

Ensayo expositivo

Modelos de distribución de especies, una herramienta para el uso y conservación de la biodiversidad

Species distribution models: a tool for the use and conservation of biodiversity

Jorge Antonio Gómez-Díaz^{1*}, Maite Lascurain-Rangel², Christian Alejandro Delfín-Alfonso¹

¹Instituto de Investigaciones Biológicas
Universidad Veracruzana

²Red de ambiente y Sustentabilidad
Instituto de Ecología A.C.

Autor de correspondencia:

*jorggomez@uv.mx

Recibido: 08-02-2023 Aceptado: 13-04-2026 (Artículo Arbitrado)

Resumen

Ante la crisis de la biodiversidad, los Modelos de Distribución de Especies surgen como herramientas críticas para la conservación y el manejo forestal. Este ensayo analiza la evolución de estas técnicas, desde la cartografía manual hasta los algoritmos de aprendizaje automático, destacando la importancia del nicho ecológico. La metodología empleada consistió en la curación de registros bióticos de bases de datos globales y en la integración de variables bioclimáticas, edáficas y topográficas mediante un enfoque de modelado de ensamble (Ensemble Modelling). Como caso de estudio, se modeló la distribución potencial del cachichín (*Oecopetalum mexicanum*), una especie de alto valor biocultural en la región totonaca. Los resultados revelan áreas de alta idoneidad que trascienden su distribución actual e identifican sitios propicios en San Luis Potosí, Hidalgo, Tabasco, Guatemala y Honduras. Se concluye que el uso de estas herramientas tecnológicas permite transitar de una conservación reactiva a una gestión proactiva, facilitando la identificación de áreas para la restauración, el fortalecimiento de los sistemas agroforestales y la seguridad alimentaria en Mesoamérica. El análisis espacial, apoyado en la disponibilidad de datos abiertos y en la capacidad de cómputo, se posiciona como un pilar fundamental para el diseño de políticas públicas orientadas al desarrollo sostenible y a la preservación del patrimonio natural.

Palabras clave: Cachichín, conservación, ecología, especies amenazadas, *Oecopetalum mexicanum*.

Abstract

In the face of the biodiversity crisis, Species Distribution Models emerge as critical tools for conservation and forest management. This essay analyzes the evolution of these techniques, from manual mapping to machine learning algorithms, highlighting the importance of ecological niche. The methodology involved extracting biotic records from global databases and integrating bioclimatic, edaphic, and topographic variables using an ensemble modeling approach. As a case study, the potential distribution of the cachichín (*Oecopetalum mexicanum*), a species of high biocultural value in the Totonac region, was modeled. The results reveal areas of high suitability that transcend its current distribution, identifying favorable sites in San Luis Potosí, Hidalgo, Tabasco, Guatemala, and Honduras. It is concluded that the use of these technological tools enables a transition from reactive conservation to proactive management, facilitating the identification of restoration areas, strengthening agroforestry systems, and enhancing food security in Mesoamerica. Spatial analysis, supported by the availability of open data and computing capacity, is a fundamental pillar in the design of public policies oriented toward sustainable development and the preservation of natural heritage.

Keywords: Cachichín, conservation, ecology, threatened species, *Oecopetalum mexicanum*.

Introducción

La conservación y el uso sostenible de las especies silvestres –flora y fauna– deben recurrir a múltiples herramientas para conocer las características ambientales idóneas donde estas habitan, con el fin de elaborar estrategias que contribuyan a su conservación. Existen diversas herramientas y métodos que

emplean los científicos para identificar áreas idóneas donde las especies viven y se desarrollan. Uno de los métodos más usados en los últimos años es la modelación de la distribución de especies (MDE o SDM por sus siglas en inglés), un método bien conocido en ecología cuantitativa (Franklin, 2010) y el más utiliza-

do en las evaluaciones de impacto del cambio global para proyectar posibles cambios futuros en los espacios de distribución geográfica de las especies. Los modelos de distribución de especies identifican con alta probabilidad sitios idóneos donde las especies podrían sobrevivir en condiciones similares a las de su hábitat original.

Los modelos de distribución de especies requieren un análisis exhaustivo de las condiciones ambientales que determinan los sitios óptimos para que una especie pueda sobrevivir (la denominada idoneidad ambiental), lo cual incide directamente en la productividad, la toma de decisiones, la planificación de la conservación y el uso sostenible de las especies silvestres o cultivadas. Los modelos de distribución de especies sirven para modelar la distribución geográfica de las especies y fueron descritos teóricamente por Evelyn Hutchinson en 1944 y puestos en práctica desde los años 1990 debido al desarrollo de múltiples algoritmos de modelación.

Desarrollo

El concepto de nicho

Para comprender cómo los MDE logran predecir la presencia de un organismo en el espacio geográfico, es imperativo profundizar en la piedra angular de la ecología moderna: el concepto de nicho ecológico. Aunque el término ha evolucionado desde las observaciones de Grinnell y Elton a principios del siglo XX, fue Hutchinson (1957) quien revolucionó la disciplina al definir el nicho como un hipervolumen de n dimensiones. En este esquema, cada dimensión representa una variable ambiental (temperatura, precipitación, pH del suelo, entre otras) que permite a una especie mantener una tasa de crecimiento poblacional positiva a largo plazo.

Bajo esta perspectiva, resulta fundamental distinguir entre dos estados del nicho que determinan la distribución real de las especies. En primer lugar, encontramos el nicho fundamental. Este representa el espectro total de condiciones ambientales en las que una especie puede sobrevivir y reproducirse en ausencia de interacciones con otros organismos (Hutchinson, 1957). Es, en esencia, el potencial fisiológico de la especie; el “donde podría vivir” si el mundo fuera un laboratorio controlado. Sin embargo, la naturaleza no opera de forma aislada.

En la práctica, la distribución de los organismos está restringida por factores bióticos. Es aquí donde surge el concepto de nicho efectivo (o nicho real). Según explican Soberón y Peterson (2005), el nicho efectivo es la fracción del nicho fundamental que la especie ocupa tras considerar las limitaciones impuestas por la competencia, la depredación, el parasitismo y la presencia de polinizadores o simbiontes necesarios. Mientras que el nicho fundamental está delimitado por la tolerancia abiótica, el nicho efectivo está moldeado por la comunidad biológica circundante.

Esta distinción es crucial para el modelado de distribuciones. Muchos MDE capturan principalmente el nicho climático (una aproximación al fundamental), pero para una conservación efectiva, debemos entender que una especie puede estar ausente de un sitio con clima perfecto simplemente porque un competidor más fuerte ocupa ese espacio o porque su dispersor de semillas ha desaparecido (Soberón y Peterson, 2005). Por lo tanto, el uso de herramientas de modelado no solo implica mapear variables climáticas, sino también interpretar cómo la historia biogeográfica y las interacciones locales filtran el potencial de una especie hasta confinarla a su nicho real.

Evolución histórica

La historia de cómo entendemos la ubicación de la vida sobre la Tierra ha pasado de una observación pasiva a una capacidad predictiva casi matemática. En sus inicios, la biogeografía dependía exclusivamente de los mapas de puntos. Estas eran representaciones manuales en las que naturalistas y exploradores marcaban con una señal física el lugar exacto de recolección de un espécimen. Si bien estos registros, resguardados en herbarios y museos, constituyen la base de la biodiversidad, presentaban una limitación crítica: solo mostraban el “dónde ha estado” de la especie, dejando en blanco las vastas áreas no exploradas (Petersen et al., 2011).

La verdadera transformación comenzó con la integración de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la disponibilidad de datos satelitales. A finales del siglo XX, los investigadores dejaron de ver los puntos como datos aislados para entenderlos como coordenadas vinculadas a capas de información ambiental. Como señalan Guisan y Thuiller (2005), este

cambio de paradigma permitió pasar de un enfoque descriptivo a uno estadístico, en el que el objetivo ya no era solo documentar una presencia, sino inferir las reglas ambientales que rigen dicha presencia.

El salto hacia la complejidad algorítmica ocurrió con el desarrollo de herramientas de aprendizaje automático o machine learning. Pasamos de modelos lineales simples, que asumían relaciones directas entre el clima y la especie, a algoritmos como MaxEnt (Máxima entropía) o Random Forest. Estos modelos son capaces de procesar interacciones no lineales y realizar miles de iteraciones para identificar patrones que el ojo humano no podría detectar en un mapa convencional (Phillips, Anderson y Schapire, 2006).

Hoy en día, el modelado de la distribución de especies no es solo una técnica de escritorio, sino una disciplina dinámica. La evolución ha sido tal que actualmente podemos proyectar estas reglas matemáticas hacia el pasado para entender los refugios glaciares o hacia el futuro para predecir el impacto del cambio climático (Guisan y Thuiller, 2005). En el caso de especies con distribución restringida, esta evolución tecnológica permite que pasemos de simples puntos de avistamiento a mapas que guían decisiones críticas de reforestación y de protección legal.

Funcionamiento de los modelos de distribución de especies

Los modelos de distribución de especies requieren observaciones de biodiversidad georreferenciadas (registros de presencia o colectas científicas) y variables ambientales que pueden ser capas geográficas de información ambiental (como el clima, atributos del suelo, topografía, etc.). Afortunadamente, la mayoría de los datos son de acceso libre; por ejemplo, existen repositorios en línea que proporcionan datos sobre la presencia de las especies, como la plataforma del Servicio Mundial de Información sobre la Biodiversidad y el Sistema de Información sobre la Biodiversidad Oceánica (GBIF y OBIS, por sus siglas en inglés, respectivamente). También hay información sobre el clima de la superficie terrestre (por ejemplo, en las plataformas de WorldClim y CHELSA), así como sobre la cobertura del suelo y otros productos de teledetección, como los de Copernicus, el programa de la Unión Europea para la observación de la Tierra.

Para relacionar las observaciones de la biodiversidad con las condiciones ambientales favorables, se utilizan diferentes algoritmos estadísticos y de aprendizaje automático (p. ej., GLM, GAM, GARP, Bioclim, etc.), entre los cuales el más utilizado en la última década es el de máxima entropía (MaxEnt). La ventaja de este algoritmo es que solo requiere presencias conocidas y puede funcionar especialmente con información incompleta en comparación con otros enfoques de modelación (Elith et al., 2006). MaxEnt ha sido utilizado con éxito para predecir la distribución de diversos organismos como corales pétreos, algas marinas, plantas raras y muchas otras especies (Elith et al., 2006). También se ha utilizado para modelar la distribución de cultivos hortícolas, como el café y el mango. Una vez estimada la relación biodiversidad-medio ambiente, se realizan predicciones espaciales mediante la proyección del modelo con las capas ambientales disponibles y la generación de modelos espacialmente explícitos que ayudan a la toma de decisiones informadas en materia de manejo y conservación de diversas especies y ecosistemas.

Aplicaciones

La principal aplicación de los modelos de distribución de especies es la identificación de las áreas donde habita una especie. Esto puede contribuir a su conservación efectiva, identificando vacíos (zonas donde la especie no está protegida por alguna área natural protegida) y evaluando su estatus de conservación de acuerdo con las leyes mexicanas (NOM-059) o internacionales (lista Roja de la UICN). Un estudio que sirve de ejemplo es el de Raxworthy et al. (2003), en el que los modelos de distribución de especies demostraron una capacidad significativa para predecir la distribución de camaleones en Madagascar. En particular, estos modelos identificaron tres áreas donde se registraron siete especies de camaleones nuevas para la ciencia. Es decir, estos modelos no solo sirven para identificar las áreas de distribución de las especies, sino que también ofrecen un potencial innovador para el descubrimiento de lugares donde habitan especies desconocidas.

Otra utilidad de los modelos de distribución de especies es ayudar en la reintroducción de especies; por ejemplo, D'Elia et al. (2015) los usaron para reintroducir al cóndor de California (*Gymnogyps californicus*).

nianus), identificando grandes áreas de hábitat adecuadas fuera del área de distribución conocida del cóndor y sugiriendo nuevos posibles sitios de reintroducción y recuperación para esta especie. Por último, los modelos de distribución de especies también permiten evaluar la respuesta de los taxones a los cambios meteorológicos y climáticos, identificando las áreas donde una especie puede ser susceptible de desaparecer y las que deberían ser protegidas para facilitar la migración y la adaptación.

Caso de estudio: el cachichín

A modo de ejemplo, construimos un modelo de distribución del árbol llamado “cachichín” (*Oecopetalum mexicanum*), cuyo fruto es comestible y endémico de Mesoamérica, como se muestra en la Figura 1 (Hernández-Urban et al., 2019). Esta especie crece en el ecotono entre el bosque caducifolio y la selva alta subperennifolia, entre 850 y 1100 msnm. El clima donde habita la especie es cálido, húmedo y templado. Se maneja en bosques enriquecidos llamados cachichinales, en los sistemas de café y en los huertos de las casas (Lascurain-Rangel et al., 2013).

Es un árbol que forma parte de la identidad cultural de la región, cuya fruta se seca a la sombra para posteriormente tostarse o hervirse (Figura 2 y Figura 3). Para consumirlo, se extrae la semilla, que tiene un sabor amargo (Lascurain-Rangel et al., 2013). La venta del fruto de cachichín representa un ingreso importante por temporada para muchas familias de la región; su madera tiene una resistencia similar a la del pino; se utiliza como leña y en la construcción de casas. La conservación de esta especie en su hábitat natural está plenamente justificada por su valor etnobiológico.



Figura 1. Fruto del cachichín (*Oecopetalum mexicanum*) tostado y listo para su consumo. **Fuente:** Elaboración propia.

Metodología

El arte de la modelización predictiva

El proceso de construcción de un modelo de distribución de especies es una cadena de decisiones críticas que transforman datos brutos en conocimiento geográfico. Para el estudio del cachichín (*Oecopetalum mexicanum*), la metodología se estructuró en tres fases fundamentales: curación de datos bióticos, selección de variables ambientales y ejecución de modelos de ensamble.



Figura 2. Árbol del cachichín (*Oecopetalum mexicanum*). **Fuente:** Elaboración propia.



Figura 3. Fruto del cachichín (*Oecopetalum mexicanum*). **Fuente:** Elaboración propia.

La base de este estudio se basa en la infraestructura de datos abiertos. Se utilizaron registros de presencia obtenidos a través de la infraestructura GBIF (Global Biodiversity Information Facility), una red internacional que centraliza datos de colecciones biológicas y herbarios. Es notable destacar el creciente peso de la ciencia ciudadana, alimentada por plataformas como iNaturalist, que permiten obtener registros contemporáneos de alta precisión geográfica. Sin embargo, para garantizar la calidad del modelo, se aplicó un protocolo de limpieza estricto utilizando la librería CoordinateCleaner en R, eliminando coordenadas en capitales, centros institucionales o registros con alta incertidumbre espacial (Zizka et al., 2019).

Para definir el nicho se integraron capas de información provenientes de CHELSA (aunque también existen las de WorldClim). Estas bases de datos ofrecen variables “bioclimáticas” que no son meros promedios de temperatura o de lluvia, sino indicadores con significado biológico, como la estacionalidad de la precipitación o la temperatura del trimestre más frío. Dado que el cachichín es una especie arbórea, se añadieron variables de suelo (SoilGrids) y de topografía. Para evitar la redundancia estadística (multicolinealidad), se aplicó un análisis del factor de inflación de la varianza (VIF), seleccionando solo aquellas variables con un valor de VIF inferior a 3, garantizando que cada predictor aporte información única al modelo (Guisan y Thuiller, 2005).

A diferencia de los enfoques tradicionales que dependen de un único algoritmo, esta investigación empleó una técnica de ensamblado (Ensemble Modelling) mediante la librería SSDM. Mientras que algoritmos como MaxEnt (Máxima Entropía) son excepcionales al trabajar únicamente con “registros de presencia” y puntos aleatorios del fondo (background), el uso de un ensamble permite las predicciones de múltiples modelos (GLM, Random Forest, SVM, entre otros). Esto reduce el sesgo individual de cada algoritmo y ofrece una proyección más estable de la idoneidad del hábitat (Phillips et al., 2006).

Resultados y distribución potencial

El modelo final (Figura 4) revela que la distribución potencial del cachichín trasciende los límites de su aprovechamiento actual en Veracruz. Se identificaron zonas de alta idoneidad en los estados de San Luis Potosí, Hidalgo, Puebla, Oaxaca, Tabasco y Chiapas, así como extensiones significativas en Guatemala y Honduras. Resulta de particular interés que regiones como Honduras y Tabasco presenten condiciones óptimas de nicho, pese a la ausencia de registros históricos. Este hallazgo posiciona a *Oecopetalum mexicanum* como un candidato de alto valor para programas de restauración ecológica y de enriquecimiento de sistemas agroforestales, ofreciendo una alternativa para la seguridad alimentaria y la economía local ante los desafíos del cambio climático.



Figura 4. Distribución potencial del cachichín (*Oecopetalum mexicanum*) en México y Mesoamérica.
Fuente: Elaboración propia.

Limitaciones

A pesar del rigor metodológico y el avance de los algoritmos de ensamble, es imperativo reconocer que los modelos de distribución de especies son representaciones simplificadas de una realidad biológica sumamente compleja. Como bien señalaba el estadístico George Box, “todos los modelos están mal, pero algunos son útiles”. En el caso del cachichín (*Oecopetalum mexicanum*), existen tres limitaciones críticas que deben considerarse al interpretar los mapas de idoneidad generados.

La primera limitación radica en la naturaleza de los datos de presencia. Aunque plataformas como el GBIF han democratizado el acceso a la información, los registros suelen sufrir de un “sesgo de proximidad”. Esto ocurre porque los puntos de recolección tienden a concentrarse cerca de carreteras, centros de investigación o zonas de fácil acceso, dejando grandes extensiones de bosque sin muestrear (Zizka et al., 2019). Este vacío de información puede llevar al algoritmo a subestimar el nicho de la especie, interpretando la falta de datos como ausencia de condiciones aptas, cuando en realidad se trata de una falta de exploración humana.

Una segunda restricción es la disponibilidad de variables ambientales. Los modelos suelen depender fuertemente de datos climáticos (temperatura y precipitación) provenientes de fuentes como CHELSA o WorldClim, pero a menudo omiten factores locales determinantes. Para una especie arbórea como el cachichín, la estructura física del suelo, el drenaje y la profundidad de la roca madre son vitales. Asimismo, los modelos rara vez capturan las interacciones bióticas; un sitio puede ser climáticamente perfecto, pero si el dispersor natural de la semilla ha desaparecido o existe una plaga dominante, la especie no prosperará. Esta brecha entre el nicho fundamental y el nicho efectivo (Hutchinson, 1957) es un recordatorio de que el mapa es una guía de potencial, no una garantía de existencia.

Finalmente, los modelos de distribución suelen basarse en variables naturales y omiten el impacto antropogénico inmediato. Un área puede aparecer con alta idoneidad en el modelo, pero si ese ecosistema ha sido transformado en pastizales para ganadería o en zonas urbanas, la predicción pierde validez práctica. Según advierten Guisan y Thuiller (2005), la

integración de capas de “huella humana” y el cambio de uso del suelo es el siguiente paso necesario para que estas herramientas pasen de la teoría académica a la gestión forestal en el territorio. Reconocer estas limitaciones no resta valor al trabajo; por el contrario, fortalece la interpretación de los resultados al establecer un marco de realidad para los tomadores de decisiones.

Conclusiones

La integración de los modelos de distribución de especies en la toma de decisiones representa un cambio de paradigma en la conservación biológica. Los avances tecnológicos contemporáneos, caracterizados por una capacidad de cómputo sin precedentes y por la precisión de los sistemas de posicionamiento global (GPS), han democratizado el análisis espacial. Lo que antes era un ejercicio puramente teórico, hoy es una herramienta de precisión para el diseño de paisajes resilientes. Como se ha demostrado a lo largo de este ensayo, los MDE no son solo mapas estadísticos; son brújulas estratégicas que permiten anticipar las respuestas de la flora ante un entorno cambiante.

La contribución de estas herramientas al manejo de la biodiversidad es multidimensional. En primer lugar, permiten una priorización científica de las áreas naturales protegidas, identificando núcleos de biodiversidad que podrían pasar desapercibidos bajo criterios de conservación tradicionales. En segundo lugar, resultan fundamentales para la gestión de bancos de germoplasma, al señalar las regiones con mayor diversidad genética o aquellas en las que las poblaciones enfrentan un mayor riesgo de extinción local por estrés climático.

Desde la perspectiva de las políticas públicas, el modelado del cachichín (*Oecopetalum mexicanum*) ejemplifica cómo la ciencia de datos puede traducirse en bienestar social. La identificación de nuevas áreas de cultivo en estados como San Luis Potosí u Honduras no es solo un hallazgo biogeográfico, sino también una oportunidad para la seguridad alimentaria y la diversificación económica. Al fomentar la expansión de sistemas agroforestales basados en especies nativas, se promueve una economía rural que no compite con la conservación, sino que se nutre de ella.

En conclusión, es imperativo que estas herramientas dejen de ser exclusivas de la academia y se

integren plenamente en la gobernanza ambiental. La implementación de políticas públicas informadas por modelos de nicho permitirá transitar de medidas reactivas a estrategias proactivas. El futuro de la conservación en México y Mesoamérica dependerá de nuestra capacidad para armonizar el uso de los recursos naturales con las proyecciones tecnológicas, asegurando que especies de alto valor biocultural, como el cachichín, sigan siendo pilares del patrimonio natural y alimentario de la región.

Referencias

- D'Elia, J., Haig, S.M., Johnson, M., Marcot, B.G., Young, R., 2015. Activity-specific ecological niche models for planning reintroductions of California condors (*Gymnogyps californianus*). *Biol Conserv* 184, 90–99. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.01.002>
- Elith, J., Graham, C.H., Anderson, R.P., Dudík, M., Ferrier, S.S., Guisan, A., Hijmans, R.J., Huettmann, F., Leathwick, J.R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L.G., Loiselle, B.A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J., Townsend Peterson, A., Phillips, S.J., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R.E., Soberón, J., Williams, S., Wisz, M., Zimmermann, N.E., (2006). Novel methods improve the prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29, 129–151. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x>
- Franklin, J. (2010). Mapping species distributions: spatial inference and prediction.
- Guisan, A. y Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*. Vol. 8(9). 993–1009.
- Hernández-Urban, H.A., Angulo, D.F., Lascurain-Rangel, M., Avendaño-Reyes, S., Can, L.L., Stull, G., Duno, R., 2019. Systematics and phylogeny of *Oecopetalum* (Metteniusaceae), a genus of trees endemic to North and Central America. *Rev Biol Trop* 67, 888–900. <https://doi.org/10.15517/rbt.v67i4.33367>
- Hutchinson, G.E. (1957). Concluding Remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*. Vol. 22. 415–427.
- Lascurain-Rangel, M., Avendaño-Reyes, S., López-Binnqüist, C., López-Acosta, J.C., Covarrubias-Báez, M., Duno-De Stefano, R. (2013). Uso y flora leñosa asociada a *Oecopetalum mexicanum* (Icacaceae): una especie comestible nativa de la Sierra de Misantla, Veracruz, México. *Bot Sci* 91, 477–484.
- Petersen, A.T., Soberón, J., Pearson, R.G., Anderson, R.P., Martínez-Meyer, E., Blair, M. y Araujo, M.B. (2011). *Ecological Niches and Geographic Distributions*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P., & Schapire, R.E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*. Vol. 190(3-4). 231–259.
- Raxworthy, C.J., Martínez-Meyer, E., Horning, N., Nussbaum, R.A., Schneider, G.E., Ortega-Huerta, M.A., Townsend Peterson, A. (2003). Predicting distributions of known and unknown reptile species in Madagascar. *Nature* 426, 837–841. <https://doi.org/10.1038/nature02205>
- Soberón, J. y Peterson, A.T. (2005). Interpretation of Models of Fundamental Ecological Niches and Species' Distributional Areas. *Biodiversity Informatics*. Vol. 2. 1–10.
- Zizka, A., Silvestro, D., Andermann, T., Azevedo, J., Duarte Ritter, C., Edler, D., Farooq, H., Herdean, A., Ariza, M., Scharn, R., Svanteson, S., Wengström, N., Zizka, V., & Antonelli, A. (2019). CoordinateCleaner: Standardized cleaning of occurrence records from biological collection databases. *Methods in Ecology and Evolution*. Vol. 10(7). 1144–1151.