

Complementando inventarios biológicos con datos abiertos a través de un método semiautomatizado

Sergio A. Cabrera-Cruz ^{1, *};  <https://orcid.org/0000-0001-8742-4719>

José Luis Aguilar-López ¹;  <https://orcid.org/0000-0002-1784-9524>

Rafael Villegas Patraca ¹;  <https://orcid.org/0000-0003-4403-2613>

1. Unidad de Servicios Profesionales Altamente Especializados (USPAE), Instituto de Ecología A.C. (INECOL), Carretera antigua a Coatepec esquina Camino a Rancho Viejo 1, Coatepec, Veracruz, 91520, México. sergio.cabrera@inecol.mx (*Correspondencia), jose.aguilar@inecol.mx, rafael.villegas@inecol.mx.

ABSTRACT

Introduction: Surveys are the best way to document the biological richness of any given place, but efforts to do so can be limited. We asked whether the species richness documented through field work can be complemented with open data from digital platforms. **Objective:** To analyze whether species occurrence data available in the *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF) can complement species lists reported in the literature that were obtained through field work. **Methods:** We compared bird species lists published in peer-reviewed articles and those generated with information from GBIF for the same study areas using the Sorensen dissimilarity index (β_{sor}) and its two components (turnover β_{sim} and nestedness β_{sne}). **Results:** GBIF reported more species ($n = 26 - 232$) than 14 of the 24 lists consulted, but fewer ($n = 12 - 114$) than the other 10. The sum of species documented by both sources contains up to 246 species more than the number of species reported individually, highlighting the magnitude of species richness that can be gained by combining information from both sources. β_{sor} ranged between 0.15 – 1, showing that there always were differences between species lists. In no instance $\beta_{\text{sim}} = 0$ or $\beta_{\text{sne}} = 1$, indicating that one source of information always listed species absent in the other source and that species nestedness between sources of information was never total. **Conclusion:** Species occurrences available in GBIF can complement the information collected in the field but this in turn can also complement the records of GBIF, so we highlight the importance of continuing documenting the biological richness through field work, especially in little explored areas. We provide R code that can be adapted to download and clean GBIF data for any biological group and place.

Key words: biodiversity; biodiversity informatics; biological inventories; citizen science; GBIF; open data; species composition.

RESUMEN

Introducción: Los muestreos directos constituyen la mejor manera de documentar la riqueza biológica de un lugar, pero pueden verse limitados por diversas circunstancias. Nos preguntamos si la riqueza de especies documentada en campo puede ser complementada con datos de plataformas digitales de biodiversidad. **Objetivo:** Analizar si los datos de ocurrencia de especies disponibles en la *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF) pueden complementar listados de especies creados con trabajo de campo y reportados en la literatura. **Métodos:** Comparamos listados de especies de aves disponibles en publicaciones académicas con aquellos generados usando información de GBIF para las mismas áreas de estudio utilizando el índice de disimilitud de Sorensen (β_{sor}) y sus dos componentes (recambio β_{sim} y anidamiento β_{sne}). **Resultados:** GBIF reporta más especies ($n = 26 - 232$) que 14 de 24 listados consultados, pero menos ($n = 12 - 114$) que los otros 10. La suma de especies documentadas entre fuentes contiene hasta 246 más que las reportadas individualmente por cada una, resaltando la magnitud de riqueza de especies que puede ganarse al combinar información de ambas fuentes. β_{sor} osciló entre 0.15 – 1, mostrando que siempre hubo diferencias entre los listados comparados. En ningún caso $\beta_{\text{sim}} = 0$ ni $\beta_{\text{sne}} = 1$, indicando que una fuente de información siempre listó especies ausentes en la otra y que el anidamiento de especies entre fuentes de información nunca fue total. **Conclusiones:** Los registros de ocurrencia de especies disponible en GBIF puede complementar la información recopilada en campo, pero ésta a su vez puede complementar los registros de GBIF, por lo que resaltamos la importancia de continuar documentando la riqueza biológica a través de trabajo de campo, especialmente en áreas poco exploradas. Proporcionamos código de R que puede ser adaptado para descargar y limpiar datos de GBIF de cualquier grupo biológico y lugar.

Palabras clave: Biodiversidad, ciencia ciudadana, composición de especies, datos abiertos, GBIF, informática de biodiversidad, inventarios biológicos.

Total de palabras: 6571

INTRODUCCIÓN

Obtener conocimiento detallado de la riqueza biológica de una región requiere de una inversión importante de tiempo, esfuerzo y recursos económicos (Escobar et al., 2009). Por ejemplo, para estimar la riqueza avifaunística de lugares que son parte del sistema de migración de aves Neártico - Neotropical, es necesario realizar observaciones durante al menos un año para considerar la presencia temporal de especies migratorias. De manera similar, la baja detección de especies elusivas en regiones megadiversas, aún sean residentes permanentes, hace necesaria la realización de monitoreos de largo plazo. Por ejemplo, tres años de monitoreos mensuales de murciélagos con redes de niebla y grabaciones acústicas en el Istmo de Tehuantepec fueron insuficientes para caracterizar a toda la comunidad, ya que algunas especies sólo fueron registradas como cadáveres al pie de aerogeneradores (Cabrera-Cruz et al. *en revisión*).

Las curvas de acumulación de especies, aunadas a estimadores de riqueza, son herramientas que permiten estimar tanto la completitud de inventarios biológicos como el número adicional de especies que se podría esperar encontrar en un área de estudio (Colwell et al., 2004; Magurran, 2004). Con frecuencia, estas herramientas indican que los inventarios están incompletos a pesar de esfuerzos de muestreo importantes. Por ejemplo, monitoreos de aves mensuales durante casi dos años en tres sitios al norte de México arrojaron valores de completitud de 80% (Castillo-Muñoz y Guzmán-Hernández, 2021). Si bien se puede considerar que un inventario con ese nivel de completitud es representativo de la diversidad avifaunística del área de estudio, también ejemplifica el nivel de esfuerzo necesario para lograr dicha representatividad.

No siempre es posible realizar un esfuerzo de muestreo intensivo. Diversas circunstancias pueden conducir a realizar muestreos o monitoreos durante un periodo menor al deseado (e.g. restricciones económicas, materiales, temporales, o de capital humano), o bien puede existir la necesidad de recopilar información prospectiva antes de implementar protocolos de trabajo de campo. En estos casos suele recurrirse a búsquedas bibliográficas o a trabajo de campo restringido temporal y/o espacialmente (e.g. pocos muestreos durante un periodo limitado, o muestreos en una porción limitada del área de interés). Cualquiera de estas situaciones tiene como consecuencia una caracterización biótica incompleta o parcial.

Una alternativa para complementar estos métodos es el uso de datos abiertos disponibles en plataformas digitales de biodiversidad. Gracias al esfuerzo de instituciones como la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) en México y otras similares alrededor del mundo (Urquiza-Haas et al., 2015), actualmente contamos con sistemas de información sobre biodiversidad que recopilan, curan, concentran y ponen a disposición del público información geográfica sobre la ocurrencia de especies, dando pie a la informática de la biodiversidad (Soberón y Peterson, 2004). Adicionalmente, en las últimas décadas han surgido diversas iniciativas de ciencia ciudadana o comunitaria a través de las cuales miembros del público general registran sus observaciones de vida silvestre en páginas de internet o aplicaciones para dispositivos móviles. En México, la CONABIO coordina *naturalista* (<https://www.naturalista.mx/>; CONABIO, 2020) donde usuarios pueden registrar registros fotográficos de animales o plantas y que es parte de la red *iNaturalist* (<https://www.inaturalist.org/sites/network>), así como *aVerAves* (<https://ebird.org/averaves/home>; CONABIO, 2020), donde observadores de aves registran sus avistamientos alimentando la plataforma de cobertura global *eBird* (<https://ebird.org/home>). Estas y otras iniciativas de ciencia ciudadana, así como agencias gubernamentales e instituciones educativas y de investigación de múltiples países, comparten su información sobre biodiversidad con la *Global Biodiversity*

Information Facility (GBIF), contribuyendo de manera importante al acervo de información biológica disponible de manera digital y convirtiéndola en la mayor colección de registros sobre biodiversidad a nivel global almacenados bajo un formato común (Chandler et al., 2017; Soberón, 2022).

Al recibir información de diversas fuentes como museos, colecciones biológicas y datos históricos, GBIF guarda registros de especies fósiles, especies que ya no se encuentran en el área donde fueron originalmente registradas, o simplemente que tienen su nomenclatura taxonómica desactualizada. Por tal motivo es necesario realizar una curación de los registros descargados de dicha plataforma. Contar con un método estandarizado y semiautomatizado que permita el acceso a datos de GBIF facilitaría la recopilación y uso de información de biodiversidad.

En este trabajo nos preguntamos si la información disponible en GBIF puede complementar los inventarios biológicos realizados a través de monitoreos y muestreos en campo, utilizando a las Aves como caso de estudio. Para responder esta pregunta, comparamos la complementariedad de listados de especies publicados en artículos arbitrados con aquellos generados con información disponible en GBIF para las mismas áreas de estudio. Además, proporcionamos como material suplementario el código de R desarrollado para 1) obtener registros de ocurrencias de especies para cualquier área de interés, accediendo a GBIF, 2) limpiar dichos registros de posibles errores geográficos y de nomenclatura, y 3) generar listados de especies. Este código puede ser adaptado fácilmente para descargar registros de ocurrencias de cualquier lugar y grupo taxonómico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Realizamos una búsqueda de literatura dirigida para localizar artículos arbitrados que proporcionaran listados de especies de aves generados para áreas de estudio al interior de México. De cada artículo extrajimos la lista de especies reportada por los autores. En casos donde los listados fueron complementados a través de búsquedas de literatura, nos aseguramos de tomar únicamente los registros de especies identificadas a través de trabajo de campo. Además, extrajimos las coordenadas de la o las áreas de estudio de cada artículo; en casos en que las coordenadas no fueron reportadas o que la ubicación resultante no coincidiera con la mostrada en las figuras del área de estudio de los artículos, estimamos las coordenadas usando como guía dichas figuras. Utilizamos las coordenadas extraídas de los artículos, o las estimadas con sus figuras de estudio, para generar polígonos dentro de los cuales buscar ocurrencias de especies en GBIF. La cantidad de pares de coordenadas disponibles o estimadas de los artículos varió entre 1 y 6 (i.e. un sólo punto y un polígono irregular de 6 aristas). Para el caso de áreas de estudio identificadas por un sólo punto, generamos áreas (*buffers*) cuasi-circulares con un radio de 2.5 km. Para el caso de áreas de estudio definidas por dos pares de coordenadas generamos el polígono rectangular mínimo alrededor del área de estudio (*bounding box*). Para áreas de estudio con >2 pares de coordenadas, generamos el polígono correspondiente.

Una vez replicadas las áreas de estudio, utilizamos la función ‘*occ_download*’ del paquete ‘*rgbif*’ (Chamberlain et al., 2022) en el lenguaje de programación R versión 4.3.0 (R Core Team, 2023), para descargar de GBIF registros de aves al interior del polígono de cada área de estudio. Para esto proporcionamos a la función las coordenadas de cada polígono en formato WKT y especificamos que los registros a buscar 1) deberían ser de Aves, 2) deberían estar georeferenciados, 3) su información geoespacial no debería tener problemas, 4) deberían haber sido realizados después del año 1900, 4) deberían ser de individuos presentes al interior del

polígono y 5) no deberían incluir registros fósiles. En el material suplementario se muestra la estructura del código utilizado y la manera en que estos argumentos fueron especificados.

La calidad de los datos disponibles en GBIF varía de acuerdo su fuente de origen en tres dimensiones principales: temporal, espacial, y taxonómica (Jin y Yang, 2020). Por ejemplo, los datos provenientes de una colección biológica depositada en algún museo pueden tener fechas de recolección incorrectas, errores en las coordenadas geográficas, nombres científicos desactualizados, entre otros. Además, debido a que GBIF concentra información de diversas fuentes, es común que existan registros de especies duplicados para una misma región. Por este motivo, revisamos y limpiamos los registros descargados de GBIF utilizando el paquete de R 'bdc' (Ribeiro et al., 2022a) siguiendo el protocolo descrito por Ribeiro et al. (2022b).

En resumen, el protocolo de limpieza de datos descargados de GBIF se divide en 4 grandes pasos (Ribeiro et al., 2022b). En primer lugar, se realiza un prefiltrado para detectar y eliminar registros sin nombre científico, sin coordenadas o con coordenadas erróneas, o de naturaleza que no sea de interés para un listado de especies actuales en el área de estudio (e.g. fósiles), entre otros. En segundo lugar, se realiza una revisión taxonómica para asegurarse de que todos los registros tengan un nombre científico actualizado. Este paso identifica registros cuyos nombres científicos no pudieron ser identificados o actualizados por 'bdc'; en caso de ocurrir, este tipo de registros los revisamos y cotejamos manualmente con los nombres reconocidos por el listado de aves de Norte y Centro América hasta su 63° suplemento (Chesser et al., 2022) y en caso de ser reconocidos por esa autoridad taxonómica los mantuvimos en los listados. Una consideración importante al usar datos de GBIF y otras bases de datos de biodiversidad es que las coordenadas geográficas de los registros de especies pueden ser inexactas (Maldonado et al., 2015). Por ejemplo, registros antiguos pudieron ser referenciados con el nombre de la localidad de observación y no con coordenadas, o bien no existe mayor referencia que el país de registro; el problema surge en que al ser digitalizados, este tipo de registros pueden recibir las coordenadas del centroide geográfico del país o localidad de registro, o de la institución que alberga o digitalizó la observación (Zizka et al., 2019). Por tanto, el tercer paso consiste en una validación espacial de los registros; por ejemplo, que sus coordenadas no correspondan con la ubicación de museos, colecciones, o alguna otra institución reconocida. El último paso consiste en una validación temporal que identifica registros sin fecha o año de observación; además, es posible especificar la antigüedad de los registros a considerar (e.g. eliminar registros previos a cierto año). Después de aplicar este protocolo a los datos descargados para cada área de estudio, eliminamos registros duplicados, generando así un listado de especies únicas reportadas en cada área.

Desde el año 2002, la nomenclatura taxonómica de las Aves de Norte y Centro América es revisada y actualizada anualmente (<https://americanornithology.org/publications/north-and-middle-american-checklist/>). Debido a que los artículos encontrados en nuestra búsqueda fueron publicados a lo largo de 3 décadas (1991 – 2022), sus listados fueron elaborados siguiendo normas taxonómicas distintas. Por tanto, a los listados disponibles en artículos les aplicamos el mismo protocolo de revisión y actualización taxonómica descrito arriba.

La actualización de nomenclatura taxonómica de los datos descargados de GBIF identificó un total de 477 registros a nivel de subespecie. En comparación, el mismo método de actualización sugirió tan sólo tres subespecies de entre todas las especies reportadas en los artículos consultados. Para comparar listados usando el mismo nivel taxonómico, eliminamos de los registros de GBIF aquellas subespecies cuyas especies estuvieran incluidas en el mismo listado (e.g. en caso de que un listado generado con datos de GBIF estuviera reportada

Sporophila torqueola y *S. t. morelleti*, sólo dejamos la primera). Además, revisamos si alguna de las subespecies en cada listado generado con GBIF estaba reportada a nivel de especie en los listados de los artículos correspondientes; en caso de ser así, para que la comparación pudiera realizarse a nivel de especie, eliminamos del registro del GBIF el epíteto infraespecífico.

Finalmente, comparamos los listados de especies reportados en cada publicación con los descargados de GBIF con el índice de disimilitud de Sorensen (β_{sor}) y sus dos componentes (recambio β_{sim} y anidamiento β_{sne}) utilizando la función 'beta.pair' del paquete de R 'betapart' (Baselga et al., 2022). Elegimos el índice de Sorensen porque tanto éste mismo como sus componentes responden de manera lineal al traslape gradual en la composición de especies de las muestras comparadas, facilitando su interpretación (MacGregor-Fors et al., 2022).

Resultados

Encontramos 22 artículos arbitrados publicados entre 1991 y 2022 que reportan listados de aves obtenidos a través de trabajo de campo en México (Tabla 1); uno de ellos reportó coordenadas y listados para tres localidades distintas (Mellink, 1991), por lo que obtuvimos un total de 24 listados para igual número de áreas de estudio. Después de limpiar y depurar los listados publicados, el número mínimo y máximo de especies reportadas como registros en campo varió entre 45 y 245. GBIF no contó con registros de aves para tres de las 24 áreas de estudio; por tanto, el menor número de especies disponibles en esa plataforma para las áreas de estudio fue de 0, pero el mayor fue de 435 (Tabla 1).

TABLA 1 / TABLE 1

Comparación de la riqueza de especies entre listados obtenidos de dos fuentes de información para las mismas áreas de estudio, e índices de disimilitud en la composición de especies. / Comparison of species richness between lists obtained from two sources of information for the same study areas, and dissimilarity indices in the composition of species.

ID*	Spp. Artículo		Spp. GBIF		Especies		Diferencia	Disimilitud			GBIF DOI
	Total	Únicas	Total	Únicas	Compartidas	Suma		β_{sor}	β_{sim}	β_{sne}	
1	52	52	2	2	0	54	50	1	1	0	doi.org/10.15468/dl.vumns4
2	45	43	3	1	2	46	42	0.92	0.33	0.58	doi.org/10.15468/dl.jdze7e
3	79	74	30	25	5	104	49	0.91	0.83	0.07	doi.org/10.15468/dl.5p6qtd
4	124	116	10	2	8	126	114	0.88	0.2	0.68	doi.org/10.15468/dl.x5mp7d
5	50	1	281	232	49	282	-231	0.7	0.02	0.68	doi.org/10.15468/dl.8wev58
6	56	1	275	220	55	276	-219	0.67	0.02	0.65	doi.org/10.15468/dl.b4zx6z
7	50	12	153	115	38	165	-103	0.63	0.24	0.39	doi.org/10.15468/dl.sbezde
8	90	65	42	17	25	107	48	0.62	0.4	0.22	doi.org/10.15468/dl.jawt3k
9	133	14	365	246	119	379	-232	0.52	0.11	0.42	doi.org/10.15468/dl.523w8z
10	108	12	230	134	96	242	-122	0.43	0.11	0.32	doi.org/10.15468/dl.ev9km8
11	160	16	339	195	144	355	-179	0.42	0.1	0.32	doi.org/10.15468/dl.r7ppcb
12	225	30	435	240	195	465	-210	0.41	0.13	0.28	doi.org/10.15468/dl.fvcun6
13	114	33	140	59	81	173	-26	0.36	0.29	0.07	doi.org/10.15468/dl.mu8xu3
14	128	24	192	88	104	216	-64	0.35	0.19	0.16	doi.org/10.15468/dl.qmyv7y
15	213	12	368	167	201	380	-155	0.31	0.06	0.25	doi.org/10.15468/dl.23ynr6
16	129	29	161	61	100	190	-32	0.31	0.22	0.09	doi.org/10.15468/dl.xbnce2
17	137	15	211	89	122	226	-74	0.3	0.11	0.19	doi.org/10.15468/dl.axwr94
18	227	57	207	37	170	264	20	0.22	0.18	0.04	doi.org/10.15468/dl.74auta
19	152	3	224	75	149	227	-72	0.21	0.02	0.19	doi.org/10.15468/dl.usmxk3
20	245	24	284	63	221	308	-39	0.16	0.1	0.07	doi.org/10.15468/dl.fkw4zw
21	124	24	112	12	100	136	12	0.15	0.11	0.05	doi.org/10.15468/dl.df63bj
22	61	61	0	0	0	61	-61	-	-	-	doi.org/10.15468/dl.3gbpst
23	56	56	0	0	0	56	-56	-	-	-	doi.org/10.15468/dl.4w3yth
24	93	93	0	0	0	93	-93	-	-	-	doi.org/10.15468/dl.gdbmhd

ID: ¹Mellink (1991) localidad Las Joyas, ²Arellano-Delgado et al. (2018), ³Castillo-Guerrero et al. (2009), ⁴Rojas-Soto et al. (2009), ⁵MacGregor-Fors, Gómez-Martínez, et al. (2022), ⁶MacGregor-Fors y Schondube (2011), ⁷Ugalde-Lezama et al. (2010), ⁸Martínez-Morales et al. (2013), ⁹Ramírez-Albores (2006), ¹⁰Ruiz-Campos y Rodríguez-Meraz (1997), ¹¹Ramírez-Albores et al. (2018), ¹²Ramírez-Albores (2010), ¹³Bojorges-Baños y López-Mata (2006), ¹⁴Ramírez-Albores (2007), ¹⁵Santiago-Alarcon et al. (2011), ¹⁶Ramírez-Albores (2013), ¹⁷Canales-Delgadillo et al. (2020), ¹⁸Manzano-Fischer et al. (2006), ¹⁹Castillo-Muñoz y Guzmán-Hernández (2021), ²⁰Sahagún-Sánchez et al. (2021), ²¹Adame et al. (2019), ²²Mellink (1991) localidad Las Canteras, ²³Mellink (1991)

localidad San Antonio, ²⁴Gómez-Moreno et al. (2022). Leyendas: Spp. Artículo = Número de especies publicadas en artículos; Spp. GBIF = Número de especies registradas en GBIF. Total = Número total de especies en los listados; Únicas = número de especies no compartidas entre fuentes; Compartidas = número de especies reportadas en ambas fuentes; Suma = Número de especies únicas reportadas entre ambas fuentes; Diferencia = Número total de especies reportadas en artículos menos el total reportado en GBIF, por lo que números negativos indican mayor número de especies en GBIF. β_{sor} = Índice de disimilitud de Sorensen, β_{sim} y β_{sne} = Recambio y anidamiento de especies respectivamente. La tabla está ordenada de acuerdo al valor decreciente de β_{sor} . La columna GBIF DOI contiene el enlace al sitio desde donde se pueden volver a descargar los datos de cada área de estudio. Legend: Spp. Artículo = Number of species in the published papers; Spp. GBIF = Number of species documented in GBIF. Total = total number of species listed; Únicas (unique) = number of species not shared between sources; Compartidas (shared) = number of species reported by both sources; Suma (sum) = Number of unique species reported between both sources; Diferencia (difference) = Total number of species reported in papers minus total number of species reported in GBIF, so that negative values indicate higher species number in GBIF. β_{sor} = Sorensen dissimilarity index, β_{sim} and β_{sne} = Species turnover and species nestedness respectively. This table is ordered according to the decreasing value of β_{sor} . The GBIF DOI column contains a link to the site where the occurrence of species data can be downloaded again for each study area.

GBIF documentó la presencia de entre 26 – 232 especies más que las reportadas en artículos para 14 de las áreas de estudio (Tabla 1 y Fig. 1A), evidenciando el potencial de la plataforma para complementar inventarios avifaunísticos. Por otro lado, los listados publicados en artículos para 10 de las áreas de estudio contuvieron entre 12 – 114 especies más que las registradas en GBIF (Tabla 1 y Fig. 1A), resaltando el valor de los muestreos en campo para continuar documentando la riqueza biológica de áreas poco exploradas.

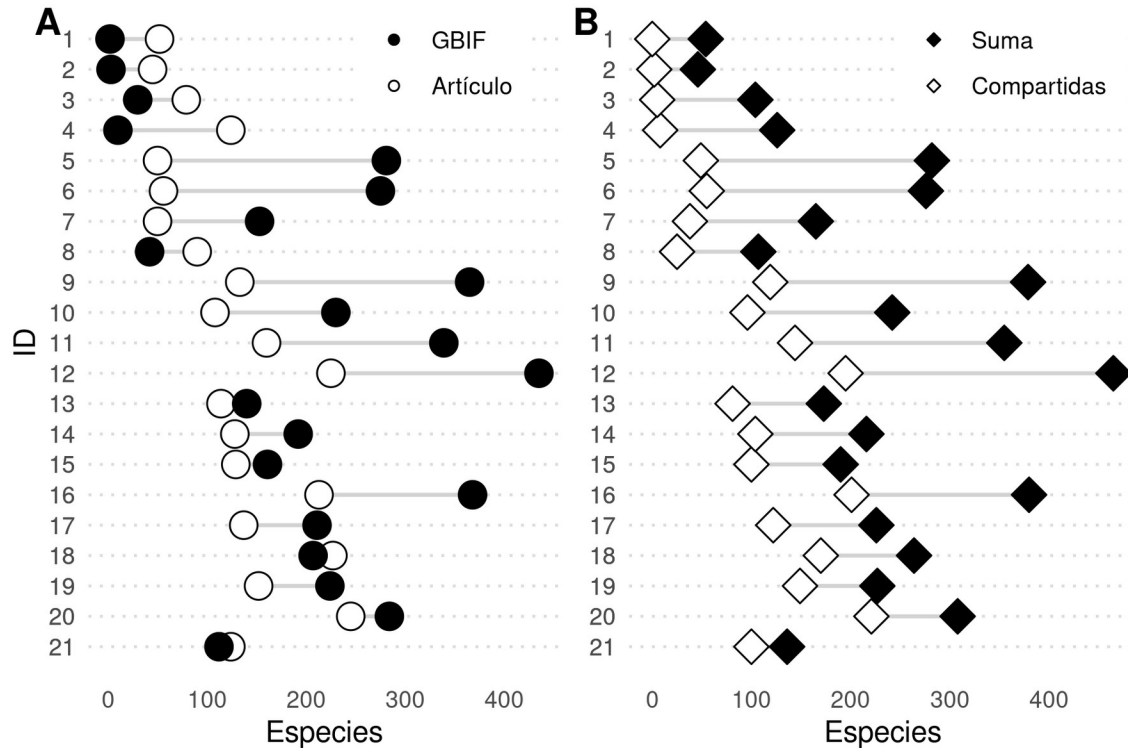


Fig. 1. A. Número de especies listadas en artículos y en GBIF para cada área de estudio para las cuáles se pudieron realizar comparaciones. **B.** Número de especies reportadas en ambas fuentes (compartidas) y suma de especies únicas reportadas entre ambas fuentes, ilustrando la riqueza adicional obtenida al combinar información entre fuentes. El eje Y se corresponde con el código ID en la Tabla 1.

Fig. 1. Number of species listed in papers and in GBIF for each study area for which comparisons could be made. **B.** Number of species reported in both sources (shared) and sum of unique species reported between both sources, illustrating the additional richness obtained when combining information from both sources. Values in the Y axis corresponds with the ID code in Table 1.

El número de especies registradas exclusivamente en los listados de los artículos varió entre 1 y 116, mientras que el número de especies registradas exclusivamente de GBIF, varió entre 0 y 246 (Tabla 1). Puesto de otra manera, los datos de GBIF aportaron hasta 246 especies a los listados reportados en los artículos consultados, mientras que las especies reportadas en publicaciones aportaron hasta 116 especies adicionales a las documentadas en GBIF (Fig. 1B).

El índice de disimilitud de Sorensen (β_{sor}) para las 21 áreas de estudio para las que GBIF tuvo especies registradas varió entre 0.15 y 1 (Tabla 1), mostrando que siempre hubo diferencias en la composición de especies entre listados. El valor menor de β_{sor} (= 0.15) se desprendió de la comparación entre los listados con la menor diferencia en su número de especies (124 en el artículo, 112 en GBIF; Tabla 1, ID 21); a pesar del similar número de especies reportadas para esa área en particular, la disimilitud estuvo explicada principalmente por recambio de especies (Fig. 2), mostrando una vez más la complementariedad entre fuentes de información. Por otro lado, el valor mayor de β_{sor} (= 1) indica

que GBIF documentó para un área especies completamente distintas a las reportadas en el artículo. Además, β_{sim} (recambio) nunca fue 0 indicando que una fuente de información siempre listó especies que no estuvieron reportadas en la otra. De manera similar, β_{sne} nunca alcanzó un valor de 1, indicando que el anidamiento de especies entre fuentes de información nunca fue total.

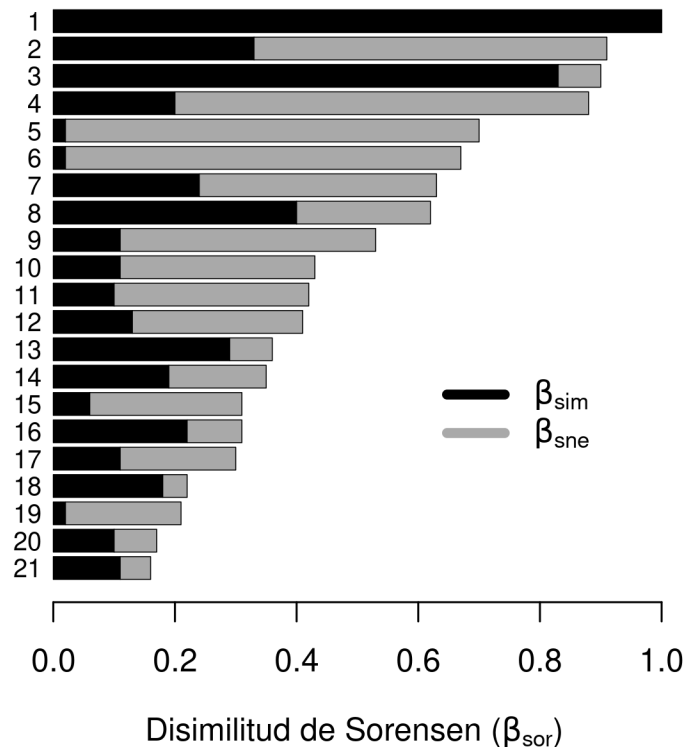


Fig. 2. Disimilitud total en la composición de especies (β_{sor} , barras enteras) entre listados publicados y aquellos generados con datos de GBIF. La porción negra y gris de cada barra representa la disimilitud por recambio de especies (β_{sim}) y por anidamiento (β_{sne}) respectivamente. Cada barra corresponde a un área de estudio, el eje Y hacen referencia al código ID en la Tabla 1.

Fig. 2. Total dissimilarity in species composition (β_{sor} , full bars) between published lists and those generated with GBIF data. The black and gray portions of each bar represent dissimilarity by species turnover (β_{sim}) and by nestedness (β_{sne}) respectively. Each bar corresponds to a study area, values in the Y axis refer to the ID code in Table 1.

DISCUSIÓN

La cantidad de especies reportadas para cada una de las áreas de estudio fue mayor al combinar la información disponible en los artículos y en GBIF que al considerar los registros de una sola fuente de información. De hecho, los registros disponibles en GBIF contribuyeron con hasta 246 especies a los listados reportados en los artículos. Por tanto, la información disponible en GBIF puede complementar con un número importante de especies la colectada a través de muestreos y monitoreos en campo.

Utilizar datos disponibles en GBIF para complementar esfuerzos de muestreo permite aprovechar el tiempo, esfuerzo y los recursos invertidos por instituciones nacionales y académicas para recolectar información. Por ejemplo, el costo promedio absorbido por CONABIO para adquirir datos primarios de biodiversidad es de aproximadamente \$5,500 dólares americanos por proyecto apoyado (Soberón, 2022) y el costo promedio por digitalizar esa información para hacerla disponible a través plataformas es de 8 dólares (Jiménez et al., 2016). GBIF también reúne datos recolectados por personas físicas. Actualmente, los registros de biodiversidad provenientes de plataformas de ciencia ciudadana

representan al menos 60% de las observaciones disponibles en GBIF (Groom et al., 2017), rebasando la cantidad de información generada a través de esfuerzos académicos formales. Por tal motivo, la información concentrada en GBIF es resultado de la suma de inversiones hechas por múltiples actores, por lo que puede contener registros de especies raras o poco comunes que monitoreos formales realizados por profesionales podrían no registrar (e.g. Zhou et al., 2020; cit. por Ding et al., 2022).

Si bien se ha cuestionado la validez o el rigor de observaciones hechas por científicos ciudadanos (Aceves-Bueno et al., 2017), los observadores de aves que contribuyen a plataformas digitales tienen un grado de especialización en sus habilidades de identificación superior al de personas que no contribuyen (Randler, 2021). De hecho, los participantes más activos suelen tener un grado alto de especialización (Rosenblatt et al., 2022). Por tanto, se puede considerar que los registros de aves contenidos en esas plataformas son confiables. Sin embargo, plataformas como *iNaturalist* introducen incertidumbre a las coordenadas geográficas de registros de especies amenazadas con la finalidad de protegerlas, limitando el uso de esos datos (Contreras-Díaz et al., 2023). Por tanto, los usuarios deben tomar medidas necesarias para incrementar la confianza en los datos descargados desde plataformas digitales, por ejemplo teniendo conocimiento de sus políticas de manejo de datos y aplicando los filtros necesarios a la información obtenida.

El potencial de los datos en GBIF para complementar esfuerzos de campo variará por grupo taxonómico. Por ejemplo, las aves están híper-representadas en GBIF, mientras que muchos otros grupos taxonómicos como los insectos están severamente sub-representados (Troudet et al., 2017); por tanto, la cantidad de información disponible para complementar esfuerzos de campo es distinta para cada taxón. Por otro lado, para tener una certidumbre alta en la identificación de algunos grupos taxonómicos hecha por científicos ciudadanos a través de registros fotográficos, es necesario el consenso de al menos 5 personas (Swanson et al., 2016). Sin embargo, la plataforma *iNaturalist* requiere del consenso de tan sólo 2 – 3 personas para otorgar el “grado académico” a las identificaciones hechas por sus usuarios (<https://www.inaturalist.org/pages/help#quality>), grado con el cual la observación pasa a ser reportada a GBIF (<https://www.gbif.org/dataset/50c9509d-22c7-4a22-a47d-8c48425ef4a7#description>). Posiblemente debido a esto, la identidad de algunos anfibios y reptiles registrados en GBIF a través de *iNaturalist* es errónea (JLAL, observación personal). Salvo por grupos de especies con apariencia muy parecida entre sí, la identificación de aves en plataformas de ciencia ciudadana es generalmente correcta (Gorleri et al., 2023); por tanto, los registros fauna no aviar disponibles en GBIF podrían requerir una validación más cuidadosa, especialmente si provienen de plataformas de ciencia ciudadana.

Los datos disponibles en GBIF son útiles e informativos para ciertas tareas, pero no sustituyen los monitoreos formales realizados por profesionales (Danielsen et al., 2005; Kamp et al., 2016). De hecho, nuestros resultados muestran que la complementación de listados es bidireccional: los listados contenidos en los artículos enriquecieron con al menos una y hasta 116 especies los generados con registros de GBIF. Si bien GBIF constituye el mayor repositorio de datos de biodiversidad a nivel global, puede continuar siendo alimentado. A pesar de que las aves son uno de los grupos con más registros en GBIF, algunas de las áreas de estudio consultadas tienen pocos registros o ninguno, ilustrando que quedan zonas que no han sido suficientemente muestreadas (Hughes et al., 2021), o que la información existente no ha llegado a la plataforma. Por ejemplo, 10 de los artículos consultados listan especies no documentadas en GBIF para sus áreas de estudio por lo que su información podría ser un gran aporte a la plataforma. De manera similar, observaciones de biodiversidad reportadas en Facebook, que no fue diseñado para recopilar ese tipo de información, contienen registros que complementan la información disponible en GBIF (Chowdhury et al., 2023). Por tal motivo, queremos resaltar la importancia de continuar realizando muestreos de campo cuando la situación lo requiera y los recursos lo permitan, haciendo simultáneamente un llamado a incorporar la información colectada a plataformas de datos abiertos, especialmente la pertenecientes a regiones o grupos taxonómicos subrepresentados (Troudet et al., 2017), para contribuir a subsanar los sesgos geográficos y

taxonómicos de la información disponible en GBIF y para que la información arduamente generada enriquezca el acervo de datos abiertos y sea accesible a todo el público.

Los datos que se contribuyen a GBIF no necesitan contener grandes números de registros o de especies. Por ejemplo, el juego de datos “*Biodiversidad selecta de los humedales de Laguna de Términos - Pantanos de Centla (Aves)*” (<https://www.gbif.org/es/dataset/9b5720a2-99f7-4e29-86c8-c028e67a86f2>) reporta únicamente dos especies de aves recolectadas y preservadas en 1998 (Arriaga Weiss, 2021). Estos datos han sido descargados más de 6000 veces y tienen 30 citas. De manera similar, los datos en GBIF tampoco necesitan provenir de esfuerzos de muestreo prolongados. Por ejemplo, el juego de datos “*Mycoblitz 2017 - IRBV et Cercle des Mycologues de Montréal*” (<https://www.gbif.org/es/dataset/39bd4817-9530-4341-a918-4f16b8db1419>) consiste en 134 ocurrencias de macro hongos colectados durante sólo 3 horas de un sólo día en el *Parc des chutes de Saint-Ursule* en Quebec, Canadá (Archambault y Sinou, 2017). Este juego de datos ha sido descargado más de 6000 veces y ha sido citado en 26 ocasiones.

Nuestros resultados demuestran una vez más que combinar datos disponibles en GBIF con los de otras fuentes resulta en inventarios biológicos más completos (de Araujo et al., 2022). El proceso de generación de listados de especies utilizando registros de GBIF con el código proporcionado en el material suplementario toma sólo unos minutos, por lo que este trabajo no sólo ilustra la posibilidad de complementar inventarios biológicos utilizando datos abiertos, sino que facilita el acceso y recopilación de información sobre biodiversidad que ecólogos, estudiantes y prestadores de servicios profesionales en materia ambiental realizan rutinariamente, reduciendo el tiempo necesario para esta tarea.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Tereso Hernández Morales por su apoyo en la desambiguación de nombres científicos no resueltos por ‘bdc’. Gracias Rafael Rueda Hernández por probar el código disponible en el material suplementario y por sus comentarios que ayudaron a mejorar la presentación del mismo.

REFERENCIAS

- Aceves-Bueno, E., Adeleye, A. S., Feraud, M., Huang, Y., Tao, M., Yang, Y., & Anderson, S. E. (2017). The accuracy of citizen science data: A quantitative review. *The Bulletin of the Ecological Society of America*, 98(4), 278–290. <https://doi.org/10.1002/bes2.1336>
- Adame, D. R., Moranchel, A. L., & Piedragil, C. D. J. (2019). Avifauna del parque estatal Cerro de la Tortuga, Morelos, México. *Mesoamericana*, 23(1), Article 1.
- Archambault, R., & Sinou, C. (2017). *Mycoblitz 2017—IRBV et Cercle des Mycologues de Montréal*. Université de Montréal Biodiversity Centre. Occurrence dataset <https://doi.org/10.5886/ebybuj> accessed via GBIF.org on 2023-03-13. <https://doi.org/10.5886/ebybuj>
- Arellano-Delgado, M., Guerra-Quesada, F., Cabrera-Manuel, F., Sandoval-Ortega, M. H., & Araiza-Arvilla, H. N. (2018). Avifauna de la comunidad de La Lumbreira (Cieneguilla), Aguascalientes, Aguascalientes, México. *Tecnociencia Chihuahua*, 12(2), 114–123.
- Arriaga Weiss, S. L. (2021). *Biodiversidad selecta de los humedales de Laguna de Términos—Pantanos de Centla (Aves)*. Versión 1.5. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la

Biodiversidad. Occurrence dataset <https://doi.org/10.15468/qgohxy> accessed via GBIF.org on 2023-03-13. <https://doi.org/10.15468/qgohxy>

Baselga, A., Orme, D., Villeger, S., Bortoli, J. D., Leprieur, F., Logez, M., Martínez-Santalla, S., Martín-Devasa, R., Gómez-Rodríguez, C., Crujeiras, R., & Henriques-Silva, R. (2022). *betapart: Partitioning Beta Diversity into Turnover and Nestedness Components* (1.5.6) [Computer software]. <https://CRAN.R-project.org/package=betapart>

Bojorges-Baños, J. C., & López-Mata, L. (2006). Asociación de la riqueza y diversidad de especies de aves y estructura de la vegetación en una selva mediana subperennifolia en el centro de Veracruz, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 77(2), 235–249.

Canales-Delgadillo, J. C., Benítez-Orduña, E., Pérez-Ceballos, R. Y., Zaldívar Jiménez, A., Gómez-Ponce, M., Cardoso-Mohedano, J. G., & Merino-Ibarra, M. (2020). Inter-annual diversity of birds in the shoreline of an island in the southern Gulf of Mexico. *Huitzil*, 21(1). <https://doi.org/10.28947/hrmo.2020.21.1.433>

Castillo-Guerrero, J. A., González-Medina, E., & González-Bernal, M. A. (2009). Patrones de presencia y abundancia de aves terrestres en la isla Saliaca, Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 80(1), 211–218.

Castillo-Muñoz, M., & Guzmán-Hernández, J. L. (2021). Composición y estructura de la comunidad de aves en un corredor ribereño urbano del área metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México. *Huitzil Revista Mexicana de Ornitología*, 22(2), Article 2. <https://doi.org/10.28947/hrmo.2021.22.2.499>

Chamberlain, S., Oldoni, D., Barve, V., Desmet, P., Geffert, L., Mcglinn, D., Ram, K., rOpenSci (<https://ropensci.org/>), Waller [aut, J., & cre. (2022). *rgbif: Interface to the Global Biodiversity Information Facility API* (3.7.2) [Computer software]. <https://CRAN.R-project.org/package=rgbif>

Chandler, M., See, L., Copas, K., Bonde, A. M. Z., López, B. C., Danielsen, F., Legind, J. K., Masinde, S., Miller-Rushing, A. J., Newman, G., Rosemartin, A., & Turak, E. (2017). Contribution of citizen science towards international biodiversity monitoring. *Biological Conservation*, 213, 280–294. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.09.004>

Chesser, R. T., Billerman, S. M., Burns, K. J., Cicero, C., Dunn, J. L., Hernández-Baños, B. E., Jiménez, R. A., Kratter, A. W., Mason, N. A., Rasmussen, P. C., Remsen, J. V., Stotz, D. F., & Winker, K. (2022). *Check-list of North American Birds (online)*. American Ornithological Society. Check-List of North and Middle American Birds. <https://checklist.americanornithology.org/taxa/>

Chowdhury, S., Aich, U., Rokonzaman, M., Alam, S., Das, P., Siddika, A., Ahmed, S., Labi, M. M., Marco, M. D., Fuller, R. A., & Callaghan, C. T. (2023). Increasing biodiversity knowledge through social media: A case study from tropical Bangladesh. *BioScience*, biad042. <https://doi.org/10.1093/biosci/biad042>

Colwell, R. K., Mao, C. X., & Chang, J. (2004). Interpolating, extrapolating, and comparing incidence-based species accumulation curves. *Ecology*, 85(10), 2717–2727. <https://doi.org/10.1890/03-0557>

CONABIO. (2020). *(Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad)*. Informe de actividades 2017—2019 (p. 39). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium-bin/detalle.pl?Id=20230602120042>

Contreras-Díaz, R. G., Nori, J., Chiappa-Carrara, X., Peterson, A. T., Soberón, J., & Osorio-Olvera, L. (2023). Well-intentioned initiatives hinder understanding biodiversity conservation: Cloaked iNaturalist information for threatened species. *Biological Conservation*, 282, 110042. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.110042>

Danielsen, F., Burgess, N. D., & Balmford, A. (2005). Monitoring Matters: Examining the Potential of Locally-based Approaches. *Biodiversity & Conservation*, 14(11), 2507–2542. <https://doi.org/10.1007/s10531-005-8375-0>

de Araujo, M. L., Quaresma, A. C., & Ramos, F. N. (2022). GBIF information is not enough: National database improves the inventory completeness of Amazonian epiphytes. *Biodiversity and Conservation*. <https://doi.org/10.1007/s10531-022-02458-x>

Ding, Y., Xiong, L., Ji, F., Lu, J., Zhu, X., & Huang, H. (2022). Using citizen science data to improve regional bird species list: A case study in Shaanxi, China. *Avian Research*, 13, 100045. <https://doi.org/10.1016/j.avrs.2022.100045>

Escobar, F., Koleff, P., & Rös, M. (2009). Evaluación de capacidades para el conocimiento: El Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad como un estudio de caso. In *México: Capacidades para la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad* (pp. 23–49). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

GBIF. (2023). (*Global Biodiversity Information Facility*) *Country report—Mexico* (p. 7). Global Biodiversity Information Facility. <https://www.gbif.org/es/country/MX/summary>

Gómez-Moreno, V. del C., González-Gaona, O. J., López-Mancilla, A., Montoya-Cruz, L., Vela-Puga, J. J., Niño-Maldonado, S., Gómez-Moreno, V. del C., González-Gaona, O. J., López-Mancilla, A., Montoya-Cruz, L., Vela-Puga, J. J., & Niño-Maldonado, S. (2022). Dinámica estacional de las comunidades de aves en el matorral submontano de la Sierra de San Carlos, Tamaulipas, México. *Acta zoológica mexicana*, 38. <https://doi.org/10.21829/azm.2022.3912416>

Gorleri, F. C., Jordan, E. A., Roesler, I., Monteleone, D., & Areta, J. I. (2023). Using photographic records to quantify accuracy of bird identifications in citizen science data. *Ibis*, 165(2), 458–471. <https://doi.org/10.1111/ibi.13137>

Groom, Q., Weatherdon, L., & Geijzendorffer, I. R. (2017). Is citizen science an open science in the case of biodiversity observations? *Journal of Applied Ecology*, 54(2), 612–617. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12767>

Hughes, A. C., Orr, M. C., Ma, K., Costello, M. J., Waller, J., Provoost, P., Yang, Q., Zhu, C., & Qiao, H. (2021). Sampling biases shape our view of the natural world. *Ecography*, 44(9), 1259–1269. <https://doi.org/10.1111/ecog.05926>

Jiménez, R., Koleff, P., Urquiza-Haas, T., Ruíz González, S. P., Sánchez, C., Oliveros, O., Burgeff, C., Acevedo Gasman, F., Lara Morales, L., Cerdeira-Estrada, S., Careaga Olvera, S., Lozano Ramos, T., Sánchez Avelar, M., Rodríguez, P., Fernández, C., Martínez, J. M., Marín, A., Moreno, E., Villalón, R., ... Mohar, M. (2016). La informática de la biodiversidad: Una herramienta para la toma de decisiones. In J. Sarukhán & I. Pisanty (Eds.), *Capital natural de México Vol. IV: Capacidades humanas e institucionales* (Vol. 4, pp. 143–191). CONABIO.

- Jin, J., & Yang, J. (2020). BDCleaner: A workflow for cleaning taxonomic and geographic errors in occurrence data archived in biodiversity databases. *Global Ecology and Conservation*, 21, e00852. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00852>
- Kamp, J., Oppel, S., Heldbjerg, H., Nyegaard, T., & Donald, P. F. (2016). Unstructured citizen science data fail to detect long-term population declines of common birds in Denmark. *Diversity and Distributions*, 22(10), 1024–1035. <https://doi.org/10.1111/ddi.12463>
- MacGregor-Fors, I., Escobar, F., Escobar-Ibáñez, J. F., Mesa-Sierra, N., Alvarado, F., Rueda-Hernández, R., Moreno, C. E., Falfán, I., Corro, E. J., Pineda, E., Bourg, A., Aguilar-López, J. L., & Dáttilo, W. (2022). Shopping for Ecological Indices? On the Use of Incidence-Based Species Compositional Similarity Measures. *Diversity*, 14(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/d14050384>
- MacGregor-Fors, I., Gómez-Martínez, M. A., Vázquez, L.-B., & Martínez, M. L. (2022). Birds of the Land of Swallows: Contribution of the main ecosystems of Cozumel Island to its avian diversity. *Écoscience*, 29(1), 15–24. <https://doi.org/10.1080/11956860.2021.1932293>
- MacGregor-Fors, I., & Schondube, J. E. (2011). Use of Tropical Dry Forests and Agricultural Areas by Neotropical Bird Communities. *Biotropica*, 43(3), 365–370. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2010.00709.x>
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring biological diversity*. Wiley Blackwell.
- Maldonado, C., Molina, C. I., Zizka, A., Persson, C., Taylor, C. M., Albán, J., Chilquillo, E., Rønsted, N., & Antonelli, A. (2015). Estimating species diversity and distribution in the era of Big Data: To what extent can we trust public databases? *Global Ecology and Biogeography*, 24(8), 973–984. <https://doi.org/10.1111/geb.12326>
- Manzano-Fischer, P., List, R., Ceballos, G., & Cartron, J.-L. E. (2006). Avian diversity in a priority area for conservation in North America: The Janos-Casas Grandes Prairie Dog Complex and adjacent habitats in northwestern Mexico. *Biodiversity & Conservation*, 15(12), 3801–3825. <https://doi.org/10.1007/s10531-005-5408-7>
- Martínez-Morales, M. Á., Mendiola Islas, V., Zuria, I., Chávez Peón Hoffmann-Pinther, M. C., & Campuzano Velasco, R. G. (2013). La conservación de las aves más allá de las áreas naturales protegidas: El caso de la avifauna del Rancho Santa Elena, Hidalgo. *Huitzil*, 14(2), 87–100.
- Mellink, E. (1991). Bird communities associated with three traditional agroecosystems in the San Luis Potosi Plateau, Mexico. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 36(1), 37–50. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(91\)90034-U](https://doi.org/10.1016/0167-8809(91)90034-U)
- R Core Team. (2023). *R: A language and environment for statistical computing* (R version 4.3.0 (2023-04-21) -- “Already Tomorrow”) [X86_64-pc-linux-gnu (64-bit)]. R Foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org>
- Ramírez-Albores, J. E. (2006). Variación en la composición de comunidades de aves en la Reserva de la Biosfera Montes Azules y áreas adyacentes, Chiapas, México. *Biota Neotropica*, 6. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032006000200019>

- Ramírez-Albores, J. E. (2007). Bird diversity and conservation of Alto Balsas (Southwestern Puebla), Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 55(1), 287–300. <https://doi.org/10.15517/rbt.v55i1.6081>
- Ramírez-Albores, J. E. (2010). Diversidad de aves de hábitats naturales y modificados en un paisaje de la Depresión Central de Chiapas, México. *Revista de Biología Tropical*, 58(1), 511–528. <https://doi.org/10.15517/rbt.v58i1.5225>
- Ramírez-Albores, J. E. (2013). Riqueza y diversidad de aves de un área de la Faja Volcánica Transmexicana, Tlaxcala, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 29(3), 486–512. <https://doi.org/10.21829/azm.2013.2931593>
- Ramírez-Albores, J. E., Pérez-Suárez, M., Ramírez-Albores, J. E., & Pérez-Suárez, M. (2018). Tropical forest remnants as shelters of avian diversity within a tourism development matrix in Yucatan Peninsula, Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 66(2), 799–813. <https://doi.org/10.15517/rbt.v66i2.33410>
- Randler, C. (2021). Users of a citizen science platform for bird data collection differ from other birdwatchers in knowledge and degree of specialization. *Global Ecology and Conservation*, 27, e01580. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01580>
- Ribeiro, B. R., Velazco, S., Guidoni-Martins, K., Tassarolo, G., Jardim, L., Bachman, S., & Loyola, R. (2022a). *bdc: Biodiversity Data Cleaning* (1.1.2) [Computer software]. <https://CRAN.R-project.org/package=bdc>
- Ribeiro, B. R., Velazco, S. J. E., Guidoni-Martins, K., Tassarolo, G., Jardim, L., Bachman, S. P., & Loyola, R. (2022b). *bdc: A toolkit for standardizing, integrating and cleaning biodiversity data*. *Methods in Ecology and Evolution*, 13(7), 1421–1428. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13868>
- Rojas-Soto, O. R., Oliveras de Ita, A., Almazán-Núñez, R. C., Navarro-Sigüenza, A. G., & Sánchez-González, L. A. (2009). Avifauna de Campo Morado, Guerrero, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 80(3), 741–749. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2009.003.170>
- Rosenblatt, C. J., Dayer, A. A., Duberstein, J. N., Phillips, T. B., Harshaw, H. W., Fulton, D. C., Cole, N. W., Raedeke, A. H., Rutter, J. D., & Wood, C. L. (2022). Highly specialized recreationists contribute the most to the citizen science project eBird. *Ornithological Applications*, 124(2), duac008. <https://doi.org/10.1093/ornithapp/duac008>
- Ruiz-Campos, G., & Rodríguez-Meraz, M. (1997). Composición taxonómica y ecológica de la avifauna de los ríos El Mayor y Hardy, y áreas adyacentes en el Valle de Mexicali, Baja California, México. *Anales Del Instituto de Biología. Serie Zoología*, 68(2), 291–315.
- Sahagún-Sánchez, F. J., Espinoza-Guzmán, M. A., & Huerta-Martínez, F. M. (2021). Riqueza de aves en la Reserva de la Biosfera Sierra del Abra Tanchipa en San Luis Potosí, México. *CienciaUAT*, 15(2), 37–67. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v15i2.1439>
- Santiago-Alarcon, D., Arriaga-Weiss, S. L., & Escobar, O. (2011). Bird community composition of Centla Marshes Biosphere Reserve, Tabasco, Mexico. *Ornitología Neotropical*, 22, 229–246.
- Soberón, J. (2022). Biodiversity Informatics for Public Policy. The case of CONABIO in Mexico. *Biodiversity Informatics*, 17. <https://journals.ku.edu/jbi/article/view/18270>

Soberón, J., & Peterson, T. (2004). Biodiversity informatics: Managing and applying primary biodiversity data. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 359(1444), 689–698. <https://doi.org/10.1098/rstb.2003.1439>

Swanson, A., Kosmala, M., Lintott, C., & Packer, C. (2016). A generalized approach for producing, quantifying, and validating citizen science data from wildlife images. *Conservation Biology*, 30(3), 520–531. <https://doi.org/10.1111/cobi.12695>

Troudet, J., Grandcolas, P., Blin, A., Vignes-Lebbe, R., & Legendre, F. (2017). Taxonomic bias in biodiversity data and societal preferences. *Scientific Reports*, 7(1), 9132. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09084-6>

Ugalde-Lezama, S., Alcántara-Carbajal, J. L., Valdez-Hernández, J. I., Ramírez-Valverde, G., Velázquez-Mendoza, J., & Tarángo-Arámbula, L. A. (2010). Riqueza, abundancia y diversidad de aves en un bosque templado con diferentes condiciones de perturbación. *Agrociencia*, 44(2), 159–169.

Urquiza-Haas, E., Koleff, P., & Ruiz González, S. P. (2015). Algunas organizaciones, redes e iniciativas relacionadas con la informática de la biodiversidad en el mundo (recuadro 5.1 en Capítulo 5). In *Capital Natural de México Vol. IV: Capacidades humanas, institucionales y financieras*. (pp. 145–151). CONABIO.

Zizka, A., Silvestro, D., Andermann, T., Azevedo, J., Duarte Ritter, C., Edler, D., Farooq, H., Herdean, A., Ariza, M., Scharn, R., Svantesson, S., Wengström, N., Zizka, V., & Antonelli, A. (2019). CoordinateCleaner: Standardized cleaning of occurrence records from biological collection databases. *Methods in Ecology and Evolution*, 10(5), 744–751. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13152>