Front Ecol Evol* **5**.
- Levis C, Flores BM, Moreira PA, et al. 2018. How People Domesticated Amazonian Forests. *Front Ecol Evol* **5**.
- Lewinsohn TM and Prado PI. 2005. How Many Species Are There in Brazil? *Conserv Biol* **19**: 619–24.
- Lewis MD, Llewellyn MS, Yeo M, et al. 2011. Recent, Independent and Anthropogenic Origins of *Trypanosoma cruzi* Hybrids (JM Carlton, Ed). *PLoS Negl Trop Dis* **5**: e1363.
- Lima AC and Araujo-Lima CARM. 2004. The distributions of larval and juvenile fishes in Amazonian rivers of different nutrient status. *Freshw Biol* **49**: 787–800.
- Lima L, Espinosa-Álvarez O, Ortiz PA, et al. 2015. Genetic diversity of *Trypanosoma cruzi* in bats, and multilocus phylogenetic and phylogeographical analyses supporting Tcbat as an independent DTU (discrete typing unit). *Acta Trop* **151**: 166–77.
- Lima MAL. 2017. História do ecossistema e dos recursos pesqueiros frente a implementação de hidrelétricas na bacia do rio Madeira. Universidade Federal de Rondônia.
- Lisboa CV, Pinho AP, Herrera HM, et al. 2008. *Trypanosoma cruzi* (Kinetoplastida, Trypanosomatidae) genotypes in neotropical bats in Brazil. *Vet Parasitol* **156**: 314–8.
- Lister BC and Garcia A. 2018. Climate-driven declines in arthropod abundance restructure a rainforest food web. *Proc Natl Acad Sci* **115**: E10397–E10406.
- Liu X, Zhao B, Zheng H-J, et al. 2015. *Gossypium barbadense* genome

- sequence provides insight into the evolution of extra-long staple fiber and specialized metabolites. *Sci Rep* **5**: 14139.
- Lopez-Bautista JM, Rindi F, and Casamatta D. 2007. The Systematics of Subaerial Algae. In: Seckbach J. (eds) *Algae and Cyanobacteria in Extreme Environments. Cellular Origin, Life in Extreme Habitats and Astrobiology*, vol 11. Springer, Dordrecht.
- Lücking R, Rivas Plata E, Chaves JL, *et al.* 2009. How many tropical lichens are there... really? *Bibl Lichenol* **100**: 399–418.
- Lücking R. 2008. Foliicolous Lichenized Fungi. *Flora Neotrop* **103**: 1–866.
- Lucky A, Erwin TL, and Witman JD. 2002. Temporal and Spatial Diversity and Distribution of Arboreal Carabidae (Coleoptera) in a Western Amazonian Rain Forest. *Biotropica* **34**: 376–86.
- Lundberg JG and Littmann MW. 2003. Family primelodidae. In: Reis RE, Kullander SO, Ferraris CJ (Eds). *Checklist of freshwater fishes of South America*. Porto Alegre: Edipucrs.
- Machado AF, Nunes MS, Silva CR, *et al.* 2019. Integrating phylogeography and ecological niche modelling to test diversification hypotheses using a Neotropical rodent. *Evol Ecol* **33**: 111–48.
- Marcili A, Lima L, Cavazzana M, *et al.* 2009b. A new genotype of *Trypanosoma cruzi* associated with bats evidenced by phylogenetic analyses using SSU rDNA, cytochrome b and Histone H2B genes and genotyping based on ITS1 rDNA. *Parasitology* **136**: 641–55.
- Marcili A, Lima L, Valente VC, *et al.* 2009c. Comparative phylogeography of *Trypanosoma cruzi* TCIIC: new hosts, association with terrestrial ecotopes, and spatial clustering. *Infect Genet Evol* **9**: 1265–74.
- Marcili A, Valente VC, Valente SA, *et al.* 2009a. *Trypanosoma cruzi* in Brazilian Amazonia: Lineages TCI and TCIa in wild primates, *Rhodnius* spp. and in humans with Chagas disease associated with oral transmission. *Int J Parasitol* **39**: 615–23.
- Marimon BS, Marimon-Junior BH, Feldpausch TR, *et al.* 2013. Disequilibrium and hyperdynamic tree turnover at the forest-cerrado transition zone in southern Amazonia. *Plant Ecol & Divers* **7**: 281–92.
- Markl JS, Schleuning M, Forget PM, *et al.* 2012. Meta-analysis of the effects of human disturbance on seed dispersal by animals. *Conserv Biol* **26**: 1072–81.
- Marroig G and Cerqueira R. 1997. Plio-Pleistocene South American history and the Amazon Lagoon Hypothesis: a piece in the puzzle of Amazonian diversification. *J Comp Biol*: 103–19.
- Martin AR and Silva VMF Da. 2004. River dolphins and flooded forest: seasonal habitat use and sexual segregation of botos (*Inia geoffrensis*) in an extreme cetacean environment. *J Zool* **263**: 295–305.
- Martins E, Martinelli G, and Loyola R. 2018. Brazilian efforts towards achieving a comprehensive extinction risk assessment for its known flora. *Rodriguésia* **69**: 1529–37.
- Martins TF, Fecchio A, and Labruna MB. 2014. Ticks of the genus *Amblyomma* (acari: Ixodidae) on wild birds in the Brazilian Amazon. *Syst Appl Acarol* **19**: 385–92.
- Martins TF, Scofield A, Oliveira WBL, *et al.* 2013. Morphological description of the nymphal stage of *Amblyomma geayi* and new nymphal records of *Amblyomma parkeri*. *Ticks Tick Borne Dis* **4**: 181–4.
- Martius CFP. *Flora Brasiliensis* (Ed). Monachii: Fird. Fleischer.
- May R von, Catenazzi A, Corl A, *et al.* 2017. Divergence of thermal physiological traits in terrestrial breeding frogs along a tropical elevational gradient. *Ecol Evol* **7**: 3257–67.
- McClellan MCW, Bhattacharyya T, Mertens P, *et al.* 2020. A lineage-specific rapid diagnostic test (Chagas Sero K-SeT) identifies Brazilian *Trypanosoma cruzi* II/V/VI reservoir hosts among diverse mammalian orders. *PLoS One* **15**: e0227828.
- McIntyre PB, Jones LE, Flecker AS, and Vanni MJ. 2007. Fish extinctions alter nutrient recycling in tropical freshwaters. *Proc Natl Acad Sci* **104**: 4461–6.
- Mendes HF and Pinho LC. 2014. Brazilian Chironomid home page <https://sites.google.com/site/brazilianchironomids/home>.
- Mendes HF and Pinho LC. 2016. Family Chironomidae. *Zootaxa* **4122**: 142–53.
- Meneses RI, Beck S, Garcia E, *et al.* 2015. Flora of Bolivia—where do we stand? *Rodriguésia* **66**: 1025–31.
- Menezes ET, Oliveira IB de, Boldrini R, and Boldrini BM de PO. 2018. Primeiros registros de Climacia (Neuroptera: Sisyridae) para o estado de Roraima, Brasil. *Bol do Mus Integr Roraima* **12**: 11–6.
- Mesía Montenegro C. 2014. El periodo formativo en los andes septentrionales y sus relaciones con los Andes centrales.
- Milá B, Tavares ES, Muñoz Saldaña A, *et al.* 2012. A trans-Amazonian screening of mtDNA reveals deep intraspecific divergence in forest birds and suggests a vast underestimation of species diversity. *PLoS One* **7**: e40541.
- Miles MA, Arias JR, Valente SA, *et al.* 1983. Vertebrate hosts and vectors of *Trypanosoma rangeli* in the Amazon Basin of Brazil. *Am J Trop Med Hyg* **32**: 1251–9.
- Miles MA, Miles MA, Povoá MM, *et al.* 1981. Chagas's disease in the Amazon Basin: II. The distribution of *Trypanosoma cruzi* zymodemes 1 and 3 in Pará State, north Brazil. *Trans R Soc Trop Med Hyg* **75**: 667–74.
- Miraldo A, Li S, Borregaard MK, *et al.* 2016. An Anthropocene map of genetic diversity. *Science* **353**: 1532–5.
- Miranda-Chumacero G, Álvarez G, Luna V, *et al.* 2015. First observations on annual massive upstream migration of juvenile catfish *Trichomycterus* in an Amazonian River. *Environ Biol Fishes* **98**: 1913–26.
- Miranda-Chumacero G, Wallace R, Calderón H, *et al.* 2012. Distribution of arapaima (*Arapaima gigas*) (Pisces: Arapaimatidae) in Bolivia: implications in the control and management of a

- non-native population. *BioInvasions Rec* **1**.
- Mittermeier RA, Mittermeier CG, Brooks TM, *et al.* 2003. Wilderness and biodiversity conservation. *Proc Natl Acad Sci* **100**: 10309–13.
- Mittermeier RA, Mittermeier CG, Pilgrim J, *et al.* 2002. Wilderness: Earth's last wild places. México, MX: CEMEX.
- Modolo LV and Foglio MA (Eds). 2019. Brazilian Medicinal Plants. Boca Raton, Florida : CRC Press, 2019. | Series: Natural products chemistry of global plants: CRC Press.
- Monteiro WM, Magalhães LKC, Sá ARN de, *et al.* 2012. *Trypanosoma cruzi* IV Causing Outbreaks of Acute Chagas Disease and Infections by Different Haplotypes in the Western Brazilian Amazonia (EM Braga, Ed). *PLoS One* **7**: e41284.
- Moraes LJCL, Pavan D, Barros MC, and Ribas CC. 2016. The combined influence of riverine barriers and flooding gradients on biogeographical patterns for amphibians and squamates in south-eastern Amazonia. *J Biogeogr* **43**: 2113–24.
- Moraes LJCL, Ribas CC, Pavan D, and Werneck FP. 2020. Biotic and Landscape Evolution in an Amazonian Contact Zone: Insights from the Herpetofauna of the Tapajós River Basin, Brazil
- Moraes RMN, Paniagua Zambrana R, Cámara-Leret H, *et al.* 2015. Palmas útiles de Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú. In: Co-secha de Palmas en el Noroeste de Suramérica: Bases Científicas para su Manejo y Conservación. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito.
- Moreau M-A and Coomes OT. 2006. Potential threat of the international aquarium fish trade to silver *arawana* *Osteoglossum bicirrhosum* in the Peruvian Amazon. *Oryx* **40**: 152–60.
- Moreira PA, Lins J, Dequigiovanni G, *et al.* 2015. The Domestication of Annatto (*Bixa orellana*) from *Bixa urucurana* in Amazonia. *Econ Bot* **69**: 127–35.
- Morris RJ. 2010. Anthropogenic impacts on tropical forest biodiversity: a network structure and ecosystem functioning perspective. *Philos Trans R Soc B Biol Sci* **365**: 3709–18.
- Mors, W., Rizzini, C. T., Pereira, N. A. 2000. Medicinal plants of Brazil, edited by Robert A. DeFilippis. Algonac, MI.
- Mouillot D, Graham NAJ, Villéger S, *et al.* 2013. A functional approach reveals community responses to disturbances. *Trends Ecol & Evol* **28**: 167–77.
- Muneepeerakul R, Bertuzzo E, Lynch HJ, *et al.* 2008. Neutral metacommunity models predict fish diversity patterns in Mississippi-Missouri basin. *Nature* **453**: 220–2.
- Muniz CP, Troncoso LL, Moreira MA, *et al.* 2013. Identification and Characterization of Highly Divergent Simian Foamy Viruses in a Wide Range of New World Primates from Brazil (M Salemi, Ed). *PLoS One* **8**: e67568.
- Myers KA. 2007. Fernández de Oviedo's chronicle of America: a new history for a New World. University of Texas Press.
- Naiff RD, Barrett TV, Naiff M de F, *et al.* 1996. New records of *Histoplasma capsulatum* from wild animals in the Brazilian Amazon. *Rev Inst Med Trop Sao Paulo* **38**: 273–8.
- Naiff RD, Mok WY, and Naiff MF. 1985. Distribution of histoplasma capsulatum in Amazonian wildlife. *Mycopathologia* **89**: 165–8.
- Naka LN and Brumfield RT. 2018. The dual role of Amazonian rivers in the generation and maintenance of avian diversity. *Sci Adv* **4**: eaar8575.
- National Research Council. 1989. Lost crops of the Incas: little-known plants of the Andes with promise for worldwide cultivation. National Academies Press.
- Navarro G, Arrázola S, Atahuachi M, *et al.* 2012. Libro rojo de la flora amenazada de Bolivia. *Minist Medio Ambient y Agua Viceministerio Medio Ambient Biodiversidad, Cambios Clim y Gest y Desarrollo For Cochabamba, Bolív.*
- Neill DA and Ulloa Ulloa CU. 2011. Adiciones a la flora del Ecuador: segundo suplemento; 2005-2010. Fundación Jatun Sacha.
- Neill DA. 2012. ¿Cuántas especies nativas de plantas vasculares hay en Ecuador? *Rev Amaz Cienc y Tecnol* **1**: 70–83.
- Nelson JS, Grande TC, and Wilson MVH. 1994. Fishes of the World. John Wiley and Sons.
- Nic Lughadha E, Govaerts R, Belyaeva I, *et al.* 2016. Counting counts: revised estimates of numbers of accepted species of flowering plants, seed plants, vascular plants and land plants with a review of other recent estimates. *Phytotaxa* **272**: 82.
- Nores M. 2000. Species richness in the Amazonian bird fauna from an evolutionary perspective. *Emu* **100**: 419–30.
- Nores M. 2011. The Western Amazonian Boundary for Avifauna Determined by Species Distribution Patterns and Geographical and Ecological Features. *Int J Ecol* **2011**: 1–7.
- Noronha D, Vicente JJ, and Pinto RM. 2002. A survey of new host records for nematodes from mammals deposited in the Helminthological Collection of the Oswaldo Cruz Institute (CHIOC). *Rev Bras Zool* **19**: 945–9.
- Nunes MRT, Souza WM de, Acrani GO, *et al.* 2018. Revalidation and genetic characterization of new members of Group C (Orthobunyavirus genus, Peribunyaviridae family) isolated in the Americas. *PLoS One* **13**: e0197294.
- Nunes MRT, Souza WM, Savji N, *et al.* 2019. *Oropouche orthobunyavirus*: Genetic characterization of full-length genomes and development of molecular methods to discriminate natural reassortments. *Infect Genet Evol J Mol Epidemiol Evol Genet Infect Dis* **68**: 16–22.
- Oberdorff T, Dias MS, Jézéquel C, *et al.* 2019. Unexpected fish diversity gradients in the Amazon basin. *Sci Adv* **5**: eaav8681.
- Ochoa-Ochoa LM, Mejía-Domínguez NR, Velasco JA, *et al.* 2019. Amphibian functional diversity is related to high annual precipitation and low precipitation seasonality in the New World

- (F Schrodtt, Ed). *Glob Ecol Biogeogr* **28**: 1219–29.
- Olesen JM, Bascompte J, Dupont YL, and Jordano P. 2007. The modularity of pollination networks. *Proc Natl Acad Sci* **104**: 19891–6.
- Oliveira BF, Machac A, Costa GC, *et al.* 2016. Species and functional diversity accumulate differently in mammals. *Glob Ecol Biogeogr* **25**: 1119–30.
- Oliveira MA, Lucia TMCD, Morato EF, *et al.* 2010. Vegetation structure and richness: effects on ant fauna of the Amazon-Acre, Brazil (Hymenoptera: Formicidae). *Sociobiology*: 471–86.
- Oliveira RS De, Costa LJC da, Andrade FAG, *et al.* 2015. Virological and Serological Diagnosis of Rabies in Bats from an Urban Area in the Brazilian Amazon. *Rev Inst Med Trop Sao Paulo* **57**: 497–503.
- Oliveira U, Paglia AP, Brescovit AD, *et al.* 2016. The strong influence of collection bias on biodiversity knowledge shortfalls of Brazilian terrestrial biodiversity (J VanDerWal, Ed). *Divers Distrib* **22**: 1232–44.
- Oliveira U, Vasconcelos MF, and Santos AJ. 2017. Biogeography of Amazon birds: rivers limit species composition, but not areas of endemism. *Sci Rep* **7**: 2992.
- Ortiz DA, Lima AP, and Werneck FP. 2018. Environmental transition zone and rivers shape intraspecific population structure and genetic diversity of an Amazonian rain forest tree frog. *Evol Ecol* **32**: 359–78.
- Ortiz PA, Silva FM Da, Cortez AP, *et al.* 2009. Genes of cathepsin L-like proteases in *Trypanosoma rangeli* isolates: markers for diagnosis, genotyping and phylogenetic relationships. *Acta Trop* **112**: 249–59.
- Ortiz-Crespo F. 2002 La corteza del árbol sin nombre: Hacia una historia congruente del descubrimiento y difusión de la quina. Quito: Fundación Fernando Ortiz Crespo.
- Ortiz-Crespo FI. 1995. Frágil, Monardes and pre-Chinchanian knowledge of Cinchona. *Arch Nat Hist* **22**: 169–81.
- Paglia AP, Fonseca GA Da, Rylands AB, *et al.* 2012. Lista Anotada dos Mamíferos do Brasil 2ª Edição/Annotated Checklist of Brazilian Mammals. *Occas Pap Conserv Biol* **6**: 1–82.
- Paprocki H and França D. 2014. Brazilian Trichoptera Checklist II. *Biodivers Data J* **2**: e1557.
- Parolin P, Simone O De, Haase K, *et al.* 2004. Central Amazonian floodplain forests: tree adaptations in a pulsing system. *Bot Rev* **70**: 357–80.
- Passos MI, Hamada N, Fernandes A, and Nessimian J. 2016. Insecta, Coleoptera, Elmidae, Amazon region. *Check List* **6**: 538.
- Patterson BD. 2001. Fathoming tropical biodiversity: the continuing discovery of Neotropical mammals. *Divers Distrib* **7**: 191–6.
- Patterson BD. 2020. On drivers of neotropical mammal diversification. *Mastozoología Neotrop* **27(SI)**: 12–23.
- Pearsall DM. 2008. Plant Domestication and the Shift to Agriculture in the Andes. In: *The Handbook of South American Archaeology*. New York, NY: Springer New York.
- Peckle M, Luz HR, Labruna MB, *et al.* 2019. Multi-locus phylogenetic analysis groups the New World bacterium *Rickettsia* sp. strain ApPR with the Old World species *R. africae*; proposal of “Candidatus *Rickettsia paranaensis*”. *Ticks Tick Borne Dis* **10**: 101261.
- Peloso PLV. 2010. A safe place for amphibians? A cautionary tale on the taxonomy and conservation of frogs, caecilians, and salamanders in the Brazilian Amazonia. *Zool* **27**: 667–73.
- Pereira A de S, Casseb LMN, Barbosa TFS, *et al.* 2017. Rabies Virus in Bats, State of Pará, Brazil, 2005–2011. *Vector Borne Zoonotic Dis* **17**: 576–81.
- Peres CA, Emilio T, Schiatti J, *et al.* 2016. Dispersal limitation induces long-term biomass collapse in overhunted Amazonian forests. *Proc Natl Acad Sci* **113**: 892–7.
- Peres CA. 1997. Primate community structure at twenty western Amazonian flooded and unflooded forests. *J Trop Ecol* **13**: 381–405.
- Peres CA. 1999. Nonvolant mammal community structure in different Amazonian forest types. In: Eisenberg JF, Redford KH (Eds). *Mammals of the Neotropics: the central Neotropics*. Chicago.: University of Chicago Press.
- Pérez Arbeláez E. 1956. Plantas útiles de Colombia. Sucesores de Rivadeneira.
- Pérez Arbeláez E. 1990. Plantas medicinales y venenosas de Colombia: estudio botánico, étnico, farmacéutico, veterinario y forense.
- Pérez SD, Grummer JA, Fernandes-Santos RC, *et al.* 2019. Phylogenetics, patterns of genetic variation and population dynamics of *Trypanosoma terrestris* support both coevolution and ecological host-fitting as processes driving trypanosome evolution. *Parasit Vectors* **12**: 473.
- Persson L, Amundsen P-A, Roos AM De, *et al.* 2007. Culling prey promotes predator recovery—alternative states in a whole-lake experiment. *Science* **316**: 1743–6.
- Petchey OL and Gaston KJ. 2006. Functional diversity: back to basics and looking forward. *Ecol Lett* **9**: 741–58.
- Petrere M, Barthem RB, Córdoba EA, and Gómez BC. 2004. Review of the large catfish fisheries in the upper Amazon and the stock depletion of piracatinga (*Brachyplatystoma filamentosum* Lichtenstein). *Rev Fish Biol Fish* **14**: 403–14.
- Piedade MTF, Junk W, D’Ângelo SA, *et al.* 2010. Aquatic herbaceous plants of the Amazon floodplains: state of the art and research needed. *Acta Limnol Bras* **22**: 165–78.
- Pimm SL and Jenkins CN. 2019. Connecting habitats to prevent species extinctions. *Am Sci* **107**: 162–9.
- Pimm SL, Jenkins CN, Joppa LN, *et al.* 2010. How Many Endangered Species Remain to be Discovered in Brazil? *Nat Conserv*

- 08:** 71–7.
- Piperno D. 2011. The Origins of Plant Cultivation and Domestication in the New World Tropics. *Curr Anthropol* **52**.
- Pires Costa L, Leite YLR, Fonseca GAB, and Fonseca MT. 2000. Biogeography of South American Forest Mammals: Endemism and Diversity in the Atlantic Forest. *Biotropica* **32**: 872–81.
- Piso G and Marcgrave G. 1648. *Historia naturalis Brasiliæ*. Lugdun. Batavorum, Franciscum Hackium.
- Pitman NCA and Jorgensen PM. 2002. Estimating the Size of the World's Threatened Flora. *Science* **298**: 989–989.
- Pochettino ML, Cortella AR, and Ruiz M. 1999. Hallucinogenic snuff from Northwestern Argentina: Microscopical identification of *Anadenanthera colubrina* var. *cebil* (Fabaceae) in powdered archaeological material. *Econ Bot* **53**: 127–32.
- Pomara LY, Ruokolainen K, and Young KR. 2014. Avian species composition across the Amazon River: the roles of dispersal limitation and environmental heterogeneity (L Manne, Ed). *J Biogeogr* **41**: 784–96.
- Poulin R. 2014. Parasite biodiversity revisited: frontiers and constraints. *Int J Parasitol* **44**: 581–9.
- Póvoa MM, Souza AA De, Naiff RD, et al. 1984. Chagas' disease in the Amazon Basin IV: Host records of *Trypanosoma cruzi* zymodemes in the States of Amazonas and Rondonia, Brazil. *Ann Trop Med & Parasitol* **78**: 479–87.
- Primack RB, Ibáñez I, Higuchi H, et al. 2009. Spatial and interspecific variability in phenological responses to warming temperatures. *Biol Conserv* **142**: 2569–77.
- Quesada CACA, Phillips OLOL, Schwarz M, et al. 2012. Basin-wide variations in Amazon forest structure and function are mediated by both soils and climate. *Biogeosciences* **9**: 2203–46.
- Rabosky ARD, Cox CL, Rabosky DL, et al. 2016. Coral snakes predict the evolution of mimicry across New World snakes. *Nat Commun* **7**: 11484.
- Rafael JA, Aguiar AP, and Amorim D de S. 2009. Knowledge of insect diversity in Brazil: challenges and advances. *Neotrop Entomol* **38**: 565–70.
- Raimondi JP and Camadro EL. 2003. Crossability relationships between the common potato, *Solanum tuberosum* spp. tuberosum, and its wild diploid relatives *S. kurtzianum* and *S. ruiz-lealii*. *Genet Resour Crop Evol* **50**: 307–14.
- Ramalho EE. 2012. Jaguar population dynamics, feeding ecology, human induced mortality and conservation in the várzea floodplain forests of Amazonia. *Univ Florida*.
- Ramalho WP, Machado IF, and Vieira LJS. 2018. Do flood pulses structure amphibian communities in floodplain environments? *Biotropica* **50**: 338–45.
- Reynel C, Pennington TD, Pennington RT, et al. 2003. Árboles útiles de la Amazonía peruana y sus usos.
- Ribas CC and Aleixo A. 2019. Diversity and evolution of Amazonian birds: implications for conservation and biogeography. *An Acad Bras Cienc* **91**.
- Ribas CC, Aleixo A, Nogueira ACR, et al. 2012. A palaeobiogeographic model for biotic diversification within Amazonia over the past three million years. *Proc R Soc B Biol Sci* **279**: 681–9.
- Ribeiro Mcl and Petrere JM. 1990. Fisheries ecology and management of the Jaraqui (*Semaprochilodus Taeniurus*, S. Insignis) in central Amazonia. *Regul Rivers Res Manag* **5**: 195–215.
- Ríos M, Koziol MJ, Pedersen HB, and Granda G. 2007. Plantas útiles del Ecuador: aplicaciones, retos y perspectivas/Useful plants of Ecuador: Applications, challenges, and perspectives. *Quito: Ediciones Abya-Yala*.
- Robbings RG, Karesh WB, Lilian EPR, and Rosenberg S. 2009. Ticks of the genus *Amblyomma* (Acari: Ixodida: Ixodidae) from white-lipped peccaries, *Tayassu pecari*, in northeastern Bolivia, with comments on host specificity.
- Robbins RG and Deem SL. 2002. Ticks of the genus *Amblyomma* (Acari: Ixodida: Ixodidae) from a maned wolf, *Chrysocyon brachyurus*, with the first report of *A. ovale* from this endangered canid. *Entomol News* **113**: 25–8.
- Rodrigues MS, Lima L, Xavier SC das C, et al. 2019. Uncovering *Trypanosoma* spp. diversity of wild mammals by the use of DNA from blood clots. *Int J Parasitol Parasites Wildl* **8**: 171–81.
- Rodrigues MS, Morelli KA, and Jansen AM. 2017. Cytochrome c oxidase subunit 1 gene as a DNA barcode for discriminating *Trypanosoma cruzi* DTUs and closely related species. *Parasit Vectors* **10**: 488.
- Rodríguez C, Rollins-Smith L, Ibáñez R, et al. 2017. Toxins and pharmacologically active compounds from species of the family Bufonidae (Amphibia, Anura). *J Ethnopharmacol* **198**: 235–54.
- Rodríguez-Burruezo A, Prohens J, and Nuez F. 2003. Wild relatives can contribute to the improvement of fruit quality in pepino (*Solanum muricatum*). *Euphytica* **2003 1293** **129**: 311–8.
- Roll U, Feldman A, Novosolov M, et al. 2017. The global distribution of tetrapods reveals a need for targeted reptile conservation. *Nat Ecol Evol* **1**: 1677–82.
- Roque ALR, Xavier SCC, Gerhardt M, et al. 2013. *Trypanosoma cruzi* among wild and domestic mammals in different areas of the Abaetetuba municipality (Pará State, Brazil), an endemic Chagas disease transmission area. *Vet Parasitol* **193**: 71–7.
- Roque ALR, Xavier SCC, Rocha MG, et al. 2008. *Trypanosoma cruzi* transmission cycle among wild and domestic mammals in three areas of orally transmitted Chagas disease outbreaks.
- Rosa APT Da, Vasconcelos PF, Rosa JF Da, and (Ed.) T (Eds). An overview of arbovirology in Brazil and neighbouring countries. Instituto Evandro Chagas.
- Rosa EST da, Medeiros DBA, Nunes MRT, et al. 2012. Molecular epidemiology of laguna negra virus, Mato Grosso State, Brazil. *Emerg Infect Dis* **18**: 982–5.

- Ruiz H. 1792. Quinología o Tratado del árbol de la quina ó casca- rilla, con su descripción y la de otras especies de quinos nue- vamente descubiertas en el Perú, del modo de beneficiarla, de su elección, comercio, virtudes, y extracto elaborado con cor- tezas recientes. Madrid: En la oficina de la viuda e hijo de Marin, 1792.
- Ruiz H. 1801. Suplemento á la Quinologia, en el qual sé aumentan las Especies de Quina nuevamente descubiertas en el Perú por Don Juan Tafalla, y la Quina naranjada de Santa Fé con su estampa: Anãdese la Respuesta á a Memoria de las Quinas de Santa Fé, que insertó Don Francisco Zea en los Anales de His- toria natural, y la satisfacción á los reparos ó dudas del Ciuda- dano Jussieu sobre los Géneros del Pródromo de la Flora del Perú y Chile. Por Don Hipólito Ruiz y Josef Pavon. Marin.
- Ruiz-López H and Pavón J. 1798. Flora Peruviana, et Chilensis, sive, Descriptiones et icones plantarum Peruvianarum, et Chilensium, secundum systema Linnaeanum digestae, cum characteribus plurium generum evulgatorum reformatisau- toribus Hippolyto Ruiz, et Josepho Pavon. Madrid : Typis Gab- rielis de Sancha.
- Sakschewski B, Bloh W Von, Boit A, *et al.* 2016. Resilience of Am- azon forests emerges from plant trait diversity. *Nat Clim Chang* **6**: 1032–6.
- Salcido DM, Forister ML, Lopez HG, and Dyer LA. 2020. Loss of dominant caterpillar genera in a protected tropical forest. *Sci Rep* **10**: 1–10.
- Sales L, Culot L, and Pires MM. 2020. Climate niche mismatch and the collapse of primate seed dispersal services in the Amazon. *Biol Conserv* **247**: 108628.
- Sales LP, Kissling WD, Galetti M, *et al.* 2021. Climate change re- shapes the eco-evolutionary dynamics of a Neotropical seed dispersal system (B McGill, Ed). *Glob Ecol Biogeogr* **30**: 1129– 38.
- Santos FCB dos, Lisboa C V., Xavier SCC, *et al.* 2018. *Trypanosoma* sp. diversity in Amazonian bats (Chiroptera; Mammalia) from Acre State, Brazil. *Parasitology* **145**: 828–37.
- Santos FCB Dos, Lisboa C V., Xavier SCC, *et al.* 2018. *Trypanosoma* sp. diversity in Amazonian bats (Chiroptera; Mammalia) from Acre State, Brazil. *Parasitology* **145**: 828–37.
- Santos JC, Coloma LA, Summers K, *et al.* 2009. Amazonian am- phibian diversity is primarily derived from late Miocene An- dean lineages. *PLoS Biol* **7**: e1000056.
- Santos LL, Benone NL, Soares BE, *et al.* 2019. Trait--environment relationships in Amazon stream fish assemblages. *Ecol Freshw Fish* **28**: 424–33.
- Santos LM dos, Braga Domingos SC, Azevedo MIN Di, *et al.* 2020. Small Mammals as Carriers/Hosts of *Leptospira* spp. in the Western Amazon Forest. *Front Vet Sci* **7**.
- Santos M dos. 2016. Atlas de algas del Paraguay. *Asunción Fac Cien- cias Exactas y Nat.*
- Scheele BC, Pasmans F, Skerratt LF, *et al.* 2019. Amphibian fungal panzootic causes catastrophic and ongoing loss of biodiver- sity. *Science* **363**: 1459–63.
- Schmitz OJ. 2008. Herbivory from Individuals to Ecosystems. *Annu Rev Ecol Evol Syst* **39**: 133–52.
- Schulman L, Toivonen T, and Ruokolainen K. 2007. Analysing bo- tanical collecting effort in Amazonia and correcting for it in species range estimation. *J Biogeogr* **34**: 1388–99.
- Schultz ED, Burney CW, Brumfield RT, *et al.* 2017. Systematics and biogeography of the *Automolus infuscatus* complex (Aves; Furnariidae): Cryptic diversity reveals western Amazonia as the origin of a transcontinental radiation. *Mol Phylogenet Evol* **107**: 503–15.
- Scott JM, Csuti B, Jacobi JD, and Estes JE. 1987. Species richness. *Bioscience* **37**: 782–8.
- Sexton JP, McIntyre PJ, Angert AL, and Rice KJ. 2009. Evolution and ecology of species range limits. *Annu Rev Ecol Evol Syst* **40**: 415–36.
- Silva LCR, Corrêa RS, Wright JL, *et al.* 2021. A new hypothesis for the origin of Amazonian Dark Earths. *Nat Commun* **12**: 127.
- Silva SM, Peterson AT, Carneiro L, *et al.* 2019. A dynamic conti- nental moisture gradient drove Amazonian bird diversifica- tion. *Sci Adv* **5**: eaat5752.
- Silva SP, Dilcher M, Weber F, *et al.* 2014. Genetic and biological characterization of selected Changuinola viruses (Reoviridae, Orbivirus) from Brazil. *J Gen Virol* **95**: 2251–9.
- Silva SP, Dilcher M, Weidmann M, *et al.* 2013. Changuinola Virus Serogroup, New Genomes within the Genus Orbivirus (Family Reoviridae) Isolated in the Brazilian Amazon Region. *Genome Announc* **1**.
- Simon MF, Grether R, Queiroz LP de, *et al.* 2009. Recent assembly of the Cerrado, a neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire. *Proc Natl Acad Sci* **106**: 20359– 64.
- Sipman HJM and Aptroot A. 2001. Where are the missing lichens? *Mycol Res* **105**: 1433–9.
- Soares HS, Barbieri ARM, Martins TF, *et al.* 2015. Ticks and rick- ettsial infection in the wildlife of two regions of the Brazilian Amazon. *Exp Appl Acarol* **65**: 125–40.
- Sobral M, Silvius KM, Overman H, *et al.* 2017. Mammal diversity influences the carbon cycle through trophic interactions in the Amazon. *Nat Ecol & Evol* **1**: 1670–6.
- Solar RR de C, Barlow J, Andersen AN, *et al.* 2016. Biodiversity consequences of land-use change and forest disturbance in the Amazon: A multi-scale assessment using ant communi- ties. *Biol Conserv* **197**: 98–107.
- Solari S, Velazco PM, and Patterson BD. 2012. Hierarchical Or- ganization of Neotropical Mammal Diversity and Its Historical Basis. In: Bones, Clones, and Biomes. University of Chicago Press.

- Solís Acosta M. 1992. Vademecum de plantas medicinales del Ecuador. Quito: FESO; Ediciones Abya-Yala. 243p
- Sparre B *et al.* (Ed). Flora of Ecuador. Flora of Ecuador. Dept. of Systematic Botany, University of Göteborg, Göteborg, Sweden.
- Spielman D, Brook BW, and Frankham R. 2004. Most species are not driven to extinction before genetic factors impact them. *Proc Natl Acad Sci* **101**: 15261–4.
- Stefani MMA, Rosa PS, Costa MB, *et al.* 2019. Leprosy survey among rural communities and wild armadillos from Amazonas state, Northern Brazil. *PLoS One* **14**: e0209491.
- Stevenson PR and Guzmán-Caro DC. 2010. Nutrient transport within and between habitats through seed dispersal processes by woolly monkeys in north-western Amazonia. *Am J Primatol* **72**: 992–1003.
- Steyermark JA. 1988. Flora of the venezuelan Guayana-VI. *Ann Missouri Bot Gard*: 1565–86.
- Strona G. 2015. Past, present and future of host–parasite co-extinctions. *Int J Parasitol Parasites Wildl* **4**: 431–41.
- Stuart M, Pendergast V, Rumfelt S, *et al.* 1998. Parasites of wild howlers (*Alouatta* spp.). *Int J Primatol* **19**: 493–512.
- Stuart SN, Chanson JS, Cox NA, *et al.* 2004. Status and Trends of Amphibian Declines and Extinctions Worldwide. *Science* **306**: 1783–6.
- Tantalean M. 1990. Notes on some helminth parasites from Peruvian monkeys. *Lab Primate Newsl* **29**: 6–8.
- Taylor BW, Flecker AS, and Hall RO. 2006. Loss of a harvested fish species disrupts carbon flow in a diverse tropical river. *Science* **313**: 833–6.
- Tedersoo L, Bahram M, Põlme S, *et al.* 2014. Global diversity and geography of soil fungi. *Science* **346**.
- Tejedor Garavito N, Álvarez E, Arango Caro S, *et al.* 2012. Evaluación del estado de conservación de los bosques montanos en los Andes tropicales. *Ecosistemas* **21**.
- Terborgh J, Lopez L, Nuñez P, *et al.* 2001. Ecological meltdown in predator-free forest fragments. *Science* **294**: 1923–6.
- Terborgh J. 2012. Enemies Maintain Hyperdiverse Tropical Forests. *Am Nat* **179**: 303–14.
- Terborgh J. 2013. Using Janzen–Connell to predict the consequences of defaunation and other disturbances of tropical forests. *Biol Conserv* **163**: 7–12.
- Terborgh JW and Feeley KJ. 2010. High functional redundancy and diffuse vertical links create multiple pathways for the trophic cascade in tropical forests. *Trophic cascades*: 125–40.
- Terborgh JW and Feeley KJ. 2010. High functional redundancy and diffuse vertical links create multiple pathways for the trophic cascade in tropical forests (JW Terborgh and JA Estes, Eds). Island Washington, DC.
- Ter-Steege H, Pitman N, Sabatier D, *et al.* 2003. A spatial model of tree α -diversity and tree density for the Amazon. *Biodivers* & *Conserv* **12**: 2255–77.
- Ter-Steege H, Pitman NCA, Sabatier D, *et al.* 2013. Hyperdominance in the Amazonian Tree Flora. *Science* **342**.
- Ter-Steege H, Prado PI, Lima RAF de, *et al.* 2020. Biased-corrected richness estimates for the Amazonian tree flora. *Sci Rep* **10**: 1–13.
- Toews DPL, Campagna L, Taylor SA, *et al.* 2016. Genomic approaches to understanding population divergence and speciation in birds. *Auk Ornithol Adv* **133**: 13–30.
- Toussaint A, Charpin N, Brosse S, and Villéger S. 2016. Global functional diversity of freshwater fish is concentrated in the Neotropics while functional vulnerability is widespread. *Sci Rep* **6**: 1–9.
- Trivinho-Strixino S. 2019. Ordem Diptera. Família Chironomidae. Guia de identificação de larvas (et al Hamada, Ed). Manaus.: Taxonomia, Biologia e Ecologia. Editora INPA.
- Trujillo-Arias N, Dantas GPM, Arbeláez-Cortés E, *et al.* 2017. The niche and phylogeography of a passerine reveal the history of biological diversification between the Andean and the Atlantic forests. *Mol Phylogenet Evol* **112**: 107–21.
- Tucker CM, Cadotte MW, Carvalho SB, *et al.* 2017. A guide to phylogenetic metrics for conservation, community ecology and macroecology. *Biol Rev* **92**: 698–715.
- Uetz P and Hosec J. 2020. The Reptile Database <http://www.reptile-database.org/>.
- Ulloa Ulloa C and Jørgensen PM. 2018. From Humboldt’s cross-section of the Chimborazo to the map of the plants of the Americas: Making checklists. *Taxon* **67**: 1059–61.
- Ulloa Ulloa C and Neill DA. 2005. Cinco años de adiciones a la flora del Ecuador. Editorial Universidad Técnica Particular de Loja, Loja.
- Ulloa Ulloa C, Acevedo-Rodríguez P, Beck S, *et al.* 2017. An integrated assessment of the vascular plant species of the Americas. *Science* **358**: 1614–7.
- Ulloa Ulloa C, Zarucchi JL, and León B. 2004. Diez años de adiciones a la flora del Perú: 1993–2003.
- Ulloa Ulloa C. 2006. Aromas y sabores andinos (MB Moraes, R., L Øllgaard, PF Kvist, *et al.*, Eds). Palmas Ecuatorianas. Publicaciones del Herbario QCA, Quito.
- Ulloa Ulloa, C. 2006 [2007]. Aromas y sabores andinos. Pp. 313–328. In: Moraes R., M., B. Øllgaard, L. P. Kvist, F. Borchsenius & H. Balslev (eds.) Botánica Económica de los Andes Centrales. Universidad Mayor de San Andrés, Plural Editores, La Paz.
- Ulloa Ulloa, C., P. Acevedo-Rodríguez, S. Beck, M.J. *et al.* (2020). Vascular Plants of the Americas (VPA) Website. Tropicos, Botanical Information System at the Missouri Botanical Garden, St. Louis, Missouri, USA. [<http://www.tropicos.org/Project/VPA>].
- Vacher J, Chave J, Ficetola FG, *et al.* 2020. Large-scale DNA-based

- survey of frogs in Amazonia suggests a vast underestimation of species richness and endemism. *J Biogeogr* **47**: 1781–91.
- Val AL and Almeida-Val VMF de. 1995. Fishes of the Amazon and their environment: physiological and biochemical aspects. Heidelberg, Springer Verlag.
- Val AL, Gomes KRM, and Almeida-Val VMF de. 2015. Rapid regulation of blood parameters under acute hypoxia in the Amazonian fish *Prochilodus nigricans*. *Comp Biochem Physiol Part A Mol Integr Physiol* **184**: 125–31.
- Val AL. 1995. Oxygen transfer in fish: morphological and molecular adjustments. *Brazilian J Med Biol Res* **28**: 1119–27.
- Vale MM and Jenkins CN. 2012. Across-taxa incongruence in patterns of collecting bias. *J Biogeogr* **39**: 1744–8.
- Vale MM, Marquet PA, Corcoran D, et al. 2021. Could a future pandemic come from the Amazon? The Science and Policy of Pandemic Prevention in the Amazon. Conservation International. 10.5281/zenodo.4606591
- Valencia R, Montúfar R (edit., Navarrete H (edit., and Balslev H (Edit. 2013. Palmas ecuatorianas: biología y uso sostenible. Herbario QCA de la PUCE.
- Valladares G, Salvo A, and Cagnolo L. 2006. Habitat fragmentation effects on trophic processes of insect-plant food webs. *Conserv Biol* **20**: 212–7.
- Van-Damme PA, Méndez CC, Zapata M, et al. 2015. The expansion of *Arapaima* cf. *gigas* (Osteoglossiformes: Arapaimidae) in the Bolivian Amazon as informed by citizen and formal science. *Manag Biol Invasions* **6**: 375–83.
- Vazzoler A, Amadio SA, and Daraciolo-Malta MC. 1989. Aspectos biológicos de peixes Amazônicos. XI. reprodução das espécies do gênero *Semaprochilodus* (Characiformes, Prochilodontidae) no baixo Rio Negro, Amazonas, Brasil. *Rev Bras Biol* **49**: 165–73.
- Vazzoler AEA de M and Amadio SA. 1990. Aspectos biológicos de peixes amazônicos. XIII. Estrutura e comportamento de cardumes multiespecíficos de *Semaprochilodus* (Characiformes, Prochilodontidae) do baixo rio Negro, Amazonas, Brasil. *Vol 50, Número 3, Pags 537-546*.
- Vieira FM, Luque JL, Muniz-Pereira LC, and others. 2008. Checklist of helminth parasites in wild carnivore mammals from Brazil. *Zootaxa* **1721**: 1–23.
- Vieira RF, Camillo J, and Coradin L. 2018. Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: Região Centro-Oeste. *Embrapa Recur Genéticos e Biotecnol científico*.
- Villachica L, H 1996. Frutales y hortalizas promisorios de la Amazonia. Tratado de Cooperacion Amazonica (TCA), Lima, 367.
- Violle C, Navas M-L, Vile D, et al. 2007. Let the concept of trait be functional! *Oikos* **116**: 882–92.
- Vitaliano SN, Soares HS, Minervino AHH, et al. 2014. Genetic characterization of *Toxoplasma gondii* from Brazilian wildlife revealed abundant new genotypes. *Int J Parasitol Parasites Wildl* **3**: 276–83.
- Voss RS and Emmons L. 1996. Mammalian diversity in Neotropical lowland rainforests: a preliminary assessment. Bulletin of the AMNH; no. 230.
- Wake DB and Vredenburg VT. 2008. Are we in the midst of the sixth mass extinction? A view from the world of amphibians. *Proc Natl Acad Sci* **105**: 11466–73.
- Wallace AR. 1853. Palm trees of the Amazon and their uses. J. van Voorst.
- Weir JT. 2006. Divergent timing and patterns of species accumulation in lowland and highland neotropical birds. *Evolution (N Y)* **60**: 842–55.
- Weitzman SH and Vari RP. 1988. Miniaturization in South American freshwater fishes; an overview and discussion.
- Wells KD. 2013. The ecology and behavior of amphibians. University of Chicago Press.
- Whitman DW, Agrawal AA, and others. 2009. What is phenotypic plasticity and why is it important. In: Whitman DW, Ananthakrishnan TN (Eds). Phenotypic plasticity of insects: Mechanisms and consequences. Science Publishers Enfield, NH.
- Wieczynski DJ, Boyle B, Buzzard V, et al. 2019. Climate shapes and shifts functional biodiversity in forests worldwide. *Proc Natl Acad Sci* **116**: 587–92.
- Winemiller KO and Jepsen DB. 1998. Effects of seasonality and fish movement on tropical river food webs. *J Fish Biol* **53**: 267–96.
- Wirth R, Meyer ST, Leal IR, and Tabarelli M. 2008. Plant Herbivore Interactions at the Forest Edge
- Witter R, Martins TF, Campos AK, et al. 2016. Rickettsial infection in ticks (Acari: Ixodidae) of wild animals in midwestern Brazil. *Ticks Tick Borne Dis* **7**: 415–23.
- Wood CL and Johnson PTJ. 2015. A world without parasites: exploring the hidden ecology of infection. *Front Ecol Environ* **13**: 425–34.
- Young K, León B, Jørgensen P, and Ulloa UC. 2007. Tropical and subtropical landscapes of the Andes. In: Veblen T, Young K, Orme A (Eds). The Physical Geography of South America. Oxford University Press.
- Zarrillo S, Gaikwad N, Lanaud C, et al. 2018. The use and domestication of *Theobroma cacao* during the mid-Holocene in the upper Amazon. *Nat Ecol |& Evol* **2**: 1879–88.
- Zerpa C, Keirans JE, Mangold AJ, and Guglielmone AA. 2003. Confirmation of the presence of *Amblyomma ovale* Koch 1844 and first records of *Amblyomma scalpturatum* Neumann 1906 (Acari: Ixodida: Ixodidae) in the Amazonian region of Ecuador. *Proc Entomol Soc Wash* **105**.
- Ziccardi M and Lourenço-de-Oliveira R. 1997. The infection rates of trypanosomes in squirrel monkeys at two sites in the Brazilian Amazon. *Mem Inst Oswaldo Cruz* **92**: 465–70.

Zimmermann NP, Aguirre A de AR, Rodrigues V da S, *et al.* 2018. Wildlife species, Ixodid fauna and new host records for ticks in an Amazon forest area, Rondônia, Brazil. *Rev Bras Parasitol Veterinária* **27**: 177–82.

INFORMAÇÕES DE CONTATO

SPA Technical-Scientific Secretariat New York

475 Riverside Drive, Suite 530

New York NY 10115

USA

+1 (212) 870-3920

spa@unsdsn.org

SPA Technical-Scientific Secretariat South America

Av. Ironman Victor Garrido, 623

São José dos Campos – São Paulo

Brazil

spasouthamerica@unsdsn.org

WEBSITE theamazonwewant.org

INSTAGRAM [@theamazonwewant](https://www.instagram.com/theamazonwewant)

TWITTER [@theamazonwewant](https://twitter.com/theamazonwewant)