

# Universidad Autónoma Metropolitana

## Unidad Xochimilco

Agronomía

Servicio Social

Título del proyecto: Digitalización de ejemplares de herbario de plantas útiles de la península de Yucatán.

Berenice Monserrat Trujillo Sanchez  
2213020647

  
Asesor Interno: M. en C. Beatriz González Hidalgo  
N°. Econ. 35737

  
.Asesor Externo: Dra. Patricia Rivera Pérez  
N°. Ced. 12232403

## Introducción

La Península de Yucatán enfrenta una pérdida acelerada de cobertura vegetal debido a la expansión agropecuaria, el crecimiento urbano y turístico, el desarrollo de infraestructura carretera y los efectos del cambio climático. Estas presiones amenazan la permanencia de numerosas especies animales y vegetales que son únicas en esta región (*La lucha por la justicia ambiental en México*, 2026). Por ello es de gran importancia generar información científica accesible que permita conocer la riqueza natural de la región y sustentar iniciativas de manejo, conservación y restauración. En este sentido, la digitalización de colecciones biológicas es una forma de preservar y democratizar la información de la biodiversidad que se resguarda en diversas instituciones de investigación (Beaman & Cellinese, 2012; Nelson & Ellis, 2018).

La digitalización es el proceso mediante el cual la información contenida en formatos analógicos, incluyendo objetos físicos, imágenes, sonidos y documentos, es convertida a un formato digital. En el ámbito de las colecciones biológicas, la digitalización implica la generación de “especímenes digitales”; es decir imágenes de alta resolución de muestras biológicas debidamente identificadas y con información científica sobre el ejemplar (Hedrick et al., 2020; Nelson & Ellis, 2018). Por ejemplo, en el herbario CICY se fotografían los ejemplares de herbario y se captura la información de las etiquetas en una base de datos (figura 1). La disponibilidad de ejemplares digitales en los últimos años ha permitido que personas de distintos países, instituciones, niveles académicos, etc, puedan acceder a información científica confiable sobre la biodiversidad. Esta democratización de la información de las colecciones biológicas ha permitido el desarrollo de iniciativas de ciencia ciudadana, la realización de estudios sobre la fragmentación de hábitats, además, facilita la identificación de áreas prioritarias para la conservación, la estimación de patrones de diversidad espacial y la planificación de exploraciones de campo. De esta forma las colecciones digitalizadas permiten diseñar estrategias de educación ambiental y fortalecer la toma de decisiones sobre manejo y conservación de la biodiversidad (Beaman & Cellinese, 2012; Drew et al., 2017; Hardisty et al., 2022)(GERNANDT et al., 2014).

Los principales retos para la digitalización de las colecciones biológicas son el presupuesto limitado para la adquisición de equipos que permitan obtener imágenes de alta calidad y la falta de personal entrenado para seguir los flujos de trabajo que tienen estrictas medidas de calidad y en ocasiones requieren la realización de ajustes debido a la heterogeneidad de los especímenes. Por otra parte, el desconocimiento de la existencia de estas colecciones y sus usos limitan las posibilidades de personas en comunidades rurales para ampliar sus conocimientos sobre la biodiversidad local y vincularse con los centros de investigación.

En este marco, mi participación como estudiante de Agronomía de la UAM Xochimilco consiste en generar información de la flora de la Península de Yucatán mediante la digitalización de la mejor colección de muestras herborizadas de la

región: el herbario CICY. Además de establecer un vínculo directo entre el herbario CICY y las comunidades y organizaciones que requieren conocer las plantas de localidades específicas dentro de la península de Yucatán. Tomando como base los ejemplares resguardados en el herbario CICY se determinó el estado de conocimiento de la flora de localidades que forman parte de la iniciativa de ecoturismo comunitario “Camino del Mayab”. Mediante el vínculo con estas comunidades se determinó la necesidad de realizar un inventario florístico de la zona para apoyar los esfuerzos de las personas de las comunidades proporcionándoles un catálogo de las especies de plantas asociadas a los senderos turísticos, identificando especies útiles nativas y endémicas.

### Justificación

El Herbario del Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY), resguarda cerca de 80 mil ejemplares botánicos principalmente de la península de Yucatán. La información de las plantas que conforman la colección del CICY está disponible al público mediante la página de la Flora Digital ([https://www.cicy.mx/sitios/flora%20digital/indice\\_busqueda.php](https://www.cicy.mx/sitios/flora%20digital/indice_busqueda.php)) algunos usuarios utilizan la información de la página para identificar especies. Sin embargo la información de la página es incompleta y no cuenta con imágenes de todas las especies. También existe una base de datos que contiene la información de las etiquetas de cada ejemplar. Esta base de datos puede solicitarse por correo electrónico especificando la familia de plantas o municipio de Yucatán que se quiere consultar, por lo cual los usuarios requieren tener un conocimiento previo de las familias de plantas, tipos de vegetación o sitios de colecta. Este modo de comunicación puede resultar poco eficiente para usuarios fuera del ámbito académico. Por lo que este trabajo busca ampliar el acceso a datos confiables para el público general interesado en las plantas de localidades con senderos ecoturísticos. Esto se pretende lograr mediante la digitalización de los ejemplares del herbario CICY, documentación fotográfica y colecta de plantas vivas (Harris & Marsico, 2017).

### Objetivo general

- Digitalización de ejemplares de plantas útiles de la Península de Yucatán en el Herbario CICY enfocado a especies presentes en las comunidades de Mucuyché, Yunku, Abalá, Sacalum y Cacao las cuales forman parte del circuito de ecoturismo comunitario de Camino del Mayab.

### Objetivos específicos

- Digitalizar las muestras de especies de plantas útiles presentes en el herbario CICY de las comunidades seleccionadas.
- Identificar las familias botánicas mejor representadas y especies nativas o endémicas de interés.
- Incrementar el número de muestras de plantas útiles de las comunidades seleccionadas que se resguardan en el herbario CICY

- Incorporar a cada imagen información descriptiva y visual que facilite su consulta, almacenamiento y manejo.
- Generar una biblioteca digital con los ejemplares digitalizados, incluyendo fotografías de alta calidad y acercamientos de estructuras relevantes para la identificación de cada especie.

## Materiales y métodos

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque descriptivo orientado a la digitalización de ejemplares de plantas útiles de la Península de Yucatán resguardados en el Herbario CICY. Se realizó una revisión preliminar de la base de datos del herbario para identificar zonas potencialmente submuestreadas y se identificaron las localidades de Mucuyché, Abalá, Sacalum, Cacao y Yunkú como sitios de interés.

### Sitio de estudio

El trabajo de campo se realizó en las comunidades de Mucuyché, Abalá, Cacao, Sacalum y Yunkú que se encuentran en la región central de la Península de Yucatán y forman parte del destino de turismo comunitario y bio-cultural del Camino del Mayab (Figura 1).

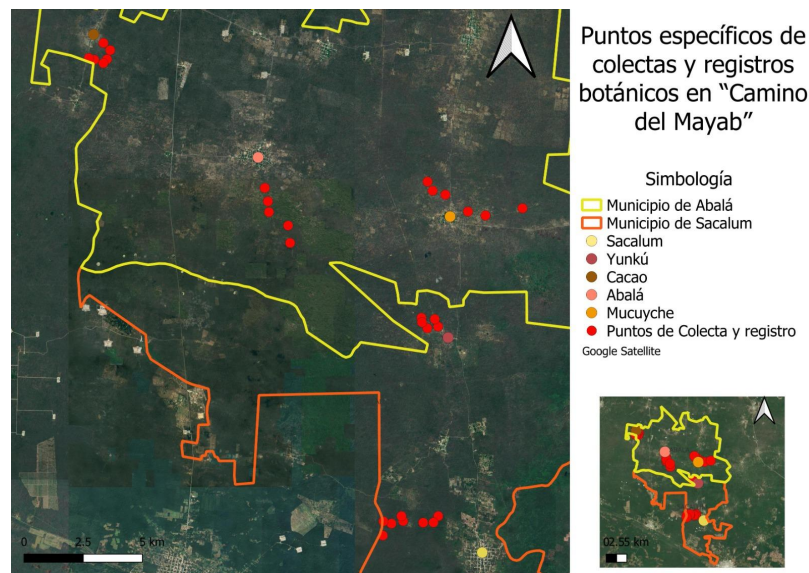


Figura 1. El mapa representa los municipios de Abalá y Sacalum, donde se encuentran las comunidades de Cacao, Abalá, Mucuyché, Yunkú y Sacalum, que es donde se realizaron las colectas. Se presentan los puntos específicos donde se realizaron las colectas para los nuevos registros y de los registros que se tienen en el herbario CICY, guiándonos con las coordenadas que se tenían registradas.

Esta zona se caracteriza por un clima cálido subhúmedo. La temperatura media anual oscila entre 24 y 28°C, la precipitación muestra un gradiente espacial marcado, con valores mínimos aproximados de 500-600 mm en el norte y máximos cercanos a 1500 mm hacia el sureste. El patrón de lluvia es marcadamente estacional la temporada de lluvias se concentra en verano y la sequía se extiende durante el invierno y parte de la primavera.

La cobertura vegetal está dominada por selva baja caducifolia, que es el tipo de vegetación más abundante del estado. Hacia el sur, en condiciones de mayor humedad, se desarrollan selvas medianas subcaducifolias y selvas altas subperennifolias, cuya distribución responde directamente al gradiente climático regional y a las características edáficas del sustrato kárstico.

### Trabajo de gabinete

La consulta de la base de datos arrojó que existían en total 91 ejemplares de la flora de las cinco localidades seleccionadas. Durante la revisión de los ejemplares se identificaron 19 muestras que no pudieron ser localizadas y 16 se encontraban muy deterioradas por lo cual se digitalizaron otras muestras de la misma especie, pero de otras localidades. Del resto de las muestras se digitalizaron los ejemplares mejor conservados y más representativos (Figura 2).

El proceso de digitalización se llevó a cabo mediante el uso de una Cámara Canon Eos Rebel T7, bajo parámetros técnicos estandarizados de apertura de f/5.6, velocidad de obturación 1/160 - 1/250 e ISO 100, para garantizar la calidad y precisión de los datos taxonómicos,

La captura de imágenes se realizó dentro de una caja de luz LED con iluminación controlada, diseñada para eliminar sombras y maximizar la fidelidad cromática de las estructuras vegetales. Durante el montaje de cada ejemplar, se integró una escala métrica graduada con numeración legible, la cual funge como referencia técnica para determinar las dimensiones reales y proporciones del espécimen en el análisis posterior.



Figura 2. Ejemplo de algunas de las colectas registradas en el herbario CICY para el sitio de estudio que fueron digitalizadas durante este trabajo. Se buscaron los dos ejemplares mejor preservados, en los que pudieran apreciarse los detalles de las estructuras reproductivas y otras características distintivas de las especies y se siguió el protocolo de digitalización. a) *Macroscepis diademata* (Ker Gawl.) W.D. Stevens b) *Alternanthera flavescens* Kunth c) *Celosia nitida* Vahl d) *Elytraria imbricata* (Vahl) Pers.

### Trabajo de campo

El trabajo de gabinete permitió detectar la subrepresentación en el herbario CICY de la vegetación del sitio de estudio. Con base en esta información se planearon tres salidas a campo para muestrear la diversidad vegetal de los sitios de interés. En las salidas de campo se realizó el inventario florístico de rutas de senderismo con ayuda del personal técnico del herbario CICY, personal del Camino del Mayab y guías locales de las comunidades. En cada salida se efectuó un reconocimiento general del área y tipos de vegetación presente.

La colecta de material botánico se realizó siguiendo los protocolos establecidos por el herbario CICY. Las muestras fueron fotografiadas *in situ*, para preservar la información que puede perderse durante el secado del material como el color y estructura de las flores. Posteriormente se tomaron porciones de las plantas considerando que deben ajustarse al espacio de una cartulina de herbario estándar (28 x 42 cm) y se colocaron en una prensa botánica. Los datos de cada muestra se anotaron en una libreta de campo y posteriormente fueron capturados en una base de datos. Las muestras fueron llevadas al CICY donde se secaron, montaron y se determinaron taxonómicamente mediante el uso de claves botánicas especializadas, la comparación con ejemplares de referencia y la consulta de literatura botánica regional. Una vez confirmada su identificación taxonómica, los ejemplares fueron incorporados formalmente al acervo del herbario.

## Procesamiento de datos

Con los ejemplares digitalizados y la información generada *de novo* en este proyecto, se consolidó una base de datos integrando datos taxonómicos, información geográfica, tipo de uso y material visual asociado. Para cada ejemplar incluido en la base de datos se verificó y actualizó la determinación taxonómica con base en la base de datos de WFO (<https://www.worldfloraonline.org/>) usando el paquete UTaxonStand (Zhang & Qian, 2023) en R Studio V2025.05 (Zhang, et. al., 2025).

Se realizó el resumen de los datos en tablas de contingencia. Además se realizó un análisis descriptivo que permitió identificar las familias botánicas mejor representadas, así como especies nativas y endémicas de interés presentes en las comunidades estudiadas.

## Resultados

Se obtuvieron fotografías de alta resolución de 115 ejemplares de herbario, las cuales fueron procesadas, editadas y catalogadas de acuerdo a su información taxonómica. El material botánico de la zona de estudio que se encontró en el herbario fue recolectado entre 1979 y 2010. El espécimen más antiguo corresponde a *Duranta erecta* (Verbenaceae) y la más reciente a *Selaginella convoluta* (Selaginellaceae). Con el trabajo de campo realizado se incrementó sustancialmente el número de registros de la zona de estudio con 345 registros botánicos realizados en 2025 y 2026 (Cuadro 1).

Cuadro 1. Número de ejemplares de herbario digitalizados en este proyecto y número total de fotografías de plantas *in situ* para cada localidad.

|                 | Digitalizado | Fotografía | Sum |
|-----------------|--------------|------------|-----|
| <b>Abalá</b>    | 64           | 0          | 64  |
| <b>Cacao</b>    | 0            | 134        | 134 |
| <b>Mucuyché</b> | 0            | 97         | 97  |
| <b>Sacalum</b>  | 51           | 0          | 51  |
| <b>Yunkú</b>    | 0            | 114        | 114 |

En cuanto a la composición taxonómica, los registros históricos presentaban que las familias Acanthaceae y Fabaceae eran las más abundantes en la zona de estudio con 11 ejemplares cada una. A nivel de género *Diospyros* y *Neea* contaban con 5 registros cada uno. El trabajo de campo arrojó que la familia Fabaceae es la más

abundante con un total de 51 registros de colecta, seguida en importancia por las familias Euphorbiaceae y Asteraceae. A nivel genérico, *Ipomoea* fue el taxón más representativo con 13 registros totales. Por su parte, la familia Malvaceae alcanzó 16 registros, donde el género *Sida* mostró la mayor frecuencia con 8 ejemplares (Cuadro 2).

El trabajo de campo realizado registró especies de 23 familias adicionales en la zona de estudio, lo que subraya la importancia de las colectas recientes en la actualización de la flora regional. Sin embargo, se detectó una discrepancia en la persistencia de ciertos taxones; se identificaron 17 géneros y 39 especies presentes en los archivos históricos del herbario que no fueron localizados durante el trabajo de campo actual. Asimismo, existen 2 familias que cuentan con ejemplares digitalizados pero carecen de representación en las colectas recientes (Figura 3). Finalmente, se documentaron registros de baja frecuencia o rareza local, representados por las familias Asparagaceae, Caricaceae, Celastraceae y Marantaceae, las cuales cuentan con un único ejemplar registrado, lo que sugiere una distribución restringida o una baja densidad poblacional en los sitios muestreados.

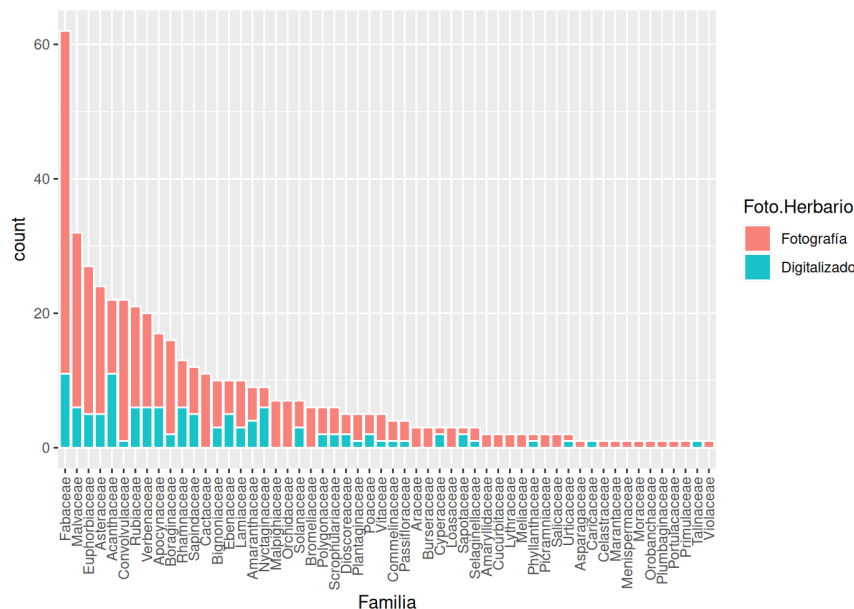


Figura 3. Gráfica donde se muestran las familias que están registradas en el herbario CICY que pertenece al color azul con nombre “Digitalizado” y el registro de las familias de las colectas que se hicieron en las comunidades que pertenecen al color rojo con nombre “Fotografía”.

Ejemplares digitalizados y colectados por comunidad

El análisis de los ejemplares digitalizados permitió identificar las familias botánicas mejor representadas dentro del conjunto de plantas útiles asociadas a las comunidades estudiadas. Se observó una mayor presencia de familias características de la vegetación de selva baja y selva mediana caducifolia de la Península de Yucatán, las cuales incluyen especies de amplio uso tradicional, medicinal, alimenticio, constructivo y ritual, como la *Jatropha gaumeri* que su uso es medicinal y la *Bromelia karatas* que su uso es alimenticio.

Asimismo se identificaron especies nativas y endémicas de interés regional, cuya presencia refuerza la importancia biocultural de las comunidades integradas al Camino del Mayab. Estas especies representan un valor estratégico tanto para la conservación de la flora local como para el fortalecimiento de iniciativas de ecoturismo comunitario basadas en el conocimiento tradicional y el manejo responsable de los recursos vegetales.

### Construcción de la biblioteca digital de planta útiles

Como producto final, se consolidó una biblioteca digital de plantas útiles de las comunidades del Camino del Mayab, integrada por los ejemplares digitalizados del Herbario CICY y los registros generados a partir del trabajo de campo, esta biblioteca incluye imágenes de alta resolución, información taxonómica y datos descriptivos asociados a cada ejemplar, constituyéndose como una herramienta de apoyo para la investigación, la educación y la toma de decisiones en proyectos de conservación y ecoturismo comunitario.

La biblioteca digital representa un recurso estratégico para la preservación del conocimiento botánico local, al tiempo que fortalece los vínculos entre la investigación científica y los procesos comunitarios de gestión del territorio.

### Discusión

El análisis comparativo entre el acervo histórico del Herbario CICY y las colectas recientes (2025-2026) permite observar un incremento en el número de registros botánicos de la zona de estudio. Este aumento representa la expansión del conocimiento florístico en una región de Yucatán que, tras el declive de la industria henequenera, atraviesa procesos de sucesión ecológica significativos. Además evidencia la importancia del monitoreo periódico de la vegetación para detectar cambios en la composición florística y vulnerabilidades en las poblaciones (Figura 2).

Aunque los registros históricos mostraban a la familia *Fabaceae* como una de las más abundantes en la zona de estudio, el trabajo de campo reafirmó este conocimiento y aumentó significativamente el número de registros para esta familia. Desde una perspectiva botánica y ecológica, la abundancia de la familia *Fabaceae* es consistente con las estrategias de adaptación en suelos calcáreos y climas

estacionales del norte de la Península de Yucatán. Su capacidad para la fijación de nitrógeno y su resistencia al estrés hídrico les otorgan una ventaja competitiva en áreas de recuperación secundaria y bordes de senderos.

A la par, la relevancia de la familia *Malvaceae*, con el género *Sida* aportando el 50% de sus registros de colecta, junto con la abundancia del género *Ipomoea* (13 registros) en la familia *Convolvulaceae*, sugiere una vegetación dominada por especies de rápido crecimiento. Estos taxones son indicadores comunes de zonas con influencia antropogénica o áreas que han experimentado perturbaciones recientes, lo cual es coherente con la historia de uso de suelo en las comunidades de la antigua zona henequenera (Bianco y Cenzano, 2018).

Un punto de discusión central son las 39 especies y 17 géneros presentes en el herbario histórico que no pudieron ser relocalizados durante las colectas actuales. Géneros como *Diospyros* y *Neea*, que históricamente contaban con una presencia establecida, no tuvieron representación en este muestreo. Esta ausencia puede interpretarse bajo tres premisas académicas:

1. Fragmentación y Pérdida de Biodiversidad: Es posible que la degradación del hábitat o cambios en el microclima local hayan reducido las poblaciones de estas especies de crecimiento lento a niveles por debajo del umbral de detección en muestreos dirigidos.
2. Sesgo Fenológico y Estacional: Muchas especies de la selva baja caducifolia presentan periodos de floración o foliación muy cortos. La ausencia de registros en campo no necesariamente implica una extinción local, sino una falta de coincidencia entre los ciclos reproductivos de la planta y las fechas de colecta.
3. Sucesión Ecológica: El ecosistema podría estar transitando hacia etapas donde las especies especialistas están siendo desplazadas por generalistas más competitivas en el contexto actual del cambio climático y uso de suelo.

Por el contrario, la identificación de 23 familias con registros nuevos para estas localidades demuestra que el inventario previo estaba subrepresentado. Este incremento evidencia que el esfuerzo de colecta actual ha logrado capturar una diversidad que el acervo histórico, limitado al periodo 1979-2010, no había alcanzado a documentar.

La metodología de registro revela un cambio de paradigma en la curaduría botánica moderna. El gráfico muestra que la fotografía es la fuente de datos dominante en casi todos los grupos taxonómicos. Si bien familias como *Acanthaceae* mantienen una base sólida de ejemplares digitalizados (físicos), la dependencia de la fotografía en familias como *Bignoniaceae* resalta la agilidad que aportan las herramientas digitales en campo. No obstante, es imperativo señalar que, aunque la fotografía facilita la identificación rápida, la digitalización de ejemplares físicos del Herbario CICY sigue siendo el estándar de oro para la validación taxonómica, especialmente

en familias con un solo registro como *Violaceae* o *Talinaceae*, donde los detalles microscópicos son determinantes.

Finalmente, la estructura de la base de datos, caracterizada por unas pocas familias dominantes y muchas familias con un solo individuo, es un indicador de una diversidad gamma elevada en el Camino del Mayab. Esto significa que el corredor actúa como un refugio de especies raras o de distribución restringida. La actualización de esta información no solo beneficia el rigor académico de la tesina, sino que proporciona una base científica sólida para la gestión bio-cultural de las comunidades mayas involucradas, asegurando que el desarrollo ecoturístico vaya de la mano con la preservación de la riqueza florística documentada.

### Conclusión

El fortalecimiento del acervo del Herbario CICY mediante la incorporación de nuevos ejemplares colectados representa un avance significativo en la documentación botánica regional. Este esfuerzo no solo permitió ampliar la cobertura geográfica y temática de la colección, sino que logró generar información primaria en zonas que carecían de registros previos, integrando datos científicos de alto valor donde no existían antecedentes.

Asimismo, la producción de imágenes de alta resolución y datos estandarizados asegura la preservación y difusión eficiente del conocimiento botánico. La futura disponibilidad de estos recursos en la plataforma de la Flora Digital de la península de Yucatán constituye una herramienta estratégica para impulsar la investigación, la etnobotánica y proyectos de conservación y ecoturismo comunitario, consolidando una base sólida para el estudio y manejo sustentable de los recursos vegetales en las comunidades analizadas.

## Bibliografía

- Beaman, R., & Cellinese, N. (2012). Mass digitization of scientific collections: New opportunities to transform the use of biological specimens and underwrite biodiversity science. *ZooKeys*, 209, 7-17. <https://doi.org/10.3897/zookeys.209.3313>
- Bianco, L., & Cenzano, A. M. (2018). Leguminosas nativas: Estrategias adaptativas y capacidad para la fijación biológica de nitrógeno. Implicancia ecológica. *Idesia (Arica)*, (ahead), 0-0. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292018005002601>
- Drew, J. A., Moreau, C. S., & Stiassny, M. L. J. (2017). Digitization of museum collections holds the potential to enhance researcher diversity. *Nature Ecology & Evolution*, 1(12), 1789-1790. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0401-6>
- Gómez, J. (2025, agosto 19). *La lucha por la justicia ambiental en México: El caso de la península de Yucatán*. Greenpeace México. <https://www.greenpeace.org/mexico/blog/60318/la-lucha-por-la-justicia-ambiental-en-mexico-el-caso-de-la-peninsula-de-yucatan/>
- Hardisty, A. R., Ellwood, E. R., Nelson, G., Zimkus, B., Buschbom, J., Addink, W., Rabeler, R. K., Bates, J., Bentley, A., Fortes, J. A. B., Hansen, S., Macklin, J. A., Mast, A. R., Miller, J. T., Monfils, A. K., Paul, D. L., Wallis, E., & Webster, M. (2022). Digital Extended Specimens: Enabling an Extensible Network of Biodiversity Data Records as Integrated Digital Objects on the Internet. *BioScience*, 72(10), 978-987. <https://doi.org/10.1093/biosci/biac060>
- Harris, K. M., & Marsico, T. D. (2017). Digitizing specimens in a small herbarium: A viable workflow for collections working with limited resources. *Applications in Plant Sciences*, 5(4), 1600125. <https://doi.org/10.3732/apps.1600125>

- Hedrick, B. P., Heberling, J. M., Meineke, E. K., Turner, K. G., Grassa, C. J., Park, D. S., Kennedy, J., Clarke, J. A., Cook, J. A., Blackburn, D. C., Edwards, S. V., & Davis, C. C. (2020). Digitization and the Future of Natural History Collections. *BioScience*, 70(3), 243-251. <https://doi.org/10.1093/biosci/biz163>
- Nelson, G., & Ellis, S. (2018). The Impact of Digitization and Digital Data Mobilization on Biodiversity Research and Outreach. *Biodiversity Information Science and Standards*, 2, e28470. <https://doi.org/10.3897/biss.2.28470>
- Posit team. (2026). *RStudio: Integrated Development Environment for R. Posit Software* (Versión 2026.1.1.403) [Software]. Posit Software. <http://www.posit.co/>
- R Core Team. (2024). *R: A Language and Environment for Statistical Computing* [Software]. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- 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>
- WFO. (2026). *World Flora Online*. <https://www.worldfloraonline.org/>
- Zhang, J., & Qian, H. (2023). U.Taxonstand: An R package for standardizing scientific names of plants and animals. *Plant Diversity*, 45(1), 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.pld.2022.09.001>