



1 de abril de 2014 | Vol. 15 | Núm. 4 | ISSN 1607 - 6079

ARTÍCULO

DIGITALIZACIÓN DEL HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO: AVANCES Y RETOS DEL FUTURO

David S. Gernandt, Víctor Sánchez-Cordero, Ubaldo Melo Samper Palacios, Oliver Joaquín Giménez Héau, Gerardo Salazar

DIGITALIZACIÓN DEL HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO: AVANCES Y RETOS DEL FUTURO

Resumen

El Herbario Nacional de México resguarda la colección de plantas herborizadas más grande de América Latina, un recurso invaluable para la investigación de la biodiversidad en México y América Central. Un proyecto de digitalización, apoyado por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), fue iniciado en junio

“

Estos datos permiten abordar diversas preguntas sobre la informática de la biodiversidad, en particular sobre la ecología, evolución, conservación, agricultura y epidemiología.

”

de 2012 para las Colecciones Biológicas Nacionales, custodiadas en el Instituto de Biología, incluyendo el Herbario Nacional. A partir de las imágenes de las plantas vasculares montadas en cartulina, se toman fotos digitales y se capturan los datos de la etiqueta manualmente. Más de 500,000 especímenes de la tercera parte de la colección fueron fotografiados en los primeros 21 meses del proyecto. Algunas colecciones del Herbario, incluyendo frutos, semillas, hongos y líquenes, se capturan directamente de las etiquetas sin tomar fotografías, sumando un total de más de 530,000 especímenes de plantas y hongos digitalizados. Ciento cincuenta familias de plantas vasculares se han digitalizado al 100%. Las familias Asteraceae, Poaceae, Lamiaceae y Cactaceae cuentan con el mayor número de ejemplares capturados. La base de datos se maneja con PostgreSQL y otro software de código abierto en desarrollo en el Instituto de Biología. Uno de los retos principales de este

proyecto es aportar datos confiables para estudios de taxonomía y bioinformática de la biodiversidad. Protocolos automatizados de control de calidad de los datos han sido implementados para validar y corregir determinaciones taxonómicas y datos geográficos, y más están en desarrollo. La participación continua de taxónomos es un requisito indispensable para mantener un alto nivel curatorial, tanto de la colección física como de la colección digital.

Palabras clave: colecciones biológicas nacionales, biodiversidad, digitalización, herbario.

DIGITIZATION OF THE NATIONAL HERBARIUM OF MEXICO: ADVANCES AND FUTURE CHALLENGES

Abstract

The National Herbarium of Mexico holds the largest collection of dried specimens in Latin America, an invaluable resource for biodiversity research in Mexico and Central America. A digitization project supported by the National Commission for the Knowledge and Use of Biodiversity (CONABIO) was initiated in June 2012 for the National Biological Collections housed at the Institute of Biology, including the National Herbarium. Collection data are being captured from digital photographs of the herbarium's mounted vascular plants. A third of the collection, more than 500,000 specimens, have been photographed in the first 21 months of the project. Some of the Herbarium's collection, particularly fruits, seeds, fungi, and lichens, are being captured directly from labels, without being photographed, totaling of more than 530,000 digitized plants and fungi. One hundred and fifty vascular plants families are 100% digitized. Families Poaceae, Asteraceae, Lamiaceae, and Cactaceae have the greatest number of accessions captured. The specimen database is being managed with PostgreSQL and other open source software under development at the Institute of Biology. One of the greatest challenges in this project is to provide reliable data for taxonomic and biodiversity informatic studies. Automated data quality protocols have been implemented to validate and correct taxonomic and geographic information, and more are in development. The continuous participation of taxonomists is an indispensable requisite for maintaining both the physical and digital collection.

Keywords: digitization, herbarium, biodiversity, national biological collections.

DIGITALIZACIÓN DEL HERBARIO NACIONAL DE MÉXICO: AVANCES Y RETOS DEL FUTURO

Introducción

México es uno de los cinco países más ricos en diversidad de especies vegetales junto con Brasil, Colombia, China y Sudáfrica (VILLASEÑOR, 2004). Se han documentado más de 23,000 especies de plantas nativas en México (Tabla 1), alrededor del 7% del total mundial de aproximadamente 350,000 especies. Sin embargo, falta describir miles de especies más que están distribuidas en selvas, bosques, desiertos, pastizales y humedales de México. La distribución geográfica de las especies mexicanas también es poco conocida.

Estimaciones de la diversidad de especies de plantas nativas en México por grupo taxonómico (DELGADILLO-MOYA, 2012; DELGADILLO-MOYA & JUÁREZ-MARTÍNEZ, 2012; GERNANDT & PÉREZ DE LA ROSA, 2013; MARTÍNEZ SALAS & RAMOS, 2013; NICOLALDE-MOREJON et al., 2013; VILLANUEVA-ALMANZA & FONSECA, 2011; VILLASEÑOR & ORTIZ, 2013).

Linaje de plantas	No. de familias	No. de géneros	No. de especies	No. de especies endémicas
<i>Anthocerotophyta</i>	1	4	9	3
<i>Marchantiophyta</i>	42	122	592	105
<i>Lycophyta</i>	3	5	106	33
<i>Pteridophyta</i>	26	119	908	155
<i>Pinophyta</i>	4	10	94	43
<i>Cycadophyta</i>	1	3	54	48
<i>Gnetophyta</i>	1	1	8	1
<i>Magnoliophyta</i>	247	2685	21841	11001
Total	325	2949	23612	11389

Las colecciones biológicas son fundamentales para estudiar y entender la diversidad de seres vivos en el espacio y el tiempo. Los herbarios son las colecciones biológicas de las plantas, aunque el término "herbario" puede extenderse para incluir también a los hongos y líquenes. La mayoría de los ejemplares que se incorporan a los herbarios consisten de partes de plantas o, en algunos casos, de plantas completas, que se secan y se montan en un papel de calidad de archivo, pero una proporción menor se conservan en alcohol; otros, como frutos y semillas, se resguardan en cajas y los granos de polen en portaobjetos. Las colecciones están arregladas y almacenadas en gabinetes (Fig. 1) en un arreglo sistemático. Cuando se preparan y mantienen correctamente, los ejemplares de herbario se pueden conservar durante cientos de años. Una clase particularmente importante de especímenes en el herbario son los ejemplares tipo, a los que se hace referencia explícita cuando un taxónomo describe y nombra formalmente una especie por primera vez. Los especímenes tipo se utilizan como una referencia física para entender el concepto que tiene un autor sobre una especie.

El Herbario Nacional de México (MEXU, por sus siglas en el índice internacional de herbarios) alberga casi 1.5 millones de ejemplares, por lo que es el herbario más grande de América Latina. La mayoría de los especímenes son plantas terrestres (por ejemplo, musgos, helechos, cícadas, coníferas y plantas con flores), pero el herbario también alberga algas, hongos y líquenes. La colección está creciendo constantemente, por lo que personal de herbario prepara e incorpora 25,000 nuevos ejemplares por año. La colección incluye más de 9,000 especímenes tipo.

El Herbario Nacional registra 2,000 visitas de académicos y estudiantes al año. La mayoría de los visitantes son taxónomos que trabajan en México y otras partes del mundo que consultan los ejemplares como parte de su estudio de las familias o géneros específicos, o para documentar la diversidad florística en una región en particular. Otros usuarios académicos proceden de campos diversos como la ecología, la agricultura, la etnobotánica, la paleobotánica, la anatomía vegetal, la genética, la medicina, la arquitectura, el arte y la historia. El personal de diversas dependencias del gobierno, como la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), también consultan regularmente las colecciones. El Herbario abre sus puertas al público al ofrecer visitas guiadas a más de 1,000 personas al año, sobre todo a estudiantes.

Figura 1. Gabinetes móviles usados para almacenar ejemplares de herbario en la Sala Bletia, Herbario Nacional de México.



Digitalización

La digitalización es la transferencia de información analógica (incluyendo objetos, imágenes, sonidos o documentos) a un formato digital. La digitalización aumenta la accesibilidad de la información a nivel local y a larga distancia y, como en el caso de los libros y ejemplares de colecciones, puede reducir el desgaste de los objetos de valor causado por la manipulación física de ellos, con lo que se conservan mejor.

Los ejemplares de colecciones biológicas regularmente incluyen etiquetas en las que se indica la identidad taxonómica del ejemplar, información de la localidad de procedencia, el nombre del colector, la fecha de recolección y otras observaciones. Estos datos, al ser capturados en una base de datos, facilitan el trabajo del taxónomo y además

permite abordar diversas preguntas sobre la informática de la biodiversidad, en particular sobre la ecología, evolución, conservación, agricultura y epidemiología. Por ejemplo, se pueden plantear estudios ecológicos y evolutivos sobre la influencia de factores bióticos y abióticos en los límites geográficos, aplicar modelos de nichos climáticos para predecir los rangos de especies, e incorporar información filogenética o genética para explorar si la divergencia de nichos tiene relevancia en la especiación. También se pueden usar estos datos para evaluar el estado de conservación de especies mediante el cálculo de tamaño de rangos de distribución, realizar predicciones de distribución potencial que permiten dirigir exploración en el campo que puede resultar en el descubrimiento de nuevas poblaciones de especies, estimar la diversidad espacial e identificar áreas para la conservación y predecir los cambios en la distribución de especies como respuesta al cambio climático. Finalmente, los datos han probado ser útiles para predecir rendimiento de cosechas o para brotes de enfermedades en humanos, en la vida terrestre o en los sistemas agropecuarios (GRAHAM *et al.*, 2004; SOBERÓN y PETERSON, 2004). Los datos también son valiosos para el manejo de las colecciones, por ejemplo, sirven para determinar a larga distancia qué ejemplares están disponibles en una colección, ya sea para estudiar la historia de colectores particulares o para buscar usos reportados, sólo por mencionar algunos ejemplos.

El proceso de captura de datos de la etiqueta en una computadora suele ser lento. Como resultado, pocas colecciones biológicas han sido digitalizadas en su totalidad. La adopción de la fotografía digital no sólo enriquece el registro digital del objeto, sino acelera en gran medida el proceso de digitalización al facilitar una división del trabajo en el que diferentes trabajadores seleccionan ejemplares y añaden un sello, capturan una imagen digital, transcriben datos de la etiqueta de la imagen y editan la información de cada espécimen en una base de datos.

Se han realizado diversos proyectos de digitalización en el Herbario Nacional de México a lo largo de los años. Comúnmente estos proyectos han sido llevados a cabo por un taxónomo especialista enfocado en alguna familia o género en particular. Gracias a esto, hoy en día los datos de etiqueta de más de 288,000 especímenes de plantas, entre ellos la colección de 46,000 briofitas (musgos, hepáticas y antóceros), están disponibles en línea (<http://unibio.unam.mx/>). La gran mayoría de las fichas digitales no cuentan aún con fotos, con las excepciones de la colección de briofitas y la colección de especímenes tipo, pero su nivel curatorial se considera muy alto, porque reportan ejemplares que han sido revisados por especialistas como parte de un trabajo de investigación (especímenes con un nivel curatorial entre 7 y 10 en la escala de McGinley, 1993). Hasta la fecha hay cientos de fotos disponibles en línea (<http://unibio.unam.mx/irekani/>), y casi todos los especímenes tipo del Herbario Nacional están disponibles en JSTOR Global Plants (<http://plants.jstor.org/partner/MEXU>).

El proceso de digitalización

En 2012 se inició un proyecto de digitalización de cuatro años de duración para las Colecciones Biológicas Nacionales del Instituto de Biología con el apoyo de la CONABIO. Estas colecciones comprenden el Herbario Nacional y diez colecciones zoológicas nacionales, en conjunto albergando más de 3.6 millones de ejemplares en todas las colecciones (Ta-

bla 2). Se comenzó con cuatro colecciones en junio de 2012: el Herbario Nacional de México, la Colección Nacional de Crustáceos (CNCR), la Colección Nacional de Insectos (CNIN) y la Colección de Moluscos (CNMO). A mediados de 2013 se inició la digitalización de la Colección Nacional de Arácnidos (CNAN).

Tabla 2. Colecciones Biológicas Nacionales resguardados en el Instituto de Biología,

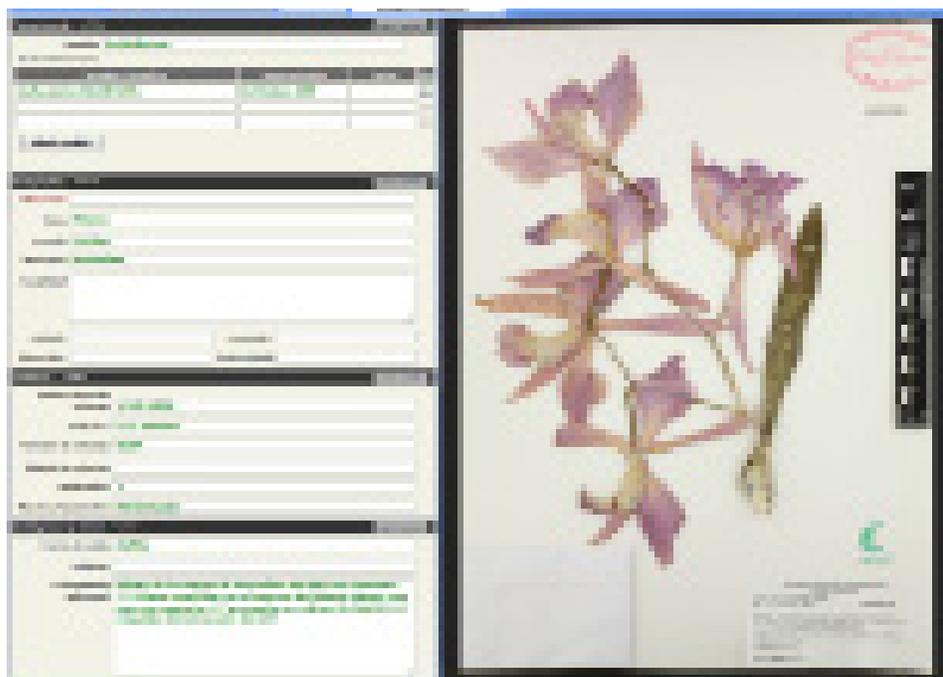
Nombre de la colección	Acónimo	Número de ejemplares
Herbario Nacional de México	MEXU	1,470,000
Colección Nacional de Ácaros	CNAC	48,000
Colección Nacional de Anfibios y Reptiles	CNAR	27,000
Colección Nacional de Arácnidos	CNAN	28,000
Colección Nacional de Aves	CNAV	28,000
Colección Nacional de Crustáceos	CNCR	22,000
Colección Nacional de Helmintos	CNHE	35,000
Colección Nacional de Insectos	CNIN	1,730,000
Colección Nacional de Mamíferos	CNMA	42,000
Colección Nacional de Moluscos	CNMO	1100
Colección Nacional de Peces	CNPE	170,000

Las imágenes digitales de las plantas vasculares montadas se toman en cajas de luz marca Ortery con una cámara Canon EOS 5D Mark II equipada con un lente macro Sigma 50 mm f/2.8 EX DG (Legler, 2011). De dos a tres taxónomos especialistas trabajan tiempo completo seleccionando, revisando, sellando y fotografiando los ejemplares. Las imágenes se guardan en formato JPEG a 3,744 por 5,616 píxeles (21 megapíxeles) en los discos duros de computadoras conectadas a las cámaras. Se generan copias de seguridad en discos duros externos de 2-3 terabytes. Los discos duros externos se respaldan en un servidor de la Unidad de Informática para la Biodiversidad (UNIBIO), laboratorio temático del Instituto de Biología. Los datos presentes en las etiquetas de las colecciones botánicas y zoológicas son capturados manualmente en 18 terminales de computadora en la UNIBIO. Las plantas vasculares generalmente son capturadas a partir de las imágenes digitales (Fig. 2), pero algunas colecciones que se resguardan en caja o sobres (incluyendo frutos, semillas, hongos y líquenes) son capturadas directamente de las etiquetas.

Para la captura se utiliza la Plataforma de Digitalización de Colecciones, desarrollada por la Coordinación de Colecciones Universitarias Digitales (CCUD) de la UNAM. Esta plataforma se divide en cuatro módulos: captura, monitoreo de captura, reporte de errores y control de calidad. La interfaz de captura permite ingresar de manera directa los datos de los ejemplares sin que sea obligatorio el uso de catálogos, esto prioriza en este módulo la velocidad de captura sobre la precisión. El módulo de monitoreo de captura permite al responsable del proyecto monitorear en tiempo real el proceso de captura, y detectar errores sistemáticos en el mismo. El módulo de reporte de errores

permite a los capturistas reportar errores o incongruencias en los ejemplares al responsable del proyecto o de la colección. El módulo de control de calidad está dividido en dos procesos. El primero es el control de calidad estructural, en el cual los datos de la captura se califican por medio de catálogos. Los catálogos consultados para los nombres taxonómicos son el *Catálogo de Plantas* de CONABIO, *The International Plant Names Index*, *The Plant List*, *Integrated Taxonomic Information System*, *Catalogue of Life* e Índice de Géneros en el Herbario Nacional de México (MEXU). Los catálogos consultados para los datos geográficos son *Marco Geoestadístico Nacional*, *Modelo de Elevación de México* (INEGI) y *Global Administrative Areas*.

Figura 2. Pantalla de captura que se usa para digitalizar datos de recolección de la colección de plantas montadas en cartulina.



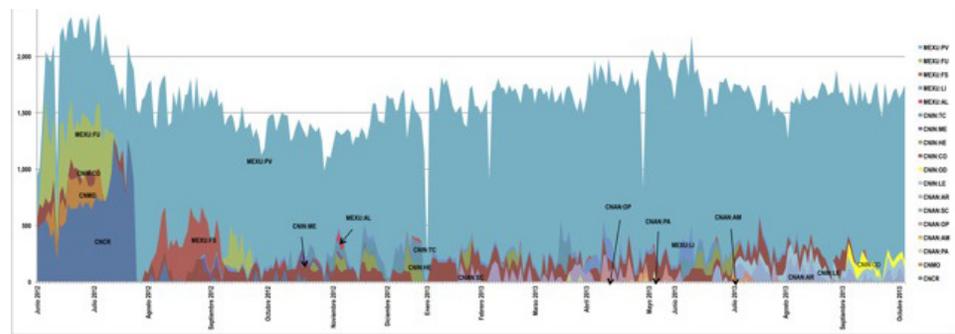
Se analiza la lógica del tipo de datos (de administración, catálogos, de clasificación, geográficos y curatoriales). Los errores de asignación, omisión, ortográficos y sistemáticos se corrigen y documentan. Los registros con errores que no pueden ser solucionados de manera lógica se etiquetan para el proceso de control de calidad por especialistas. El control de calidad por especialistas es la revisión de la base de datos por parte del taxónomo. En esta etapa se verifican los registros detectados como candidatos a una revisión que requiere el conocimiento taxonómico o biogeográfico del curador o especialista.

Los datos capturados se almacenan en la base de datos PostgreSQL siguiendo el estándar internacional Darwin Core 2, lo que permite que la consulta a la base de datos sea compatible con proyectos que integran la información sobre biodiversidad a nivel nacional, como el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad de CONABIO o a nivel internacional como el Global Biodiversity Information Facility.

Resultados hasta la fecha

De los 637,000 ejemplares de las Colecciones Biológicas Nacionales digitalizados hasta la fecha, 533,000 (83.7%) corresponden al Herbario Nacional (Fig. 3). Un trabajador puede tomar fotos de hasta 100 ejemplares por hora. En el mes de febrero de 2014 tomaron un promedio de 1,870 fotos por día, haciendo uso de los tres equipos fotográficos disponibles de manera simultánea. En las terminales de captura se han registrado 306 días laborales en los que se ingresaron datos de etiquetas desde junio de 2012. En promedio se capturan 1,636 ejemplares de plantas y animales por día, de los cuales 1,360 corresponden al Herbario Nacional.

Figura 3. Número de ejemplares capturados por día en el proyecto de digitalización de las Colecciones Biológicas Nacionales. (Junio 2012 a Febrero 2014). (MEXU:PV = plantas vasculares, MEXU:FU = Fungi, MEXU:FS = frutos y semillas, MEXU:LI = líquenes, y MEXU:AL = algas, CNIN = Colección Nacional de Insectos, CNAN = Colección Nacional de Arácnidos, CNCR = Colección Nacional de Crustáceos, CNMO = Colección Nacional de Moluscos).



En octubre de 2013 se realizó un análisis con una versión de la base de datos depurada y se encontró que 299,296 de los 416,142 ejemplares capturados hasta la fecha (72%) pasaron los filtros de validación taxonómica y geográfica. El 83.5% de las plantas vasculares capturadas fueron recolectadas en México, y otros países del norte y del sur de América son los siguientes mejor representados en la colección (Fig. 4). El mapeo de las localidades de recolección (Fig. 5) indica una mayor representación de los estados del sur del país, sobre todo Oaxaca, Chiapas y Veracruz, mientras que la representación de los estados del norte de México es más baja. Más de un tercio (37%) de las etiquetas de los especímenes indican las coordenadas geográficas del lugar de procedencia del ejemplar.

Figura 4. País de recolección de los ejemplares del Herbario Nacional digitalizados.

Las familias botánicas capturadas previamente al proyecto actual, que estaban mejor representadas por ejemplares disponibles en línea, son Fabaceae (45,870) y Rubiaceae (39,961), pero las fichas en línea no constituyen todos los ejemplares de estas dos familias en el Herbario Nacional. Ciento cincuenta familias de plantas vasculares han sido 100% digitalizadas en los 21 meses transcurridos de junio de 2012 a la fecha. Las familias con el mayor número de fichas capturadas son Asteraceae, Poaceae, Lamiaceae y Cactaceae (Fig. 6), estas últimas dos han sido 100% digitalizadas.

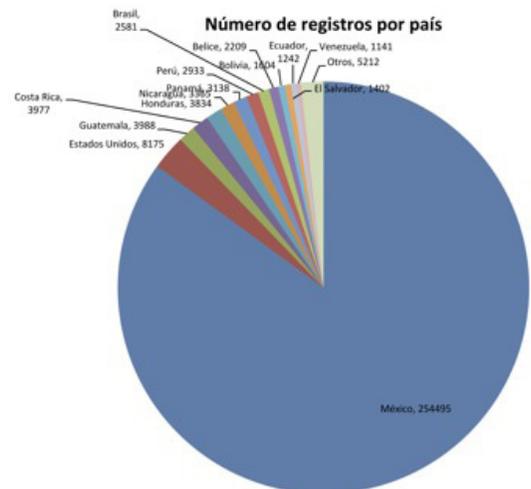
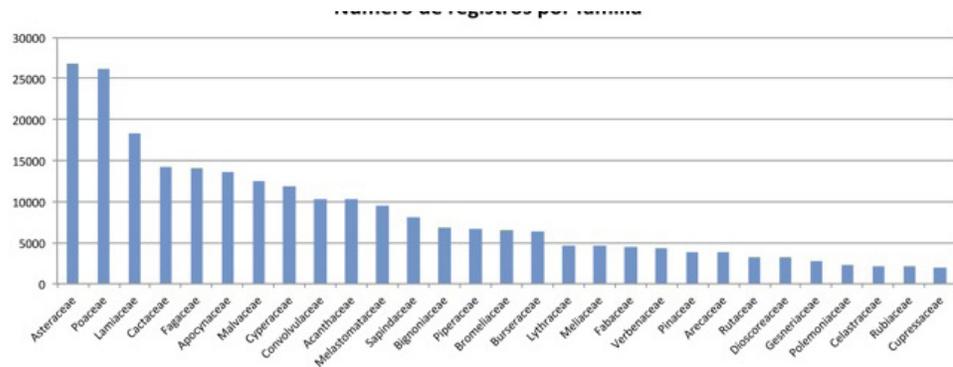


Figura 5. Distribución geográfica de los ejemplares mexicanos de las Colecciones Biológicas Nacionales digitalizadas que cuentan con coordenadas.



Figura 6. Número de fichas capturadas para las familias de plantas vasculares mejor representadas en la base de datos del Herbario Nacional.



Retos

Al ritmo actual, se estima que 1.25 millones de ejemplares (86% de la colección del Herbario) serán capturados durante el proyecto de cuatro años (2012-2016). La base de datos completa estará disponible en línea al concluir el proyecto, aunque se aplicarán "candados" a cierta clase de información, por ejemplo la localidad de procedencia de las especies protegidas por la legislación mexicana, las cuales podrían estar sujetas a extracción ilícita de su hábitat natural. Mientras tanto, las solicitudes de datos sin procesar y la disponibilidad de las imágenes estarán bajo la consideración del jefe del herbario.

El valor de una colección biológica digitalizada depende de su calidad y accesibilidad. Contar con un proceso para detectar y corregir errores en la base de datos es indispensable. Los investigadores han manifestado reiteradamente la importancia de contar, en primer lugar, con identificaciones taxonómicas confiables y actualizadas y, en segundo lugar, con datos de localidad precisos (GRAHAM *et al.*, 2004; SOBERÓN y PETERSON, 2004; CHAPMAN, 2005; FOLEY *et al.*, 2008). Para mantener un alto nivel curatorial taxonómico, el Herbario promueve la revisión regular de los ejemplares por especialistas, pero no cuenta con una estrategia para la revisión constante de toda la colección. La revisión, tradicionalmente, se realiza mediante préstamos de material o visitas de

diversa duración de especialistas que expresen interés en un grupo taxonómico o en una región. Al contar con fichas digitales, existe la oportunidad de desarrollar plataformas informáticas que permitan realizar revisiones de ejemplares en línea y vía remota de una manera eficiente. Poder incluir imágenes digitales de alta calidad con cada ejemplar hace más atractiva esta opción para los especialistas. En este caso, habría que desarrollar protocolos que garanticen que nueva información curatorial recibida por medios digitales se evalúe y se transmita a los especímenes en la colección.

Los datos de localidad se ocupan en abordar diversos estudios geográficos de la biodiversidad. Sin embargo, estos datos varían radicalmente en su precisión entre los ejemplares. El Herbario Nacional resguarda especímenes de excepcional valor histórico, como los del Museo Nacional (1825), la Comisión Geográfica Exploradora (1876) y del Instituto Médico Nacional (1888). Muchos de ellos sólo indican el país o el estado de recolección. Otros ejemplares cuentan con información sobre la distancia hasta un punto de referencia como una ciudad; en estos casos hay que elegir un método que permita asignar latitud y longitud (la georreferenciación) y documentar de manera permanente cuándo y cómo se llevó a cabo. Incluso para los especímenes recientes que cuentan con datos de latitud y longitud, es poco común que estos indiquen su nivel de precisión, o, si lo indican, incluyan si fueron determinados mediante un mapa o un geoposicionador. Finalmente, aunque no es directamente relevante al reto de digitalizar una colección biológica, se conoce que los especímenes en las colecciones naturales son en gran medida tomados de una manera oportunista, y tienen un sesgo hacia muestreos cerca de medios de transporte como carreteras, ferrocarriles y ríos. Además, las colecciones del Herbario Nacional están más enfocadas en el centro y sur del país, y existen grandes lagunas en la cobertura de los muestreos del norte del país.

El Instituto de Biología cuenta con portales que permiten el acceso a los datos provenientes de sus colecciones biológicas. Sin embargo, falta incorporar las imágenes digitales en el portal y es indispensable implementar un sistema en línea para la curación de la base de datos por parte de curadores de las diversas colecciones. También se requiere un esfuerzo masivo para asignar coordenadas geográficas a un mayor número de los ejemplares en la colección, así como apoyo en el largo plazo para mantener la información taxonómica en la base de datos actualizada e ingresar los registros para especímenes nuevos.

Conclusiones

Persisten retos importantes para la generación de la información pública digital, así como para proporcionar un mecanismo atractivo para la curación de los registros digitales. La digitalización del Herbario Nacional de México va a contribuir sustancialmente a la visibilidad y el conocimiento público del patrimonio botánico y micológico del país. La base de datos digital bien curada permitirá a los científicos y al público en general acceder a la información confiable sobre biodiversidad nacional de manera más eficiente. ❖

Agradecimientos

Agradecemos al personal académico del Herbario Nacional de México y a otros especialistas por su dedicación en la curación de la colección. Leandro Ramos, Miriam Ramírez, Esther León, Víctor Trejo, Mauricio Mora, Mercedes Guadalupe Otero y muchos otros integrantes del proyecto participaron en la toma de imágenes y la curación de especímenes. También agradecemos a todos los estudiantes que participan en la captura de datos para la generación de la base de datos de colecciones. Los protocolos automatizados de control de calidad de los datos están siendo diseñados e implementados por Daniel Pérez. José Luis Villaseñor, Enrique Ortiz y Aaron Liston, quienes aportaron comentarios y sugerencias sobre el diseño y la gestión de bases de datos y se agradece el apoyo proporcionado por la Unidad de Informática para la Biodiversidad (UNIBIO) del Instituto de Biología y la Coordinación de Colecciones Digitales Universitarias (CCUD) de la UNAM. Este proyecto está siendo financiado por CONABIO (proyecto KE002: "Digitalización y sistematización de las colecciones biológicas nacionales").

Bibliografía

- [1] CHAPMAN, A.D. Principles and methods of data cleaning: primary species and species-occurrence data. Report for the Global Biodiversity Information Facility. 2005.
- [2] DELGADILLO-MOYA, C. "Biodiversidad de Bryophyta (musgos) en México". *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 2012, Supl. 85, S100–S105.. doi:10.7550/rmb.30953.
- [3] DELGADILLO-MOYA, C., Juárez-Martínez, C. "Biodiversidad de Anthocerotophyta y Marchantiophyta en México". *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 2012. Supl. 85, S106–S109. doi:10.7550/rmb.30954.
- [4] FOLEY, D.H., Weitzman, A.L., Miller, S.E., Faran, M.E., Rueda, L.M., Wilkerson, R.C. "The value of georeferenced collection records for predicting patterns of mosquito species richness and endemism in the Neotropics". *Ecological Entomology*. 2008, 33, 12–23. doi:10.1111/j.1365-2311.2007.00927.x.
- [5] GERNANDT D.S., Pérez-de la Rosa, J.A. "Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México". *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 2013. Supl. 85, S126–S133. doi:10.7550/rmb.32195.
- [6] GRAHAM C.H., Ferrier S., Huettman, F., Moritz, C., Peterson, A.T. "New developments in museum-based informatics and applications in biodiversity analysis". *TRENDS in Ecology & Evolution*. 2004. 19, 497–503.
- [7] LEGLER, B. "Specimen imaging documentation. Consortium of Pacific Northwest Herbaria", ver. 4.0. 2011.

- [8] MARTÍNEZ SALAS, E., Ramos, C. H. "Biodiversidad de Pteridophyta en México". *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 2013. Supl. 85, S110–S113, doi:10.7550/rmb.31827]
- [9] NICOLALDE-MOREJON, F., González-Astorga, J., Vergara-Silva, F., Stevenson, D. W., Rojas-Soto, O., Medina-Villarreal, A. "Biodiversidad de Zamiaceae en México". *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 2013. Supl. 85, S114–S125. doi:10.7550/rmb.38114.
- [10] SOBERÓN, J., Peterson, A.T. "Biodiversity informatics: managing and applying primary biodiversity data". *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Ser. B, 2004. 359, 689–698. doi:10.1098/rstb.2003.1439.
- [11] VILLANUEVA-ALMANZA, L., Fonseca, R.M. "Revisión taxonómica y distribución geográfica de Ephedra (Ephedraceae) en México". *Acta Botanica Mexicana*, 2011. 96: 79–116. <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-71512011000300009&lng=es&nrm=iso>
- [12] VILLASEÑOR J.L. "Diversidad y distribución de las Magnoliophyta de México". *Interciencia*, 2003. 28:160–167. <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33907806>>
- [13] VILLASEÑOR J.L., Ortiz E. "Biodiversidad de las plantas con flores (División Magnoliophyta) en México". *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 2013. Supl. 85: S134–S142. doi:10.7550/rmb.31987.