



HOMOGENEIZAÇÃO BIÓTICA EM COMUNIDADES ARBÓREAS DE BOSQUES TROPICALES: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

ARTÍCULO DE REVISIÓN

SANTOS, Patrícia Marques¹, NASCIMENTO, Marcelo Trindade²

SANTOS, Patrícia Marques. NASCIMENTO, Marcelo Trindade. **Homogeneización biótica en comunidades arbóreas de bosques tropicales: una revisión sistemática**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Año. 08, Ed. 08, Vol. 04, pp. 50-77. Agosto de 2023. ISSN: 2448-0959. Enlace de acceso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/biologia-es/homogeneizacion-biotica>, DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/biologia-es/homogeneizacion-biotica

RESUMEN

Se realizó una revisión sistemática de la literatura sobre la homogeneización biótica en bosques tropicales y sus consecuencias para la diversidad de las comunidades arbóreas. Evaluamos artículos indexados en las bases Scopus® y *Web of Science*®, desde 1945 hasta 2022. La selección de publicaciones se llevó a cabo en la plataforma Rayyan. El método bibliométrico utilizado para el mapeo de la base de datos fue el análisis de co-palabras, en el software VOSviewer. Identificamos tres líneas de investigación en homogeneización biótica: ecología de la invasión de especies; factores ambientales y antropogénicos; y diversidad funcional y filogenética. El componente más estudiado y posiblemente el más afectado fue el componente taxonómico. Los eventos de homogeneización biótica están ampliamente distribuidos en la región tropical, siendo el tipo de bosque más afectado el bosque tropical lluvioso, y la principal causa señalada fue el cambio en el uso del suelo, relacionado con la degradación antropogénica. Los estudios sobre homogeneización biótica en los trópicos se han intensificado en la última década y han resultado en avances importantes para comprender este proceso, como la constatación de que los ambientes hiperdiversos son susceptibles a la ocurrencia de homogeneización biótica y que esta puede estar mediada por especies nativas generalistas. Observamos la aparición de otro componente de la diversidad que debe incluirse en el concepto de homogeneización: la homogeneización de las interacciones ecológicas.

Palabras clave: Bibliometría, Conservación, Fragmentación, Bosques tropicales, Homogeneización biótica.



1. INTRODUCCIÓN

El aumento de la similitud entre las comunidades biológicas es la principal característica de la homogeneización biótica (homogeneización biológica). Este proceso, descrito por Elton (1958), mostró su preocupación por la propagación de especies exóticas. La definición del término homogeneización biótica llegó posteriormente con el trabajo de Mckinney y Lockwood (1999), en el cual los autores destacan dos factores fundamentales para este proceso: el cambio en el uso de la tierra y la introducción de especies exóticas. Estos autores, al proponer esta definición, se centraron principalmente en la homogeneización taxonómica, un concepto que ha evolucionado desde entonces. Rahel (2000) agregó el factor tiempo al concepto, definiéndolo como el cambio en la similitud entre comunidades a lo largo del tiempo. Olden y Poff (2004) incluyeron el carácter multidimensional en la evaluación del proceso, incorporando los componentes funcional y genético. En la actualidad, la homogeneización biótica se define como el cambio en biotas previamente distintas, que se han vuelto más similares con el tiempo en diferentes niveles de organización, es decir, genéticos, taxonómicos y funcionales (OLDEN; ROONEY, 2006).

La intensificación de las actividades humanas en general y, en algunos casos, llegando a áreas remotas y antes no perturbadas, ha facilitado la invasión de especies exóticas en áreas anteriormente inaccesibles, rompiendo barreras biogeográficas naturales y favoreciendo así la homogeneización biótica (CHARLES S. ELTON, 1958; KOLAR; LODGE, 2001; KRAMER; ZWIENER; MÜLLER, 2022).

Todas las principales causas de pérdida de biodiversidad en el planeta están de alguna manera relacionadas con las acciones humanas (por ejemplo, deforestación, pérdida de hábitat, fragmentación, contaminación de cuerpos de agua, caza, introducción de especies exóticas, cambios climáticos) y sus efectos secundarios (DÍAZ *et al.*, 2019; ESTES *et al.*, 2011; FINLAYSON *et al.*, 2005; LEWIS; EDWARDS; GALBRAITH, 2015; LOBO *et al.*, 2011; MAXWELL *et al.*, 2016; PENN; DEUTSCH, 2022). La interacción de diferentes acciones humanas puede intensificar sus efectos sobre la pérdida de biodiversidad, llevando a la homogeneización biótica en áreas que anteriormente eran muy diversas, como en los puntos críticos de biodiversidad del



mundo (SILVA; TABARELLI, 2000; ZWIENER, 2018) y en las selvas tropicales (DIRZO, 2001; PAIN *et al.*, 2021).

El aumento exponencial en el número de publicaciones ha traído grandes dificultades para los estudios de revisión. La aplicación de métodos de revisión sistemática y bibliométricos permite lidiar con esta riqueza de datos, filtrar las obras importantes mediante la estimación de su impacto y descubrir patrones subyacentes en un campo del conocimiento (ZUPIC; ČATER, 2015). Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue realizar una revisión sistemática de la literatura sobre la homogeneización biótica y sus consecuencias en la diversidad de las comunidades arbóreas tropicales, destacando las principales lagunas de conocimiento.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA

Realizamos una revisión sistemática de la literatura basada en Moher *et al.* (2009). Evaluamos artículos científicos indexados que abordan aspectos relacionados con la homogeneización biótica en bosques tropicales. La búsqueda de publicaciones se realizó sin restricciones temporales ni de idioma, con el fin de obtener todas las publicaciones disponibles en las bases de datos (de 1945 a 2022). Con base en esta premisa, realizamos una búsqueda bibliográfica en dos de las principales bases de datos académicas: Scopus® y *Web of Science*®.

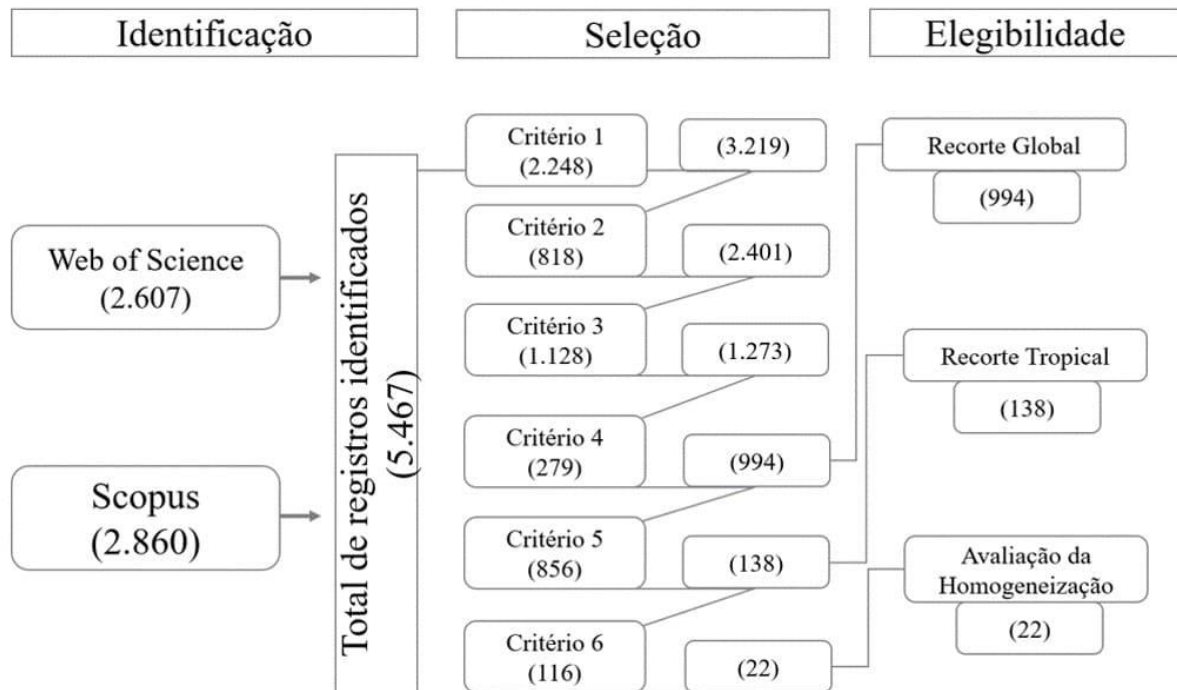
Para llevar a cabo la búsqueda de artículos, se consideraron los siguientes términos relacionados con el tema: "*homogenization*" OR "*tree homogenization*" OR "*plant homogenization*" OR "*biotic homogenization*" AND "*plant*", que debían estar presentes en el título, resumen o palabras clave de los artículos. Los términos utilizados en esta búsqueda fueron seleccionados a partir de artículos de referencia del área, y las búsquedas se realizaron hasta junio de 2022.

Seleccionamos los documentos mediante criterios de cribado adaptados de Moher *et al.* (2009) y O'Dea *et al.* (2021), según se muestra en la Figura 1. Como primer criterio,



seleccionamos solo aquellos documentos de áreas de conocimiento relacionadas con las ciencias ambientales y de la tierra. Como segundo criterio, excluimos los artículos duplicados en las bases de datos, considerando solo un documento. Como tercer criterio, consideramos solo los artículos que trataran la homogeneización biótica como tema central. El cuarto criterio consideró solo los artículos que tuvieran a las especies arbóreas como objeto de estudio. El quinto criterio seleccionó solo los artículos de la región tropical y, como sexto y último criterio, seleccionamos solo los artículos que probaron el proceso de homogeneización biótica según lo descrito por Olden y Rooney (2006). Estos autores identificaron cuatro formas comúnmente utilizadas para probar la homogeneización biótica: 1) conjunto de especies investigadas en dos períodos; 2) registros de ocurrencias de especies históricas existentes y reconstruidas; 3) conjunto de especies históricas existentes y reconstruidas (corregidas por extinciones); 4) conjuntos de especies existentes: similitud de comunidades. No se consideraron los artículos que solo mencionaban el proceso sin realizar un experimento o evaluación que demostrara el fenómeno. Todo el proceso de filtrado de las publicaciones se realizó en la plataforma de selección Rayyan (OUZZANI *et al.*, 2016).

Figura 1. Diagrama de flujo que describe el protocolo de búsqueda de documentos seleccionados en la revisión sistemática en el periodo de 1945 a 2022. 1er Criterio: áreas de conocimiento; 2do Criterio: duplicados; 3er Criterio: pérdida de biodiversidad; 4to Criterio: plantas como tema central; 5to Criterio: solo artículos de la región tropical; 6to Criterio: solo artículos que cuantificaron la homogeneización biológica



Fuente: Elaborado por la autora (2023).

2.2 ANÁLISIS DE LA BASE DE DATOS

De los artículos seleccionados para el análisis final, se recopilaron los siguientes datos: año, autores, escala de evaluación (local, regional, global), área de conocimiento, bioma estudiado, tipo de vegetación, categoría de estudio (observacional, experimental, otros), componente de la biodiversidad analizado (Taxonómico, Funcional y Filogenético), enfoque y métrica utilizados, tiempo de evaluación y principal causa señalada para la homogeneización biótica.

2.3 MÉTODOS BIBLIOMÉTRICOS

El método bibliométrico utilizado para mapear la base de datos fue el análisis de co-palabras (VAN ECK; WALTMAN, 2014). Este análisis evalúa el texto completo de las publicaciones y crea mapas basados en la distancia.



Cada término tiene su tamaño orientado por la relevancia en un determinado conjunto de datos, y el grosor de las líneas que los conectan se determina por la fuerza de la asociación (frecuencia en que se encontraron juntos los términos). La distancia entre dos elementos refleja la fuerza de la relación entre ellos. Se seleccionaron los términos con un mínimo de dos ocurrencias y luego se restringieron a los primeros 100 términos, según Van Eck y Waltman (2010). El software utilizado para realizar el mapeo de co-palabras fue VOSviewer (JAN; LUDO, 2010). El flujo de trabajo utilizado en este estudio fue descrito por Zupic y Carter (2015).

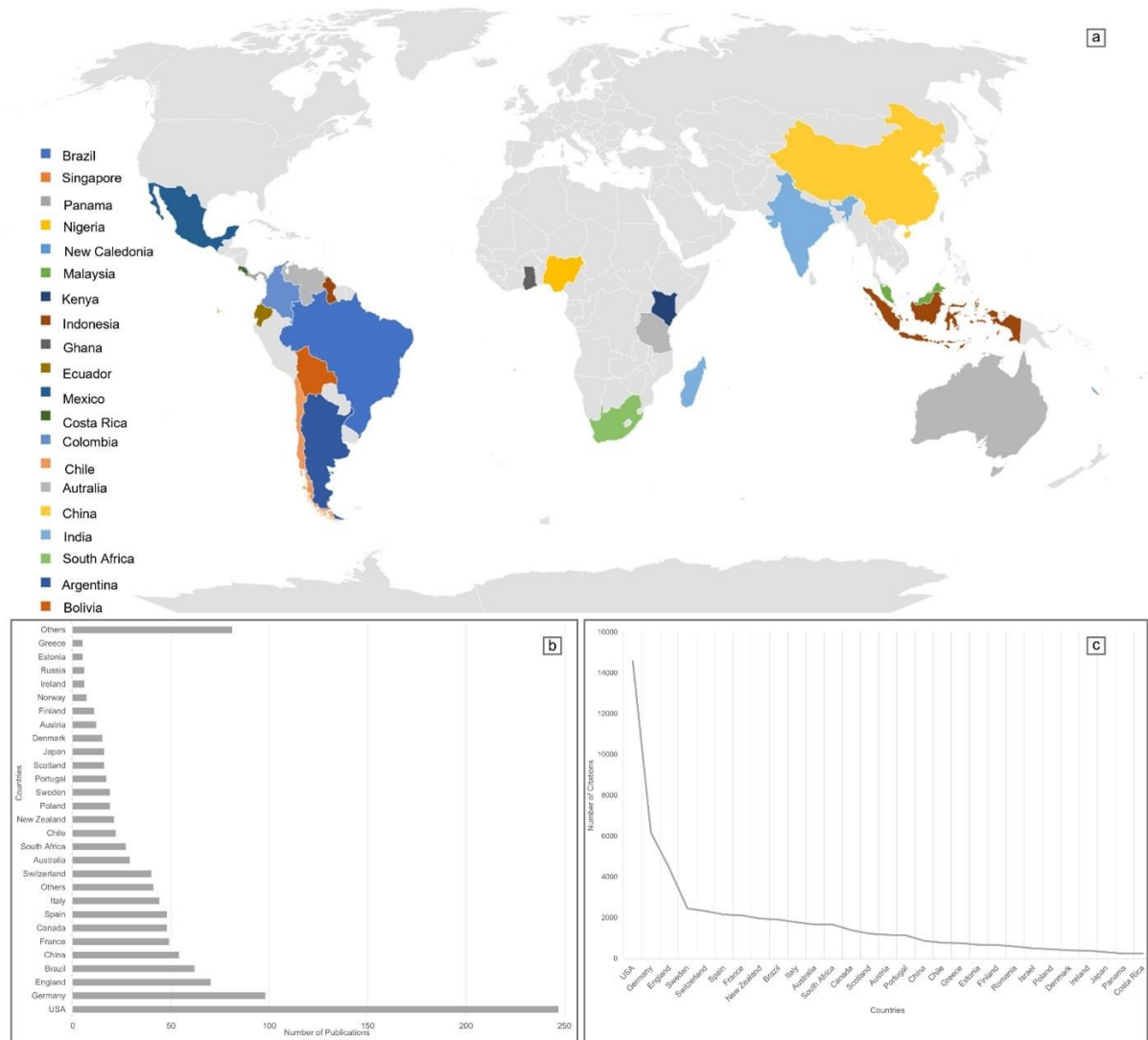
3. RESULTADOS

Se identificaron 5,467 artículos publicados en el período de 1945 a 2022 y, después del proceso de filtrado, se consideraron 994 artículos para el análisis de homogeneización biótica a escala global, 138 a escala tropical y de estos, solo 22 evaluaron la homogeneización biótica (**Figura 1**).

3.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS PUBLICACIONES DE HOMOGENEIZACIÓN BIÓTICA EN LOS TRÓPICOS

En el recorte a escala tropical ($n = 138$) presentado en la **Figura 1**, se observa que veintiséis países (**Figura 2**) tienen registros de homogeneización biótica, destacando China ($n = 54$), Brasil ($n = 31$) y Australia ($n = 29$) (**Figura 2b**). En la región tropical, los países con más referencias en estas publicaciones son Brasil ($n = 1,400$), seguido de México ($n = 313$) y Costa Rica ($n = 247$) (**Figura 2c**).

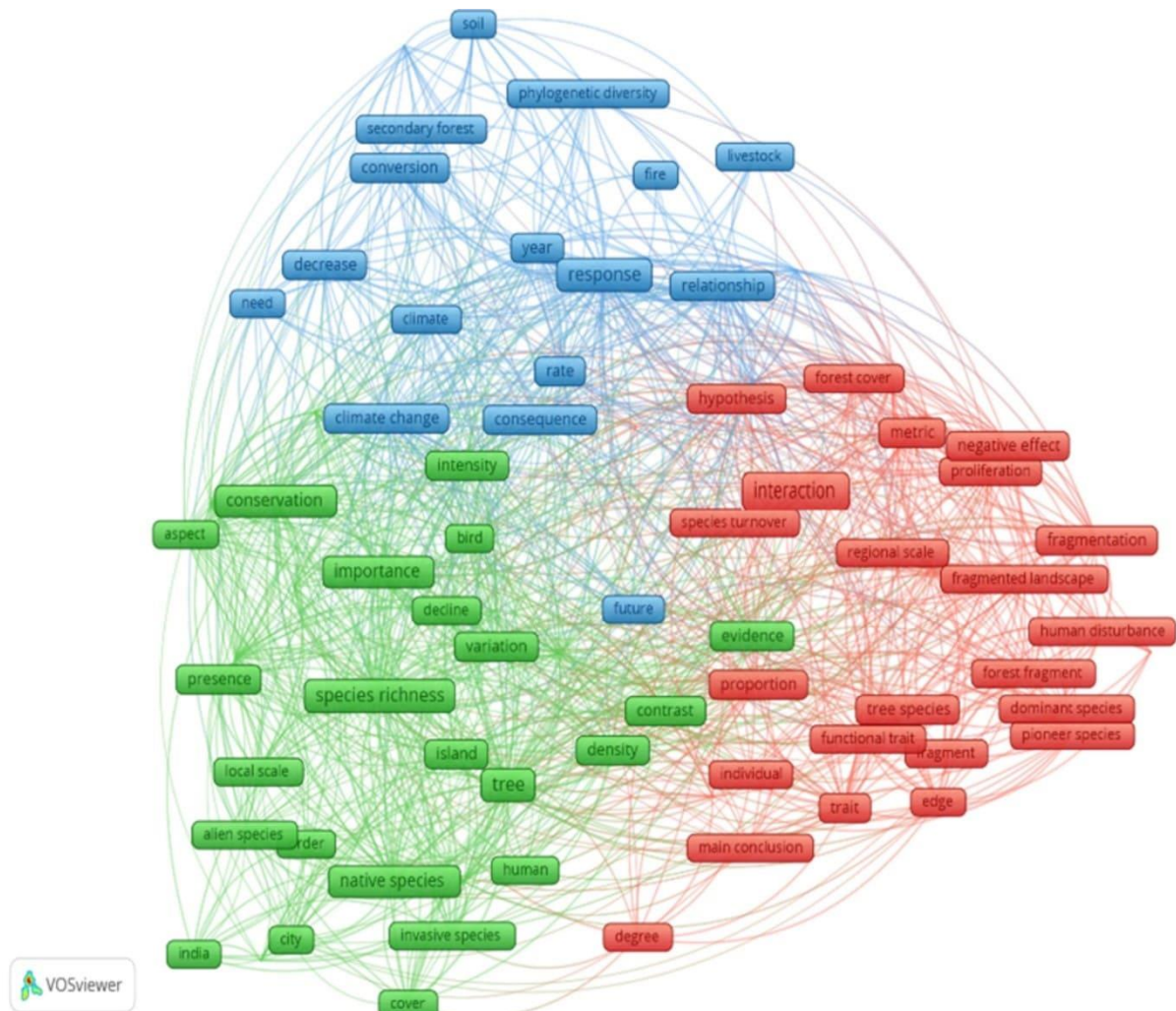
Figura 2. Evaluación temporal de las co-palabras extraídas del texto de los títulos, palabras clave asignadas por el autor y resúmenes de los artículos seleccionados en la revisión sistemática sobre homogeneización biológica de 1945 a 2022. Evaluación realizada en base a 994 artículos del tema seleccionado. La variación en el tiempo se representa en la escala de colores, donde los términos en amarillo provienen de publicaciones más recientes y los términos en azul son más antiguos



Fuente: Elaborado por la autora (2023).

El análisis de co-palabras para los trópicos destacó tres líneas de investigación fundamentales en la homogeneización biótica: ecología de la invasión de especies (verde); factores ambientales, antropogénicos y diversidad funcional (rojo); y filogenética (azul), como se muestra en la Figura 3. Además, los términos subyacentes muestran la importancia de temas regionales, como el contexto del paisaje y las interacciones de las especies con el entorno.

Figura 3. Análisis de co-palabras extraídas del texto de los títulos, palabras clave asignadas por el autor y resúmenes de los artículos filtrados para los trópicos en la revisión sistemática sobre homogeneización biológica de 1945 a 2022. Evaluación realizada en base a 138 artículos del tema seleccionados para los trópicos. Los colores representan el agrupamiento de las líneas de investigación: Diversidad filogenética (azul); ecología de la invasión de especies (verde); factores ambientales y antropogénicos y diversidad funcional (rojo)

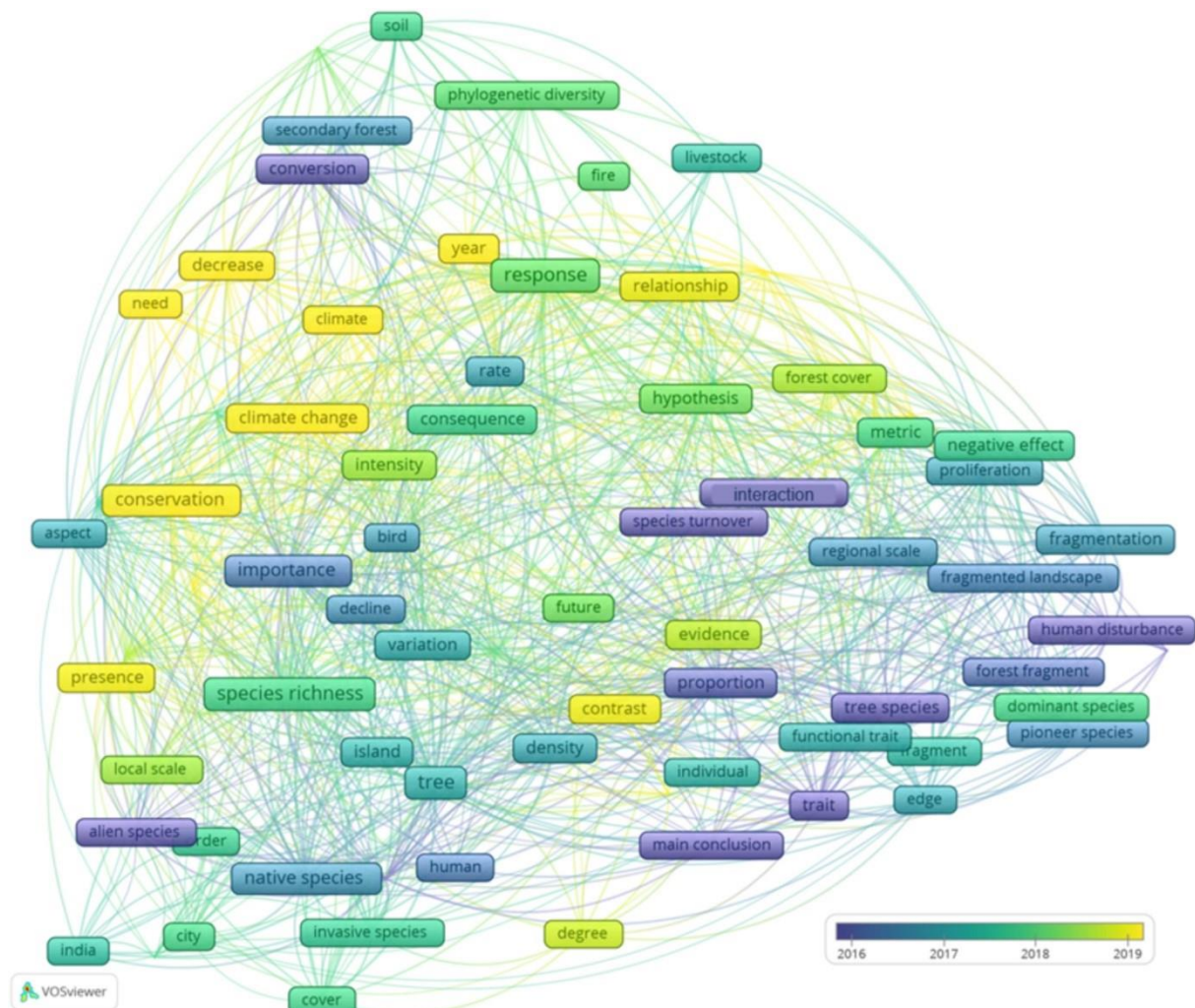


Fuente: Elaborado por la autora (2023).

En el grupo rojo se observan términos como interacción, sustitución de especies y cambio relacionados con la fragmentación, evidenciando una nueva tendencia que también se constató en el análisis más detallado de estas publicaciones, que es el estudio de la homogeneización de las interacciones. Estos análisis han sido abordados más recientemente debido a una creciente preocupación por la pérdida de especies clave observada en las áreas, lo que ha promovido la homogeneización en las interacciones.

El estudio de la dinámica de las líneas de investigación en el tiempo evidenció que conceptos como diversidad filogenética y cambio climático se están aplicando más recientemente (**Figura 4**), mientras que la interacción de la acción antrópica (fragmentación, pérdida de hábitat, urbanización) con la composición de especies son temas con un historial de estudio más antiguo, al igual que la ecología de la invasión (introducción de especies exóticas, características de estas especies y del entorno).

Figura 4. Evaluación temporal de las co-palabras extraídas del texto de los títulos, palabras clave asignadas por el autor y resúmenes de los artículos seleccionados para los trópicos en la revisión sistemática sobre la homogeneización biológica de 1945 a 2022. Evaluación realizada en base a 138 artículos del tema seleccionados. La variación temporal se representa mediante la escala de colores, donde los términos en amarillo provienen de publicaciones más recientes y los azules son más antiguos

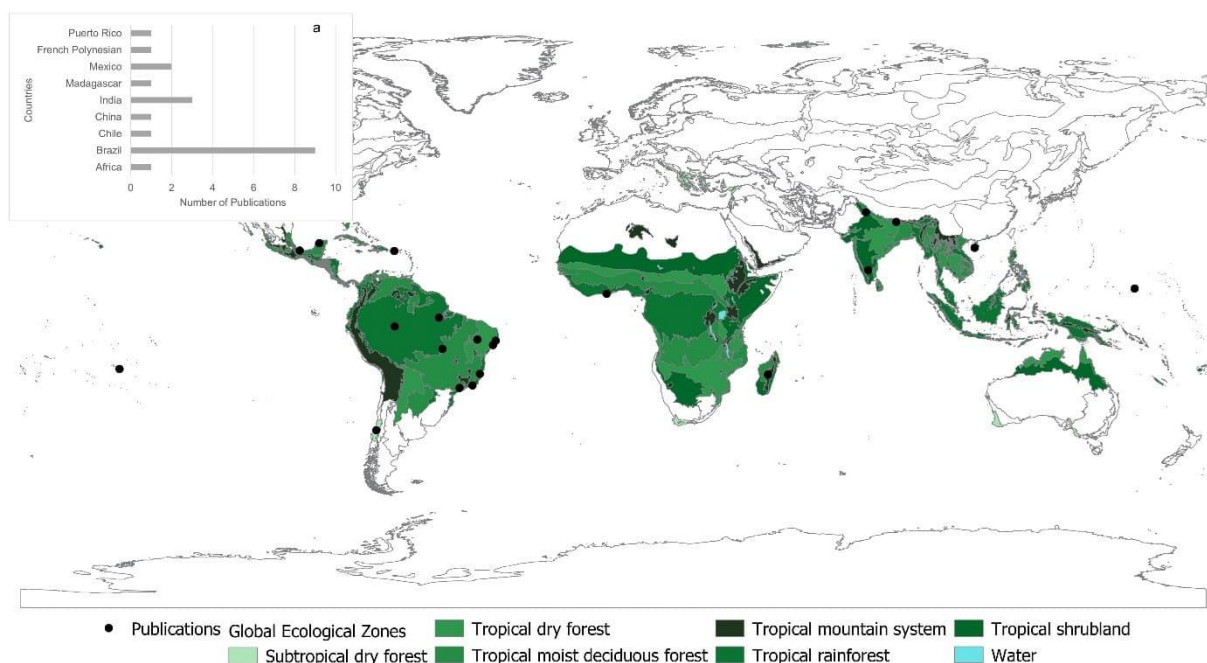


Fuente: Elaborado por la autora (2023).

3.2 CARACTERIZACIÓN DE LAS PUBLICACIONES QUE PROBARON LA HOMOGENEIZACIÓN BIÓTICA

En las publicaciones que evaluaron la homogeneización biótica en los trópicos ($n = 22$), el 64% utilizó la escala espacial y solo el 36% lo probó a través de la evaluación temporal. A pesar del pequeño número de publicaciones que probaron efectivamente la homogeneización, hay registros de estudios en nueve países de la región tropical, destacándose Brasil ($n = 9$), India ($n = 3$) y México ($n = 2$), como se observa en la **Figura 5a y b**.

Figura 5. Distribución geográfica de las publicaciones por países de la región tropical (a) y número de publicaciones (b) obtenidos en la revisión sistemática sobre la Homogeneización Biótica de 1945 a 2020



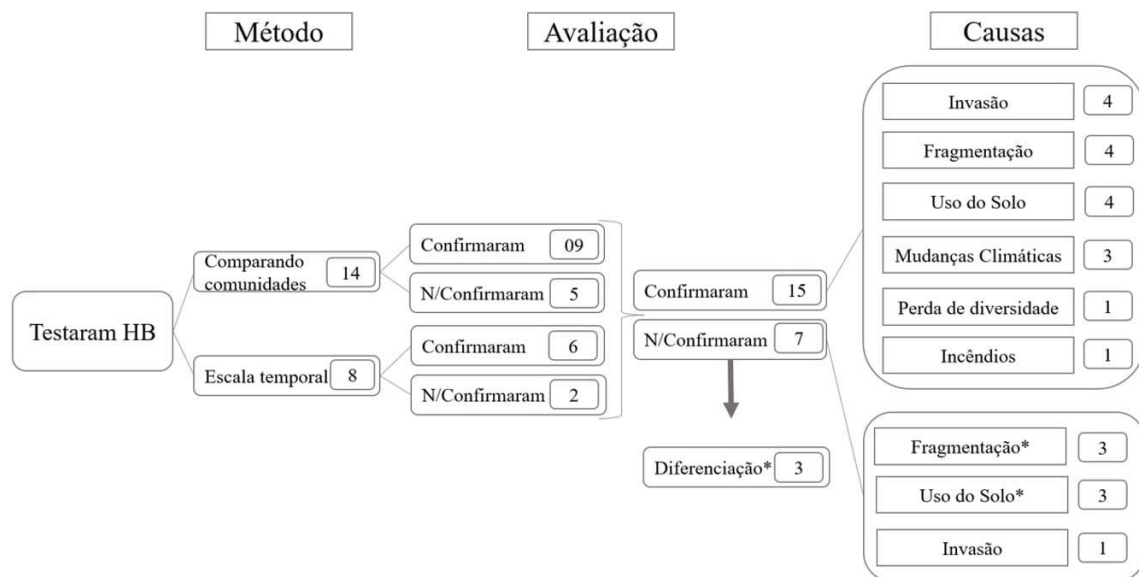
Fuente: Elaborado por la autora (2023).

El tipo forestal tropical lluvioso (bosque húmedo tropical) reúne el mayor número de estudios en los trópicos ($n = 14$), seguido del bosque tropical semideciduo ($n = 2$) y el resto de las ocurrencias clasificadas en otras zonas ecológicas (**Figura 5a**). En el caso de Brasil, el bioma con mayor número de publicaciones sobre el tema fue la Mata

Atlántica (n = 5), seguida por la selva amazónica (n = 2), la Caatinga y el área de transición entre la Amazonia y el Cerrado con una publicación cada una (**Figura 5a**).

Entre los métodos identificados por Olden y Rooney (2006), el más utilizado por los autores fue la comparación entre comunidades (n = 14), seguido de la evaluación a escala temporal (**Figura 6**). A pesar de que el mayor número de publicaciones utilizó la comparación entre comunidades, proporcionalmente, la evaluación a escala temporal tuvo más éxito con un 75% de confirmación (n = 6), en comparación con un 64% (n = 9) para el método que emplea la comparación entre comunidades.

Figura 6. Diagrama que describe los métodos, evaluación y principales causas señaladas para la ocurrencia de Homogeneización Biótica (HB) en publicaciones que probaron este fenómeno (n = 21), el asterisco señala las principales causas de diferenciación entre las comunidades



Fuente: Elaborado por la autora (2023).

Evaluando las publicaciones que probaron la ocurrencia de este fenómeno (n = 22), quedó claro que las principales causas probadas para la homogeneización biótica fueron la fragmentación (n = 4), la invasión de especies (n = 4) y el cambio en el uso de la tierra (n = 4).

Sin embargo, Arroyo-Rodríguez et al. (2013), Solar *et al.* (2015) y Sfair *et al.* (2016), Inague; Zwiener; Marques (2021), observaron el fenómeno contrario, es decir, un aumento en la diversidad biótica en las áreas. Este proceso parece ser dependiente



de la escala, ya que observaron diferenciación a nivel local (parcela, fragmento), mientras que a escala de paisaje no se confirmó esta diferencia. La diversificación en estas áreas fue resultado de la fragmentación (MARTINEZ *et al.*, 2010); múltiples disturbios humanos (SFAIR *et al.*, 2016) e historia de uso de la tierra (URIBE *et al.*, 2021) y cambios climáticos (INAGUE; ZWIENER; MARQUES, 2021).

Entre las publicaciones que analizaron la variación en la similitud de comunidades a lo largo del tiempo ($n = 8$), es decir, antes y después de la ocurrencia del evento de degradación, según lo sugerido por Olden y Rooney (2006), dos no confirmaron la homogeneización biótica. Lobo *et al.* (2011), al analizar comparativamente la flora arbórea de la Mata Atlántica antes y después de 1980, observaron que la comunidad vegetal pasó por un proceso de fragmentación y un consecuente aumento en el número de especies nativas pioneras y secundarias iniciales.

El aumento en la similitud florística como resultado de eventos de degradación ambiental (incendios forestales) también fue informado por Silva *et al.* (2000). En un período de siete años (2007 a 2014), se observó que el aumento en la frecuencia de incendios promovió la extinción local de especies y, por lo tanto, el aumento de la similitud, de manera acelerada, en un área especialmente sensible como la transición entre el Cerrado y la selva amazónica.

La homogeneización también fue evaluada como resultado de los cambios climáticos (INAGUE; ZWIENER; MARQUES, 2021; ZWIENER, 2018). En este contexto, se compararon las condiciones climáticas actuales y los escenarios futuros. Estos autores demostraron que en escenarios de cambios climáticos severos habrá una reducción a gran escala en la diversidad y un aumento en la similitud de especies entre las comunidades. Concluyeron que la expansión de especies generalistas será responsable del aumento en la similitud de especies. Al evaluar la vegetación de restinga de la Mata Atlántica, Inague; Zwiener; Marques (2021) encontraron diversificación en el componente taxonómico y homogeneización en el componente funcional, destacando que los cambios climáticos restringirán la diversidad funcional a características más aclimatadas.



Otro factor abordado a lo largo del tiempo fueron las consecuencias de los eventos de sequías extremas en la diversidad taxonómica, funcional y filogenética de los bosques húmedos (AGUIRRE-GUTIÉRREZ *et al.*, 2020). La escala temporal utilizada abarca el período de 1980-1990 y 2010-2013, observando un aumento en la diversidad taxonómica y funcional en los bosques húmedos, mientras que en los bosques más secos hubo una reducción. En la diversidad filogenética, observaron una gran reducción en el gradiente de húmedo a más seco.

Un factor recurrente en la evaluación de la homogeneización es el cambio en el uso y la cobertura de la tierra, pero solo una publicación lo evaluó a lo largo del tiempo. Uribe *et al.* (2021) estudiaron la influencia de este factor en la biodiversidad en plantaciones de *Pinus*, donde la escala temporal estuvo representada por el tiempo de rotación de cada plantación (20 años). Se encontró que las plantaciones que reemplazaron directamente a los bosques nativos presentaban un gran número de especies especialistas y un menor número de generalistas, y que el número de rotaciones no influía en la diversidad local. De esta manera, el cambio en el uso y la cobertura del suelo no promovió la homogeneización de las especies en áreas de plantación de *Pinus*.

Las publicaciones que probaron la ocurrencia del proceso de homogeneización y encontraron un resultado negativo evaluaron las causas: fragmentación, cambio en el uso de la tierra e invasión biológica. Entre ellas, Martines *et al.* (2010) evaluaron el cambio en el uso de la tierra, las características del entorno y la presencia de especies invasoras, y concluyeron que el establecimiento de especies estaba relacionado con el sustrato y no con el cambio en el uso de la tierra. Sfair *et al.* (2016) evaluaron si en áreas sujetas al efecto de borde estaba ocurriendo homogeneización o divergencia taxonómica/funcional, y no se confirmó la homogeneización. Arroyo-Rodrigues *et al.* (2013) también evaluaron estos dos procesos en un gradiente de deforestación y no encontraron homogeneización.

Meyer *et al.* (2014) investigaron la propensión de los ambientes insulares a la homogeneización, evaluando el cambio en el uso de la tierra y la invasión de especies



exóticas. Se encontró que estos factores provocaron grandes cambios en los entornos, pero no resultaron en homogeneización de las áreas estudiadas.

Sanaphre-Villanueva *et al.* (2017) evaluaron si la fragmentación promovería la homogeneización en la diversidad taxonómica y funcional de especies generalistas en una cronosecuencia sucesional. Estos autores observaron la ocurrencia de homogeneización taxonómica como resultado de la dominancia de especies generalistas, pero concluyeron que esta dominancia no resultó en homogeneización funcional.

El componente de biodiversidad más abordado en las investigaciones fue el taxonómico (n = 13). Algunos estudios abordaron simultáneamente dos componentes (taxonómico y funcional (n = 5)), y solo dos artículos evaluaron los tres componentes (taxonómico, funcional y filogenético). La evaluación multitaxa se realizó en solo tres publicaciones (ARAVIND *et al.*, 2010; SOLAR *et al.*, 2015; ZHANG *et al.*, 2022), de las cuales dos confirmaron la ocurrencia de homogeneización y una identificó diversificación.



Tabla 1. Lista de las publicaciones que probaron la homogeneización biótica en la región tropical, con énfasis en las principales características abordadas. En gris, las publicaciones que no confirmaron la homogeneización biótica. Características funcionales evaluadas: área foliar total (LA), unidad fotosintética mínima (MPU), contenido de materia seca foliar (LDMC), área foliar específica (SLA); densidad específica de la madera (WSG); pulvinación foliar (LPulv); pubescencia foliar (LPb); exudados de plantas (Ex); espinas de la planta (Sp); composición foliar (LC); síndrome de dispersión (Dis); caducidad (LD); volumen de semillas (SV); Altura Máxima (Hmax); Diámetro a la altura del pecho (DAP); masa corporal adulta (MCA); amplitud de la dieta (AD); amplitud del hábitat (AH); nivel trófico (NT); ciclo de actividad (Cat); estrato de forrajeo (EF); estatus migratorio (SM); tiempo de vida (TV); forma de crecimiento/forma de vida (FC) y longitud del brote (CB); conductividad específica del tallo potencial (kp), fracción del lumen del vaso (VLF), diámetro de los vasos (VD), densidad del vaso (pV), contenido de nitrógeno (NL) y fósforo foliar (PL), grosor foliar (ThicknessL), capacidad fotosintética en tasas máximas de asimilación de carbono (Amax); en tasas de asimilación de carbono saturado de luz (Asat); densidad de la madera (WSG); fenología (F); gremio (G) y capacidad de fijación de nitrógeno (CFN)

Autor	Componente avaliado	Variável utilizada	Escala espacial	Atributo funcional	Tipo florestal
Pysek & Richardson, 2006	Taxonômico	Número de espécies	Global		Global
Kueffer et al., 2010	Taxonômico	Número de espécies	Global		Tropical rainforest
Aravind et al., 2010	Taxonômico	Abundância	Local		Tropical shrubland
Lobo et al., 2011	Taxonômico	Número de espécies	Regional		Tropical rainforest
Tabarelli et al., 2012	Taxonômico	Número de espécies	Regional		Tropical rainforest
Dar & Reshi, 2015	Taxonômico	Número de espécies	Regional		Tropical shrubland
Ribeiro-Neto et al., 2016	Taxonômico	Número de espécies	Local		Tropical dry forest
Thier & Wesenberg, 2016	Taxonômico	Número de espécies	Local		Tropical rainforest
Da Silva et al., 2018	Taxonômico	Número de espécies	Local		Tropical rainforest
Zwiener, 2018	Taxonômico	Registro de ocorrência	Regional		Tropical rainforest
Park & Razafindratsima, 2019	Taxonômico/Funcional / Filogenético	Número de espécies	Regional	MCA, AD, AH, NT, Cat, EF	Tropical rainforest
Dar & Reshi, 2020	Taxonômico/Funcional	Número de espécies	Regional	TV, FC e CB	Tropical rainforest
Uribe et al., 2021	Taxonômico	Número de espécies/ Abundância	Local		subTropical dry forest
Inague <i>et al.</i> , 2021	Taxonômico/Funcional	Número de espécies	Regional	Hmax, WD, LA, SL, FL	Tropical rainforest
Zhang et al., 2022	Taxonômico	Número de espécies	Local		Tropical moist deciduous forest/ Floresta tropical semidecídua
Martinez, 2010	Taxonômico/Funcional	Número de espécies	Regional	SV, DAP, Hmax e SD	Tropical rainforest
Arroyo-Rodríguez et al., 2013	Taxonômico	Número de espécies	Regional		Tropical rainforest
Meyer et al., 2015	Taxonômico	Número de espécies	Regional		Tropical rainforest
Solar et al., 2015	Taxonômico	Número de espécies/Abundância	Regional		Tropical rainforest
Sfair et al., 2016	Taxonômico/Funcional	Número de espécies	Local	LA, SLA, WSG, SV e ALM	Tropical rainforest
Sanaphre-villanueva et al., 2017	Taxonômico/Funcional	Abundância	Local	LA, MPU, LDMC, SLA, WSG; LPulv; LPb; Ex; Sp; LC; Dis LD e SV Kp; VLF; VD;	Tropical moist deciduous forest/ Floresta tropical semidecídua
Aguirre-gutiérrez et al., 2020	Taxonômico/Funcional / Filogenético	Número de espécies	Regional	pV; LA; SLA; NL; PL; ThicknessL; Amax; Asat; Hmax; WSG; G; CFN	Tropical rainforest

Fuente: Elaborado por la autora (2023).

Del conjunto de artículos que utilizaron solo el componente taxonómico para evaluar la homogeneización biótica (n = 15), la mayoría concluyó que la homogeneización está ocurriendo (n = 10); dos publicaciones no confirmaron la homogeneización biótica (SOLAR *et al.*, 2015; URIBE *et al.*, 2021). Y cuatro publicaciones no fueron



concluyentes en sus resultados (ARROYO-RODRÍGUEZ *et al.*, 2013; MEYER *et al.*, 2014; PYSEK; RICHARDSON, 2006; URIBE *et al.*, 2021).

El componente funcional está siendo evaluado en investigaciones de homogeneización biótica a través de los siguientes caracteres: síndromes de dispersión ($n = 2$), formas de vida ($n = 2$), características de las hojas ($n = 7$) y densidad de la madera ($n = 3$). Las características elegidas están relacionadas con la economía de agua y nutrientes, la tolerancia a la sombra y la colonización. Es decir, con la capacidad de supervivencia en un entorno restrictivo, como se esperaría en áreas degradadas o bajo invasión biológica.

De las publicaciones que evaluaron el componente funcional ($n = 7$), cuatro de estos artículos encontraron la ocurrencia de la homogeneización funcional. El resto identificó la diversificación funcional, y la justificación presentada en estos trabajos fue la gran redundancia funcional de las áreas, que hasta el momento mantenían la diversidad funcional de la región.

Solo dos trabajos abordaron la homogeneización filogenética (AGUIRRE-GUTIÉRREZ *et al.*, 2020; PARK; RAZAFINDRATSIMA, 2019), evaluando conjuntamente la diversidad taxonómica y funcional. Estos trabajos mostraron la importancia del enfoque simultáneo de los tres componentes, debido a la singularidad de cada componente y sus efectos diferenciados. Concluyeron que la homogeneización biótica está ocurriendo en las áreas evaluadas y encontraron homogeneización en los tres componentes de la biodiversidad. Solo uno de estos artículos evaluó en una escala temporal.

4. DISCUSIÓN

Uno de los primeros aspectos observados a partir de esta revisión es la generalización en el uso del término "homogeneización biótica", a menudo este término se usó solo para denotar la pérdida de diversidad en una región, sin confirmar el proceso. Este uso simplista del término estuvo presente en varios artículos que trataban sobre la riqueza y diversidad de especies, o incluso aquellos que trataban sobre la diversidad



de un área, observaban la invasión de una especie y advertían sobre la posibilidad de futura homogeneización biótica, sin probar efectivamente la homogeneización, como señalaron Olden y Rooney (2006).

El uso inadecuado puede deberse a la definición tardía del proceso de homogeneización biótica, que se definió oficialmente recién en 1999 (MCKINNEY; LOCKWOOD, 1999). Aunque se documenta desde 1958, cuando Charles S. Elton describió el proceso de homogeneización biótica resultante de la invasión de especies exóticas. Incluso la generalidad del término utilizado para definir el proceso puede contribuir a este uso incorrecto, como discutieron Olden y Rooney (2006).

Desde su definición oficial por McKinney y Lockwood (1999), se han destacado los registros sucesivos del proceso de homogeneización biótica como un efecto inevitable de la invasión biológica (LAMBTON *et al.*, 2008). Sin embargo, como destacó Olden (2006), la invasión no es homogeneización biótica. No toda invasión genera homogeneización biótica o extinción de especies, y no toda variación en la diversidad de especies corresponde a homogeneización biótica (ARROYO-RODRÍGUEZ *et al.*, 2013).

El desarrollo del campo de investigación, como se observó, refleja exactamente la historia de las investigaciones sobre la homogeneización biótica, que inicialmente se ocupaban de la homogeneización, fuertemente relacionada con la expansión de especies exóticas y sus características (CHARLES, 1958; MCKINNEY, 1998), y posteriormente agregaron otras facetas de la diversidad (GARCÍA-NAVAS *et al.*, 2020; OLDEN; POFF, 2004), ampliando la escala de evaluación tanto en el espacio como en el tiempo (RAHEL, 2002) y, más recientemente, relacionándola con problemas actuales como la fragmentación del hábitat y el cambio climático (AGUIRRE-GUTIÉRREZ *et al.*, 2020; INAGUE; ZWIENER; MARQUES, 2021). El bajo número de artículos que probaron la homogeneización biótica en la región tropical ($n = 22$) muestra la complejidad intrínseca de este tipo de análisis. Dado que se trata de un análisis esencialmente comparativo, debe realizarse en una escala temporal, con datos consistentes de dos o más áreas diferentes, con al menos un área libre de impactos.



La diferencia en el número de registros de homogeneización biótica entre las regiones templadas ($n = 994$) y los trópicos ($n = 138$) puede justificarse por tres cuestiones: el inicio temprano de la degradación ambiental que ocurrió en la revolución industrial (FOSTER, 1999), el sesgo de muestreo y el mayor número de publicaciones encontradas para la región templada, que es más del triple del número de artículos registrados para los trópicos ($n = 856$). Otro factor es la falta de datos de campo estandarizados a largo plazo para probar efectivamente la homogeneización biótica en la región tropical (CONDIT, 1995; HARRIS *et al.*, 2021).

La degradación ambiental fue un factor destacado en los estudios sobre homogeneización, siendo la principal causa señalada para su ocurrencia en las publicaciones evaluadas, variando solo en la escala de degradación local o regional (por ejemplo, cambio en el uso del suelo, fragmentación, fuego) y global (por ejemplo, cambio climático).

En Brasil, los estudios abordan principalmente los efectos de la acción humana, históricamente presentes en la Mata Atlántica y en la transición Amazónica/Cerrado, una región ahora conocida como el arco de deforestación, la última frontera agrícola en la región central de Brasil (FEARNSIDE, 2020).

La predominancia del bioma Mata Atlántica en los estudios que probaron la homogeneización biótica en los trópicos (el 25% de la producción científica en esta área) parece estar relacionada con factores intrínsecos, como la fragmentación históricamente presente en este bioma (MELLO *et al.*, 2020), y la alta biodiversidad y endemismo (MITTERMEIER *et al.*, 2004). Además, esta región tiene la mayor concentración de instituciones de investigación y recursos humanos en actividad en Brasil (INEP, 2022).

Observamos el dominio de estudios basados solo en el componente taxonómico, probablemente debido al costo involucrado en la investigación con recolección de datos funcional y filogenético y la escasa disponibilidad de bases de datos sólidas para estos componentes en los trópicos (GUIMARÃES *et al.*, 2005).



La alta riqueza de la región tropical permite la coexistencia de muchas especies de animales y plantas y un número inestimable de interacciones, como la polinización, herbivoría, dispersión y transferencia de nutrientes (TOBY KIERS *et al.*, 2010). Así, estas interacciones están amenazadas por las acciones humanas y el aumento de la homogeneización biótica, que ha llevado a la ruptura de estas relaciones entre plantas y animales, promoviendo así la homogeneización de las interacciones (CÂMARA *et al.*, 2018; OLIVEIRA *et al.*, 2019; TYLIANAKIS *et al.*, 2007). Este proceso se detectó en la evaluación de la base de datos de este artículo y puede considerarse como una de las tendencias actuales en el estudio de la homogeneización.

Tan importante como evaluar las diversas facetas de la biodiversidad de una comunidad vegetal o región es evaluar el mayor número posible de taxones simultáneamente, ya que cada uno puede responder de manera diferente al proceso de homogeneización biótica debido al efecto cascada de pérdida de diversidad en uno de estos taxones, como se observó en los estudios de (ARAVIND *et al.*, 2010; PARK; RAZAFINDRATSIMA, 2019; SOLAR *et al.*, 2015; ZHANG *et al.*, 2022).

Las comunidades vegetales son altamente dinámicas, especialmente bajo el efecto de la acción humana (LAURANCE *et al.*, 2006), lo que hace casi imposible prever los caminos del proceso de reemplazo de especies. Los estudios presentan dos posibilidades: la ocurrencia de la homogeneización biótica o la diversificación (ESCOBAR *et al.*, 2013). Y como se discutió anteriormente, los estudios a largo plazo son fundamentales para evaluar los cambios en las comunidades a lo largo del tiempo y, así, mejorar nuestra comprensión de los procesos de homogeneización frente a la diferenciación en paisajes modificados por el hombre (HADDAD *et al.*, 2015; KRAMER *et al.*, 2022; REES *et al.*, 2001).

En base a los estudios que probaron la homogeneización biótica en los trópicos, observamos que se está produciendo una pérdida de diversidad de especies en muchos casos, pero no siempre resulta en homogeneización biótica. Sin embargo, la falta de confirmación también puede deberse al enfoque utilizado para evaluar la homogeneización. La mayoría de los estudios destacados aquí utilizaron la similitud entre comunidades o entre gradientes de perturbación, como se describe en Olden y



Rooney (2006). Sin embargo, como discutieron estos autores, esta no es la mejor forma de cuantificar la homogeneización biótica; es preferible la evaluación en dos períodos de tiempo (OLDEN; ROONEY, 2006).

5. CONCLUSIONES

Los estudios sobre homogeneización biótica en los trópicos han proporcionado avances importantes para comprender este proceso. La degradación sucesiva, aunque persistente y a gran escala, puede llevar a regiones muy diversas como los puntos críticos a la homogeneización biótica.

Hemos observado que, a diferencia del concepto inicial que colocaba la introducción de especies exóticas como la principal causa de homogeneización, más recientemente, las publicaciones han mostrado que la principal causa ha sido el cambio en el uso del suelo y que, en los trópicos, las especies nativas generalistas pueden desempeñar un papel importante en la homogeneización al aumentar significativamente la dominancia de estas especies en entornos degradados.

Entre los componentes generalmente evaluados, el componente taxonómico fue el más afectado, seguido de los componentes funcionales y filogenéticos. Sin embargo, estas evaluaciones se realizaron principalmente a escala espacial. Hubo pocos trabajos que utilizaron la escala temporal para evaluar este fenómeno.

Además de los componentes taxonómicos, funcionales y filogenéticos, el efecto en las interacciones ecológicas o la homogeneización de las interacciones es otra faceta de la diversidad que debe evaluarse, y se está convirtiendo en un tema emergente en los estudios sobre homogeneización biótica. La pérdida de estas interacciones representa un gran riesgo para el mantenimiento de los servicios ecosistémicos.

Para el éxito de las estrategias de conservación en el futuro, es importante comprender los factores y patrones de pérdida de biodiversidad a escalas espaciales y temporales, y la comprensión de la homogeneización biótica se vuelve imprescindible en este contexto. Este es un proceso que abarca muchas dimensiones



de la crisis de biodiversidad moderna, ya que implica invasiones y extinciones de especies.

Las investigaciones sobre homogeneización biótica deben avanzar en la dirección de aumentar los estudios en áreas prioritarias para la conservación (puntos críticos de biodiversidad de los trópicos). Además, es necesario implementar estudios de monitoreo a largo plazo en áreas donde se han informado invasiones de especies, para proporcionar una evaluación adecuada de la ocurrencia o no de homogeneización biótica.

Las investigaciones sobre homogeneización biótica son aún muy recientes y, por lo tanto, generan más preguntas que respuestas. Es necesario aclarar, por ejemplo, si la región tropical es más susceptible a la ocurrencia de homogeneización biótica y si este proceso es más rápido o más lento que el observado en áreas templadas.

Comprender la situación actual y proyectar los efectos de la destrucción de hábitats y del cambio climático en el proceso de homogeneización biótica en áreas prioritarias para la conservación es fundamental para establecer acciones mitigadoras.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado con el apoyo de la Coordinación de Perfeccionamiento de Personal de Nivel Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamiento 001, la Fundación Carlos Chagas Filho de Apoyo a la Investigación del Estado de Río de Janeiro (FAPERJ) y la Fundación de Apoyo a la Investigación e Innovación del Estado de Espírito Santo (FAPES). Marcelo Trindade Nascimento cuenta con el apoyo del Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico de Brasil (CNPq: 305617/2018-4) y de la Fundación Carlos Chagas Filho de Apoyo a la Investigación del Estado de Río de Janeiro (FAPERJ E-26/202.855/2018).

Agradecemos a Cristiane Marques Santos y John DuVall Hay por sus críticas y sugerencias al manuscrito.



REFERENCIAS

AGUIRRE-GUTIÉRREZ, J. et al. Long-term droughts may drive drier tropical forests towards increased functional, taxonomic and phylogenetic homogeneity. **NATURE COMMUNICATIONS**, p. 1–10, 2020.

ARAVIND, N. A. et al. Impact of the invasive plant, *Lantana camara*, on bird assemblages at Male Mahadeshwara Reserve Forest, South India. **TROPICAL ECOLOGY**, v. 51, n. 2, SI, p. 325–338, 2010.

ARROYO-RODRÍGUEZ, V. et al. Plant b-diversity in fragmented rain forests: testing floristic homogenization and differentiation hypotheses. **Jornal of Ecology**, v. 101, n. 6, p. 1449–1458, 2013.

CÂMARA, T. et al. Effects of chronic anthropogenic disturbance and rainfall on the specialization of ant–plant mutualistic networks in the Caatinga, a Brazilian dry forest. **Journal of Animal Ecology**, v. 87, n. 4, p. 1022–1033, 2018.

CHARLES S. E. **The Ecology of Invasions by Animals and Plants**. 1. ed. Chicago: Methuen & Co. Ltd. v. 1, 1958.

CONDIT, R. Research in large, long-term tropical forest plots. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 10, n. 1, p. 18–22, 1995.

DÍAZ, S. et al. Pervasive human-driven decline of life on Earth points to the need for transformative change. **Science**, v. 366, n. 6471, 2019.

DIRZO, R. **Tropical Forests BT - Global Biodiversity in a Changing Environment: Scenarios for the 21st Century**. In: CHAPIN, F. S.; SALA, O. E.; HUBER-SANNWALD, E. (Eds.). New York, NY: Springer New York, p. 251–276, 2001

ESCOBAR, F. et al. Plant b-diversity in fragmented rain forests: testing floristic homogenization and differentiation hypotheses. **Jornal of Ecology**, v. 101, p. 1449–1458, 2013.

ESTES, J. A. et al. Trophic downgrading of planet earth. **Science**, v. 333, n. 6040, p. 301–306, 2011.

FEARNSIDE, P. M. The Deforestation of the Brazilian Amazon: 9 – Roads. **Blog Amazônia Real**. 2020.

FINLAYSON, M. et al. **Millennium Ecosystem Assessment Ecosystems and human well-being: wetlands and water synthesis**. Washington, DC.: World Resources Institute, v. 1, 2005.



GARCÍA-NAVAS, V. *et al.* Temporal homogenization of functional and beta diversity in bird communities of the Swiss Alps. **Diversity and Distributions**, v. 26, n. 8, p. 900–911, 2020.

GUIMARÃES, D.; GARRASTAZU, M.; HIGUCHI, N. National System of Permanent Plots: proposal for a methodological model. **Documentos - EMBRAPA Florestas (Brazil)**, p. 67, 2005.

HADDAD, N. M. *et al.* Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. **Advancement of science**, v. 1, n. March, p. 1–10, 2015.

HARRIS, D. J. *et al.* Large trees in tropical rain forests require big plots. **Plants, People, Planet**, v. 3, n. 3, p. 282–294, 2021.

INAGUE, G. M.; ZWIENER, V. P.; MARQUES, M. C. M. Climate change threatens the woody plant taxonomic and functional diversities of the Restinga vegetation in Brazil. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 19, n. 1, p. 53–60, 1 jan. 2021.

INEP. Notas estatísticas do censo da educação do ensino superior 2020. **Censo da Educação Superior**, Brasília MEC, 2022.

JAN, N.; LUDO, V. E. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Cientometrics**, v. 84, p. 523–538, 2010.

KOLAR, C. S.; LODGE, D. M. Progress in invasion biology: predicting invaders. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 16, n. 4, p. 199–204, 2001.

KRAMER, J. M. F.; ZWIENER, V. P.; MÜLLER, S. C. Biotic homogenization and differentiation of plant communities in tropical and subtropical forests. **Conservation Biology**, n. October 2022, p. 1–13, 2022.

LAMBTON, P. W.; LLORET, F.; HULME, P. E. Do non-native species invasions lead to biotic homogenization at small scales? The similarity and functional diversity of habitats compared for alien and native components of Mediterranean floras. **Diversity and Distributions**, v. 14, n. 5, p. 774–785, 2008.

LAURANCE, W. F. *et al.* Rain forest fragmentation and the proliferation of successional trees. **Ecology**, v. 87, n. 2, p. 469–482, 2006.

LEWIS, S. L.; EDWARDS, D. P.; GALBRAITH, D. Increasing human dominance of tropical forests. **Science**, v. 349, n. 6250, p. 827–832, 2015.

LOBO, D. *et al.* Forest fragmentation drives Atlantic forest of northeastern Brazil to biotic homogenization. **DIVERSITY AND DISTRIBUTIONS**, v. 17, n. 2, p. 287–296, 2011.



MARTINEZ, O. J. A. Invasion by native tree species prevents biotic homogenization in novel forests of Puerto Rico. **PLANT ECOLOGY**, p. 1–16, 2010.

MAXWELL, S. L. *et al.* Biodiversity: The ravages of guns, nets and bulldozers. **Nature** **2016 536:7615**, v. 536, n. 7615, p. 143–145, 10 ago. 2016.

MCKINNEY, M. L. On predicting biotic homogenization: Species-area patterns in marine biota. **Global Ecology and Biogeography Letters**, v. 7, n. 4, p. 297–301, 1998.

MCKINNEY, M. L.; LOCKWOOD, J. L. Biotic homogenization: a few winners replacing many losers in the next mass extinction. **TREE**, v. 5347, n. Table 1, p. 450–453, 1999.

MELLO, K. DE *et al.* Multiscale land use impacts on water quality: Assessment, planning, and future perspectives in Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 270, n. June, p. 110879, 2020.

MEYER, J.-Y. *et al.* The importance of novel and hybrid habitats for plant conservation on islands: a case study from Moorea (South Pacific). **BIODIVERSITY AND CONSERVATION**, p. 83–101, 2015.

MITTERMEIER, R. A. *et al.* **Hotspots Revisited: Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions**. 1. ed. Mexico: Conservation International; CEMEX, 392p. p. 2004.

OUZZANI, M. *et al.* Rayyan—a web and mobile app for systematic reviews. **Systematic Reviews**, v. 5, n. 1, p. 210, 5 dez. 2016.

O'DEA, R. E. *et al.* Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses in ecology and evolutionary biology: a PRISMA extension. **Biological Reviews**, v. 96, n. 5, p. 1695–1722, 2021.

OLDEN, J. D.; POFF, N. L. Ecological processes driving biotic homogenization: testing a mechanistic model using fish faunas. **Ecology**, v. 85, n. 7, p. 1867–1875, 2004.

OLDEN, J. D.; ROONEY, T. P. On defining and quantifying biotic homogenization. **Global Ecology and Biogeography**, v. 15, n. 2, p. 113–120, 2006.

OLIVEIRA, F. M. P. *et al.* Effects of increasing aridity and chronic anthropogenic disturbance on seed dispersal by ants in Brazilian Caatinga. **Journal of Animal Ecology**, v. 88, n. 6, p. 870–880, 2019.

PAIN, A. *et al.* What Is Secondary about Secondary Tropical Forest? Rethinking Forest Landscapes. **Human Ecology**, v. 49, n. 3, p. 239–247, 2021.



PARK, D. S.; RAZAFINDRATSIMA, O. H. Anthropogenic threats can have cascading homogenizing effects on the phylogenetic and functional diversity of tropical ecosystems. **ECOGRAPHY**, v. 42, n. 1, SI, p. 148–161, 2019.

PENN, J. L.; DEUTSCH, C. Avoiding ocean mass extinction from climate warming. **Science**, v. 376, n. 6592, p. 524–526, 2022.

PYSEK, P.; RICHARDSON, D. M. The biogeography of naturalization in alien plants. **Jornal of biogeography**, v. 33, p. 2040–2050, 2006.

RAHEL, F. J. Homogenization of fish faunas across the United States. **Science**, v. 288, n. 5467, p. 854–856, 2000.

RAHEL, F. J. Homogenization of freshwater faunas. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 33, p. 291–315, 2002.

REES, M. *et al.* Long-Term Studies of Vegetation Dynamics. **Science**, v. 293, n. 5530, p. 650–655, 2001.

SANAPHRE-VILLANUEVA, L. *et al.* Patterns of plant functional variation and specialization along secondary succession and topography in a tropical dry forest. Patterns of plant functional variation and specialization along secondary succession and topography in a tropical dry forest. **Environmental research Letters**, v. 12, n. 5, 2017.

SFAIR, J. C. *et al.* Taxonomic and functional divergence of tree assemblages in a fragmented tropical forest. **ECOLOGICAL APPLICATIONS**, v. 26, n. 6, p. 1816–1826, 2016.

SILVA, J. M. C. DA; TABARELLI, M. Tree species impoverishment and the future flora of the Atlantic forest of northeast Brazil. **Nature**, v. 404, n. March, p. 72–74, 2000.

SOLAR, R. R. DE C. *et al.* How pervasive is biotic homogenization in human-modified tropical forest landscapes? **Ecology Letters**, v. 18, n. 10, p. 1108–1118, 2015.

TOBY KIERS, E. *et al.* Mutualisms in a changing world: an evolutionary perspective. **Ecology Letters**, v. 13, n. 12, p. 1459–1474, 2010.

TYLIANAKIS, J. M.; TSCHARNTKE, T.; LEWIS, O. T. Habitat modification alters the structure of tropical host–parasitoid food webs. **Nature**, v. 445, n. 7124, p. 202–205, 2007.

URIBE, S. V; GARCÍA, N.; ESTADES, C. F. Effect of Land Use History on Biodiversity of Pine Plantations. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 9, 2021.

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Visualizing Bibliometric Networks. Em: **Measuring Scholarly Impact**. [s.l.] Springer International Publishing, p. 285–320, 2014.



VAN ECK, N.; WALTMAN, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, v. 84, n. 2, p. 523–538, 2010.

ZHANG, Y. M. *et al.* Biotic homogenization increases with human intervention: implications for mangrove wetland restoration. **ECOGRAPHY**, v. 2022, n. 4, 2022.

ZUPIC, I.; ČATER, T. Bibliometric Methods in Management and Organization. **Organizational Research Methods**, v. 18, n. 3, p. 429–472, 2015.

ZWIENER, V. P. Climate change as a driver of biotic homogenization of woody plants in the Atlantic Forest. **Global Ecology and Biogeography**, v. 27, p. 298–309, 2018.

Enviado: 26 de mayo de 2023.

Aprobado: 20 de junio de 2023.

¹ Doctoranda del Programa de Posgrado en Ecología y Recursos Naturales. UENF - Universidad Estatal del Norte Fluminense Darcy Ribeiro - Centro de Ciencias Biológicas y Biotecnología (CBB). Avenida Alberto Lamego 2000 Parque Califórnia 28013620 - Campos dos Goytacazes, RJ - Brasil. Correo electrónico: 201822220001@pq.uenf.br/; pat.marques.s@hotmail.com. ORCID: 0000-0001-9700-796X. Currículo Lattes: <https://lattes.cnpq.br/2743178685516399>.

² Orientador. Profesor Asociado, Jefe del Laboratorio de Ciencias Ambientales (LCA). UENF - Universidad Estatal del Norte Fluminense Darcy Ribeiro - Centro de Ciencias Biológicas y Biotecnología (CBB). Avenida Alberto Lamego 2000 Parque Califórnia 28013620 - Campos dos Goytacazes, RJ - Brasil. Correo electrónico: mtn@uenf.br. ORCID: 0000-0003-4492-3344. Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3704305950005564>.