

Composición y Diversidad Beta de Anfibios en el Parque Nacional Natural Farallones de Cali

Autor: Maria Camila Freyre Guaspud^{1*}

Directores: Daniel Osorio Domínguez, PhD²; Leonor Valenzuela, PhD³

1 Programa de Biología, Facultad de Ingeniería y Ciencias, Pontificia Universidad Javeriana Cali, Colombia.

2 Departamento de Ciencias Naturales y Matemáticas, Facultad de Ingeniería y Ciencias, Pontificia Universidad Javeriana Cali, Colombia.)

3 Wildlife Conservation Society Colombia

** Correo electrónico: mariafreyre@javerianacali.edu.co*

Resumen. Los anfibios son fundamentales en los ecosistemas, sin embargo, son especialmente vulnerables a cambios en su hábitat, y en los últimos años se ha documentado un alarmante declive global en sus poblaciones. En Colombia, el Parque Nacional Natural Farallones de Cali (PNN Farallones) destaca por su alta diversidad de anfibios, pero carece de datos actualizados sobre su distribución y conservación. Este estudio aborda la variabilidad en la composición de las comunidades de anfibios a través del análisis de la diversidad beta, que permite identificar patrones de distribución espacial y temporal de las especies. Los resultados obtenidos en los análisis revelaron que tanto factores temporales como espaciales influyen significativamente en la estructura de las comunidades de anfibios. Se observó una alta diversidad beta (0.93), lo que indica una marcada diferenciación en las comunidades a lo largo del parque, especialmente en el recambio de especies (0.89). Factores ambientales como la altitud y la temperatura mostraron una correlación moderada con la variabilidad en las comunidades, destacándose la influencia del gradiente altitudinal en la composición de especies. Sin embargo, los efectos de las variables empleadas fueron limitados, sugiriendo que factores biológicos y ecológicos también desempeñan un papel importante. Por lo que, se subraya la necesidad de investigaciones adicionales para comprender mejor los factores que afectan la biodiversidad de anfibios en el PNN Farallones, lo que contribuirá a mejorar las estrategias de conservación de esta rica y vulnerable fauna.

Palabras clave: Recambio de especies, composición de especies, disimilitud, anidamiento.

INTRODUCCIÓN

Los anfibios desempeñan un papel crucial en los ecosistemas al ayudar a controlar las poblaciones de insectos y otros invertebrados, contribuyendo al equilibrio ecológico [1][2]. Además, su ciclo de vida acuático y terrestre los convierte en bioindicadores clave de la calidad ambiental [3][4]. Sin embargo, enfrentan serias amenazas debido a la destrucción de hábitats, contaminación, enfermedades infecciosas y el cambio climático, lo que ha llevado a un alarmante declive de sus poblaciones a nivel global [2][5][6][7]. Colombia es uno de los países con mayor diversidad de anfibios, representando el 10% de todas las especies a nivel mundial [8][9], con 896 especies formalmente descritas, de las cuales el 46% son endémicas [10]. Esta rica biodiversidad se debe a la variedad de ecosistemas y pisos altitudinales del país, que favorecen una gran especialización y adaptación de las especies [11]. El Parque Nacional Natural Farallones de Cali, un área protegida en la región andina, destaca por su alta biodiversidad, que abarca ecosistemas desde bosques húmedos a páramos [12]. Este parque es considerado un hotspot de biodiversidad [2], especialmente para los anfibios, pero aún carece de información actualizada sobre la distribución, diversidad y estado de conservación de estas especies. Para llenar este vacío de conocimiento, en 2017 se inició un programa de monitoreo de anfibios en el parque, en colaboración con WCS Colombia, con el objetivo de mejorar las estrategias de manejo y conservación en cuatro sectores clave del área. Este estudio se enfoca

en la diversidad beta de los anfibios, un concepto que ayuda a entender cómo varía la composición de especies y qué factores ecológicos, como el tipo de hábitat, la temperatura y la humedad, influyen en su distribución y abundancia [13][14][15]. La diversidad beta se divide en dos componentes: anidamiento y recambio, lo que permite distinguir entre la pérdida de especies o su abundancia [14][16]. En paisajes complejos como el del PNN Farallones, estos análisis ayudan a entender los procesos ecológicos, como las interacciones biológicas y la respuesta de los anfibios a las presiones ambientales. Por lo tanto, se busca responder a la pregunta de cómo varía la composición de anfibios y qué factores influyen en la diversidad beta dentro de diferentes zonas del parque permitiendo identificar patrones de biodiversidad que no solo son cruciales para entender la dinámica ecológica del parque, sino también para implementar un programa de monitoreo de anfibios que permita orientar esfuerzos de conservación y restauración.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. Áreas de estudio y ocurrencia de las especies

El estudio se realizó en cuatro zonas del Parque Nacional Natural Farallones de Cali: Anchicayá (400-760 m), Corea (2290-2650 m), Minas (2900-3600 m) y Tokio (1700-2150 m). La base de datos utilizada, proporcionada por el PNN de Colombia, abarca el monitoreo de anfibios entre los años 2017 a 2023, con 958 observaciones de 49 especies. Se realizó un proceso de organización y limpieza de los datos, y se definieron las áreas de estudio mediante un buffer de 150 metros alrededor de los puntos de muestreo, utilizando el software QGIS V 3.28.3 [17]

2. Variables y presiones

Se definieron un total de 26 variables que se clasifican en tres categorías (Coberturas de uso del suelo, Presiones Ambientales y Presiones Antropogénicas) para determinar cómo influyen en la diversidad y distribución de los anfibios en PNN Farallones de Cali.

Para el análisis de coberturas de uso del suelo se utilizaron datos de 2019 a 2023 a escala 1:25.000 proporcionados por PNN Colombia, que permitieron identificar 9 variables. El proceso se realizó con el software QGIS V 3.28.3 [17]. En cuanto a las presiones ambientales, se recopilaron siete variables, incluyendo altitud y altura de dosel, proporcionadas en la base de datos empleada, y otras cinco variables, como precipitación, temperatura y humedad, obtenidas de estaciones Palmira ICA (Código: 26075010) y QUEREMAL (Código: 53100040) del IDEAM [18]. Estos datos abarcan el periodo de 2017 a 2023. Además, se recopilaron 10 variables sobre presiones antropogénicas relacionadas con actividades humanas que podrían impactar a los anfibios, proporcionadas también por la base de datos de monitoreo de anfibios.

3. Análisis de composición de especies, Diversidad beta y Regresiones

Se realizó un análisis de composición de especies de anfibios mediante PERMANOVA bidireccional para evaluar las diferencias en la composición de especies, considerando dos factores: años y sectores. Posteriormente, se hizo un análisis post-permanova para identificar qué grupos presentaban diferencias significativas. También se utilizó el análisis SIMPER para determinar qué especies contribuyen a las diferencias observadas, todo a través del índice de similitud Bray-Curtis. En cuanto a la diversidad beta, se calcularon las diversidades global y a nivel de pares para determinar si la variabilidad en las especies seguía un patrón de anidamiento o de recambio. Finalmente, se realizaron regresiones para identificar qué variables influían en los patrones de anidamiento y recambio. Las variables más relevantes fueron seleccionadas para centrarse en los factores con mayor impacto sobre estos índices.

RESULTADOS

1. Análisis de composición

Los resultados del análisis PERMANOVA de dos vías muestran diferencias significativas en la composición de especies de anfibios, tanto por los años de muestreo ($F=2.3691$, $P=0.0001$) como por los sectores ($F=17.492$, $P=0.0001$), y una interacción entre ambos factores ($F=1.1095$, $P=0.0001$). El análisis post-permanova reveló diferencias significativas entre sectores a lo largo de los años, pero dentro de cada sector, las diferencias fueron solo en algunos años. Por otra parte, en el análisis SIMPER se tuvo en cuenta el conjunto de especies que de manera acumulada contribuyen al 70 % de la disimilitud (12 especies). Las especies que más contribuyen a la disimilitud total son: *Pristimantis palmeri* (16.5%), *P. molybrignus* (11%), *P. acatallelus* (7%), *P. calcaratus* (6.1%), *P. erythropleura* (4.7%) y *P. aff. leptolophus* (4.3%), sumando en conjunto un 49.6% de la disimilitud total. Para estas especies se observó una variación en la abundancia a través de las distintas localidades y años, con algunos patrones de presencia más estables y otros más fluctuantes.

El índice de diversidad beta de recambio fue de 0.89, indicando un alto nivel de diferenciación entre las comunidades de las especies de anfibios en comparación con los años/sectores. Por otro lado, el índice beta de anidamiento mostró un valor de 0.03, lo que sugiere un bajo anidamiento en la composición de especies a lo largo de los años/sectores. Finalmente, el índice de diversidad beta Global presenta un valor de 0.93, lo que resalta una notable variabilidad entre las comunidades de anfibios estudiadas. Los resultados de la regresiones indican que las variables altitud, temperatura máxima y altura del dosel tienen mayor impacto sobre estos índices. En la regresión bivariada entre la temperatura máxima y el recambio presentó un valor R^2 de 0.02 ($P = 0.019$) y para la temperatura máxima y anidamiento, se obtuvo un valor R^2 de 0.016 ($P = 0.042$). Para la altura de dosel y el recambio se evidenció un valor R^2 de 0.03 ($P = 0.0014$). Para la altura de dosel y el anidamiento, se obtuvo un valor de correlación no lineal R^2 de 0.06 ($P = 0.17$). Lo anterior indica que, en todos los casos, tienen un efecto significativo, aunque limitado, en la variabilidad explicada. Por otra parte, los resultados de la regresión polinómica entre la altitud y el recambio, presenta un valor R^2 de 0.32 ($P < 0.0001$). Esto indica que el modelo es altamente significativo y explica aproximadamente el 32% de la variabilidad de la variable dependiente.

DISCUSIÓN

La alta diversidad beta global indica una fuerte diferenciación de las comunidades de anfibios en el tiempo y en distintas zonas del parque, lo que concuerda con diversos estudios previos, como la diversidad en Oaxaca en México [19]. Esto sugiere que las especies no están distribuidas homogéneamente, sino que varían en composición y abundancia según el área y el año [20]. Las regiones heterogéneas favorecen nichos más estables, y las variaciones ambientales contribuyen a la diversidad de especies [20]. Por otra parte, al observar diferencias significativas entre los años de muestreo y los sectores, se identifica que tanto los factores temporales como espaciales influyen en la estructura de las comunidades de anfibios del parque. La interacción entre estos factores sugiere que la respuesta de las comunidades es compleja y no puede atribuirse a uno solo. La variabilidad observada podría estar relacionada con cambios en las condiciones ambientales locales, como la altitud, el clima y la ubicación geográfica [21][22]. Además de los cambios ambientales que pueden estar aportando a las variaciones entre los sitios, se debe tener en cuenta que las abundancias en cada sitio en diferentes años pueden estar influenciadas por otras características estructurales como el uso de las perchas y el microhábitat, por lo que es necesario realizar investigaciones

más detalladas sobre las relaciones entre el microhábitat y las abundancias de las especies [22]. El recambio de especies, un componente importante de la diversidad beta, muestra una notable variabilidad a lo largo del tiempo, indicando un entorno dinámico. El bajo valor en el componente de anidamiento sugiere que las diferencias en los sitios de anidamiento son pequeñas, y la diversidad de anidamiento es baja en ecosistemas con alta heterogeneidad ambiental. Esto provoca un recambio de especies rápido y considerable, sin patrones jerárquicos claros, debido a la especialización ecológica y las variaciones en las condiciones ambientales [23].

El estudio realizado mediante el SIMPER reveló que 8 de las 12 especies responsables de las diferencias observadas entre sectores y años son del género *Pristimantis*. Estas especies muestran variaciones notables en su presencia y abundancia, especialmente en Corea y Tokio, coincidiendo con su distribución altitudinal entre los 1750 y 2400 metros sobre el nivel del mar [24]. *Pristimantis* destaca en los bosques andinos por su alta abundancia y diversidad, ya que tiene una notable flexibilidad ecológica, lo que le permite colonizar diversos hábitats terrestres [24]. Además, las regiones altamente heterogéneas ofrecen nichos estables que sustentan más especies de *Pristimantis* y promueven la presencia de endemismos [20], lo cual podría explicar las diferencias en las comunidades de anfibios en el PNN Farallones. El estudio también encontró que las especies tienden a no reportarse en ciertos períodos, lo que sugiere la necesidad de considerar este patrón en futuros monitoreos. Aunque algunos anfibios puedan desaparecer temporalmente, no se puede concluir que se hayan extinguido [25], ya que en años recientes, especies que se creían extintas, como algunas del género *Atelopus*, han sido redescubiertas [25][26]. Por lo tanto, se sugiere la necesidad de intensificar los muestreos para identificar las variables que generan variaciones en la respuesta de las especies.

En Colombia, las poblaciones de anfibios han disminuido significativamente debido a factores como la deforestación, el cambio climático y enfermedades emergentes. El Parque Nacional Natural Farallones de Cali se considera un área que podría mitigar algunos efectos de la pérdida de hábitat, aunque los anfibios de la región siguen siendo afectados por el cambio climático y otros factores no abordados en este estudio. Se recomienda realizar investigaciones adicionales que incluyan más variables ambientales, como microclimas y aspectos bióticos específicos, para comprender mejor los factores que afectan la biodiversidad del parque. Además, se sugiere instalar medidores ambientales en las áreas de muestreo para realizar análisis más precisos de las condiciones ambientales, lo que ayudaría a mejorar las estrategias de conservación y proteger a los anfibios a largo plazo.

REFERENCIAS

- [1] A. R. Acosta-Galvis. Ranas, salamandras y caecilias (Tetrapoda: Amphibia) de Colombia. *Biota colombiana*, 1(3). (2000)
- [2] G.A. Rodríguez-Salazar, A.J. Fierro-Perdomo, O.M. Cuellar-Valencia, S. Orozco-Chamorro, G.A. González-Durán, Á.M. Suárez-Mayorga, R. Galindo-Tarazona. Guía ilustrada: Anfibios y Reptiles del Parque Nacional Natural Farallones de Cali. Bogotá, DC (Colombia): Proceditor Ltda. (2023).
- [3] W. E. Duellman. Reproductive strategies of frogs. *Scientific American*, 267(1), (1992) 80-87.
- [4] V. D. W. Sumanasekara, D. M. M. R. Dissanayake, H. T. J. Seneviratne. Review on use of amphibian taxa as a bio-indicator for watershed health and stresses. In *NBRO Symposium Proceedings*. Vol. 1, No. 5 (2015).
- [5] M. R. Whiles, K. R. Lips, C.M. Pringle, S.S. Kilham, R.J. Bixby, R. Brenes, S. Connelly, J.C. Colon-Gaud, M. Hunte-Brown, A.D. Huryn, C. Montgomery, S. Peterson. The effects of

- amphibian population declines on the structure and function of Neotropical stream ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 4(1), (2006) 27-34
- [6] M.C. Fisher, T.W. Garner, S.F. Walker. Global emergence of *Batrachochytrium dendrobatidis* and amphibian chytridiomycosis in space, time, and host. *Annual review of microbiology*, 63(1), (2009) 291-310.
- [7] R.A. Alford. Declines and the global status of amphibians. *Ecotoxicology of amphibians and reptiles*, 2, (2010) 13-46.
- [8] F. Vargas-Salinas, J.A. Muñoz-Ávila, M.E. Morales-Puentes. Biología de los anfibios y reptiles en el bosque seco tropical del norte de Colombia. Editorial UPTC. (2019).
- [9] D.R. Frost. Amphibian Species of the World: Referencia en línea. Versión 6.2. Electronic Database accessible at <https://amphibiansoftheworld.amnh.org/index.php>. American Museum of Natural History, New York (Octubre 2024).
- [10] Batrachia. Lista y mapas de distribución Anfibios Colombia - Lista de Los Anfibios de Colombia. Batrachia. Referencia en línea (Ocupre 2024). <https://www.batrachia.com>
- [11] J. Lynch, P.M. Ruiz-Carranza, M.C. Ardila-Robayo. Biogeographic patterns of Colombian frogs and toads. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 21(80), (1997) 237-248.
- [12] Parques Nacionales Naturales de Colombia. Parque Nacional Natural Farallones de Cali (Octubre 2024) <https://www.parquesnacionales.gov.co/nuestros-parques/pnn-farallones-de-cali/>
- [13] M.J. Anderson, T.O. Crist, J.M. Chase, M. Vellend, B.D. Inouye, A.L. Freestone, N.J. Sanders, H.V. Cornell, L.S. Comita, K.F. Davies, S.P. Harrison, N.J.B. Kraft, J.C. Stegen, N.G. Swenson. Navigating the multiple meanings of β diversity: a roadmap for the practicing ecologist. *Ecology Letters* (2011) 14:19–28.
- [14] J.M. Calderón-Patrón, C.E. Moreno, I. Zuria. La diversidad beta: medio siglo de avances. *Revista mexicana de biodiversidad*, 83(3) (2012) 879-891.
- [15] A. Baselga, C.D.L. Orme. betapart: an R package for the study of beta diversity. *Methods in ecology and evolution*, 3(5), 808-812. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2012.00224.x>
- [16] Baselga, A. (2010). Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Global ecology and biogeography*, 19(1), (2010) 134-143.
- [17] QGIS Development Team. Quantum GIS geographic information system. Open Source Geospatial Foundation Project. (Octubre 2024). Available at <http://www.qgis.org>
- [18] IDEAM. Atención al ciudadano. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (Octubre 2024) Recuperado de <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>
- [19] A.L. Santiago-Cruz. Diversidad Beta de los anfibios del estado de Oaxaca. (2019).
- [20] F.L. Meza-Joya, M. Torres. Spatial diversity patterns of *Pristimantis* frogs in the Tropical Andes. *Ecology and evolution*, 6(7), (2016). 1901-1913.
- [21] H. Heatwole. A review of structuring in herpetofaunal assemblages. *US Fish and Wildlife Service Wildlife Research Report*, 13, (1982) 1-19.
- [22] G. A. G. Durán. Composición y estructura de un ensamble de anfibios en un gradiente altitudinal, en la reserva forestal protectora Río Blanco, Caldas, Colombia (2012).
- [23] A. Baselga. Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Global ecology and biogeography*, 19(1), (2010) 134-143.
- [24] J.D. Lynch, W.E. Duellman. Frogs of the genus *Eleutherodactylus* in western Ecuador. *Systematics, Ecology and Biogeography. Special Publication of Natural History Museum, University of Kansas*. Lawrence, Kansas. 23 (1997).
- [25] J.F. González-Maya, J.L. Belant, S.A. Wyatt, J. Schipper, J. Cardenal, D. Corrales, A. Fischer. Renewing hope: the rediscovery of *Atelopus varius* in Costa Rica. *Amphibia-Reptilia*, 34(4), (2013) 573-578.
- [26] K.E. Jaynes, M.I. Páez-Vacas, D. Salazar-Valenzuela, J.M. Guayasamin, A. Terán-Valdez, F.R. Siavichay, L.A. Coloma. Harlequin frog rediscoveries provide insights into species persistence in the face of drastic amphibian declines. *Biological Conservation*, 276, 109784. (2022)