



HERBARIO DIGITAL: REVISIÓN Y LINEAMIENTOS ESTRATÉGICOS PARA FORTALECER LA DOCUMENTACIÓN FLORÍSTICA EN MANABÍ, ECUADOR

DIGITAL HERBARIUM: REVIEW AND STRATEGIC GUIDELINES TO STRENGTHEN FLORISTIC DOCUMENTATION IN MANABÍ, ECUADOR

Peter Robert Vera Maldonado^{1*}

E-mail: prvera@espam.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7981-6582>

Silvia Lorena Montero Cedeño¹

E-mail: smontero@espam.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9089-5001>

¹Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí. Calceta, Ecuador.

*Autor para correspondencia

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Vera Maldonado, P. R., & Montero Cedeño, S. L. (2026). Herbario Digital: Revisión y lineamientos estratégicos para fortalecer la documentación florística en Manabí, Ecuador. *Universidad y Sociedad* 18(2). e5801.

RESUMEN:

El estudio tuvo como objetivo analizar la importancia y el desarrollo de los herbarios digitales mediante una revisión bibliográfica que permitiera formular directrices estratégicas para fortalecer la documentación florística en la provincia de Manabí. Para ello, se aplicó una metodología de revisión integrativa con apoyo de elementos de revisión sistemática, lo que permitió organizar y comparar veinte artículos científicos y fuentes complementarias seleccionadas bajo criterios de pertinencia, calidad y actualidad. Los resultados evidenciaron que los herbarios digitales se consolidan como infraestructuras esenciales para la conservación, investigación y gestión de la biodiversidad, y para la academia, ya que facilitan la estandarización de datos, la interoperabilidad global y el acceso abierto al conocimiento botánico, lo que impulsa la colaboración entre instituciones, investigadores y estudiantes, ampliando el impacto formativo y científico. Asimismo, la revisión mostró que estos repositorios requieren estándares técnicos rigurosos, estructuras institucionales sólidas y participación comunitaria para garantizar su sostenibilidad. A partir de estos hallazgos se diseñaron directrices distribuidas en tres dimensiones: técnica, organizativa y socioeducativa, orientadas a la creación y fortalecimiento de un herbario digital en Manabí. En conclusión, la integración de estas directrices permite consolidar una

propuesta viable y necesaria para documentar la flora provincial, mejorar el acceso a datos botánicos y apoyar acciones de conservación en un territorio diverso y ambientalmente vulnerable.

Palabras clave: Herbario digital, Biodiversidad, Conservación, Digitalización.

ABSTRACT:

The study aimed to analyze the importance and development of digital herbaria through a literature review that would allow for the formulation of strategic guidelines to strengthen floristic documentation in the province of Manabí. To this end, an integrative review methodology was applied, supported by elements of systematic review. This allowed for the organization and comparison of twenty scientific articles and complementary sources selected according to criteria of relevance, quality, and currency. The results showed that digital herbaria are becoming essential infrastructures not only for the conservation, research, and management of biodiversity, but also for academia, as they facilitate data standardization, global interoperability, and open access to botanical knowledge. This fosters collaboration among institutions, researchers, and students, expanding their educational and scientific impact. Furthermore, the review revealed that these repositories require rigorous technical standards, robust

INTRODUCCIÓN

A escala mundial, los herbarios digitales se han convertido en una infraestructura esencial para documentar la biodiversidad vegetal. Davis (2023) señala que existen “cerca de 400 millones de especímenes distribuidos en aproximadamente 3.000 herbarios” (p. 2), cuya digitalización está formando un metaherbario global que integra datos históricos y actuales. Este avance permite, por ejemplo, acelerar procesos de identificación, análisis fenológicos y estudios de conservación. De igual modo, se afirma que la digitalización “está revolucionando la investigación sobre la biodiversidad al acelerar la descripción de especies nuevas para la ciencia” (Klopper et al. (2025).

En Ecuador, los avances en digitalización de herbarios han surgido principalmente desde instituciones científicas y educativas que buscan estandarizar y organizar la información florística nacional. Investigaciones como la de Guaipacha (2024) evidencian que los herbarios digitales fortalecen el aprendizaje, la sistematización de especies y el desarrollo de habilidades científicas en estudiantes. Al mismo tiempo, estudios históricos como los de Cornejo (2022) evidencia que gran parte de las colecciones de la flora costera incluidos registros de la provincia de Manabí se encuentran dispersas en herbarios internacionales, lo que refuerza la necesidad de contar con repositorios digitales accesibles en el país.

Sin embargo, Ecuador enfrenta dificultades asociadas a la falta de digitalización integral, la dispersión de registros florísticos y la limitada accesibilidad a información botánica regional. Cornejo (2022) advierte que muchas colecciones históricas del litoral son depositadas en herbarios extranjeros, complicando su consulta y actualización. Del mismo modo, O'Brien & Cabrera (2024) evidencian que en zonas vulnerables como el bosque seco tropical de Manabí existe un vacío de registros sistemáticos, afectando el monitoreo y la conservación frente a presiones antrópicas. Esta situación coincide con lo señalado por Klopper et al. (2025), quienes destacan que la falta de infraestructura digital y financiamiento limita el cumplimiento de metas internacionales en biodiversidad.

En este escenario, se justifica la necesidad de establecer lineamientos estratégicos para un herbario digital en Manabí, dado que esta herramienta facilita el acceso a datos botánicos y fortalece la investigación, la educación y la conservación. Como muestra Dos Querales (2019) los herbarios digitales permiten preservar saberes tradicionales y difundir conocimiento biocultural dentro de las comunidades. Asimismo, Tanan Da Silva (2021) evidencia que estos recursos articulan saberes científicos y locales,

favoreciendo procesos educativos en territorios con alta riqueza ecológica. Por ello, un herbario digital en Manabí representa una oportunidad estratégica para documentar su flora, unificar registros y fortalecer la conservación en un territorio diverso y vulnerable.

El análisis del estado del arte evidencia la consolidación de los herbarios digitales como infraestructuras esenciales. Davis (2023) describe cómo la interconexión global de millones de especímenes ha permitido ampliar estudios de fenología, distribución y conservación. Del mismo modo, Klopper et al. (2025) destacan que la movilización digital de datos está transformando la taxonomía y la evaluación de especies amenazadas. Por su parte, Borsch et al. (2020) enfatizan la necesidad de estándares técnicos como DarwinCore y ABCD para garantizar interoperabilidad internacional.

Asimismo, experiencias como las de De Smedt et al. (2024) demuestran que la digitalización masiva como la realizada en Meise con 2.8 millones de especímenes requiere planificación curatorial rigurosa, control de calidad y publicación bajo principios FAIR esto es, que los datos sean *Findable* (encontrables), *Accessible* (accesibles), *Interoperable* (interoperables) y *Reusable* (reutilizables), considerados estándares internacionales para la gestión y preservación de información científica. Así también, Niedzielski & Markiewicz (2023) muestran cómo proyectos digitales integrados pueden incluso habilitar usos comerciales y aplicaciones innovadoras basadas en datos botánicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se desarrolló bajo un diseño cualitativo de tipo documental, centrado en la revisión, organización y análisis crítico de literatura científica sobre herbarios digitales y su aplicación en procesos de documentación florística. Este enfoque permitió comprender en profundidad los avances, enfoques y desafíos reportados en la literatura, así como identificar patrones y principios transferibles al contexto de la provincia de Manabí. Se adoptó un enfoque descriptivo-analítico, que facilitó el examen sistemático de los contenidos, aportes y limitaciones de los estudios revisados. Las revisiones de literatura permiten integrar conocimiento disperso y generar propuestas fundamentadas a partir de tendencias conceptuales y empíricas identificadas en los textos, lo que permitió contextualizar la información y extraer lecciones aplicables al fortalecimiento de herbarios digitales en la región.

Para la recolección de información se empleó el método de revisión integrativa, entendido como un proceso que

articula diversas fuentes científicas para ofrecer una visión amplia y consolidada del fenómeno. Además, se incorporan elementos del protocolo de revisión sistemática especialmente en lo relativo a la búsqueda, selección y comparación de estudios, lo que permite contrastar aportes técnicos, institucionales y socioeducativos, facilitando la formulación de lineamientos estratégicos adaptables al contexto de Manabí.

La información se obtiene a partir de artículos científicos de acceso confiable, seleccionados de bases de datos académicas como Scopus, Web of Science, SciELO y Google Scholar, complementados con reportes institucionales y documentos especializados. La búsqueda incluye términos como *digital herbaria*, *herbarium digitization*, *biodiversity documentation*, *fenología*, *conservación*, *herbario digital Ecuador* y *digital plant collections*. Para garantizar la validez y trazabilidad del proceso, se aplicaron criterios de selección, considerando publicaciones entre 2019 y 2025, pertinencia directa con herbarios digitales y documentación florística, calidad metodológica de los artículos y disponibilidad de información relevante para la construcción de directrices estratégicas. El corpus final integró artículos de alto rigor procedentes de diversas regiones, complementados con documentos educativos y comunitarios, ampliando la perspectiva hacia usos participativos y académicos.

El análisis se desarrolló mediante un proceso de revisión temática y comparativa. Inicialmente, se realizó una lectura detallada de los estudios seleccionados, organizando la información en categorías relacionadas con digitalización, estándares técnicos, gestión institucional y participación comunitaria. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis comparado para identificar patrones, coincidencias y vacíos presentes en la literatura. Finalmente, los hallazgos se integraron en una síntesis estructurada que permitió derivar directrices estratégicas orientadas al fortalecimiento de un herbario digital en Manabí.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La literatura científica coincide en que los herbarios digitales se han convertido en una infraestructura clave para la organización y el acceso a la información botánica a escala global. Davis (2023) señala que existen alrededor de 400 millones de especímenes distribuidos en aproximadamente 3.000 herbarios, los cuales son fundamentales para conocer dónde han vivido las plantas en el pasado, prever sus rangos futuros y definir su estado de conservación. A partir de la digitalización, movilización e interconexión abierta de estos especímenes está surgiendo un “metaherbario global” que integra datos históricos y contemporáneos, permitiendo trabajar con la

biodiversidad a escalas antes imposibles. Esta noción de metaherbario resume bien la función central de los herbarios digitales: actuar como un sistema integrado de información que organiza millones de registros botánicos y los pone a disposición de la comunidad científica y de otros usuarios de forma estandarizada y accesible.

En cuanto a sus funciones científicas, los herbarios digitales sostienen una amplia gama de investigaciones botánicas y ecológicas. Davis (2023) describe cómo las colecciones digitalizadas permiten desarrollar inventarios florísticos de gran alcance, como el del Amazonas apoyado por REFLORA o la flora de Nueva Guinea, donde se identifican alrededor de 13.000 especies con un 70 % de endemismo. Asimismo, el autor destaca que los herbarios son la base para estudios de fenología, interacciones planta-animal, herbivoría, rasgos funcionales y análisis de moléculas pequeñas, lo que amplía su papel más allá de la taxonomía clásica hacia enfoques ecológicos y evolutivos complejos. A esto se suma el avance de la herbariomics, que utiliza secuenciación de ADN de especímenes históricos para estudiar diversidad genética y procesos evolutivos, mostrando cómo los herbarios digitales articulan información morfológica, espacial y genética dentro de un mismo sistema de datos (Petruk & Kovtonyuk, 2024).

De manera complementaria, otros trabajos subrayan que la digitalización de herbarios está “revolucionando la investigación sobre la biodiversidad al acelerar la descripción de especies nuevas para la ciencia” y mejorar las evaluaciones de conservación (Klopper et al., 2025). Los autores explican que los datos digitalizados del herbario sustentan investigaciones críticas como la taxonomía alfa, las evaluaciones de la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y el mapeo de ecosistemas, convirtiendo a los herbarios en nodos estratégicos para la toma de decisiones en contextos de cambio climático y pérdida de biodiversidad. De este modo, la función de los herbarios digitales ya no se limita al almacenamiento pasivo de especímenes, sino que se orienta a una provisión activa de información para análisis regionales y globales, con un impacto directo en la planificación de la conservación y en la formulación de políticas ambientales.

En relación con la organización y estandarización de la información, diversos estudios enfatizan la necesidad de infraestructuras técnicas robustas. Borsch et al. (2020) muestran que Alemania posee aproximadamente 22,8 millones de especímenes en sus herbarios, de los cuales el 87 % no estaba digitalizado en 2019 (p. 4), lo que evidencia una brecha considerable entre el volumen de colecciones físicas y su disponibilidad en línea. No obstante,

los autores señalan que países como Francia, Países Bajos, Finlandia, Estados Unidos y Australia han logrado digitalizar colecciones completas mediante procesos de alto rendimiento, demostrando que la digitalización masiva es viable y costo-eficiente. Para ello, se requiere el uso de protocolos estandarizados como ABCD y DarwinCore, portales de acceso como GBIF y herramientas de enriquecimiento semántico y anotación, elementos que permiten organizar la información botánica de forma interoperable y reutilizable (Kovtonyuk et al., 2020).

La literatura también evidencia beneficios concretos en el acceso y en la reutilización de datos botánicos. Niedzielski & Markiewicz (2023) analizan las colecciones de Herbarium Pomeranicum y muestran cómo la digitalización, más que un simple escaneo, implica integrar los especímenes en sistemas digitales que permiten su reutilización, análisis y amplia difusión. En este caso, se desarrollan APIs para gestionar datos, intercambiar información con GBIF, publicar geodatos en entornos GIS y exportar en formatos científicos como CSV, XML o TXT, garantizando compatibilidad con estándares internacionales como TAPIR, OGC, WMS, WFS y ATPOL. Además, la liberación de datos bajo licencia CC BY-SA 3.0 facilita su uso, redistribución y explotación comercial por parte de científicos, administraciones públicas y empresas, lo que evidencia que los herbarios digitales pueden contribuir tanto al conocimiento científico como al desarrollo de servicios innovadores basados en información botánica (Setiawan et al., 2020). Desde esta perspectiva, el beneficio principal reside en “ver” las imágenes de los especímenes, además de trabajar con los datos de manera abierta y versátil.

Otro grupo de trabajos aporta ejemplos concretos de proyectos de digitalización que ilustran funciones y beneficios específicos. Papa et al. (2025) describen la digitalización del Herbarium TAR, una colección marina con más de 500 especies recolectadas entre 1982 y 2025 en el Mar Grande y Mar Piccolo de Taranto. Allí, la digitalización se realiza bajo estándares internacionales de imagen y principios FAIR, alcanzando 353 especímenes digitalizados con metadatos estructurados en Darwin Core y niveles de completitud MIDS 2. Este esfuerzo ha permitido analizar patrones temporales de colecta, identificar especies no indígenas y utilizar la colección como base para estudios de biodiversidad marina, monitoreo ecológico, cambio climático, invasiones biológicas y conservación. De manera similar, De Smedt et al. (2024) presentan la experiencia del Jardín Botánico de Meise, donde se digitalizan 2,8 millones de especímenes dentro de una colección de 4 millones, organizando diez lecciones clave sobre inventario, priorización, flujos de trabajo, control de calidad y

almacenamiento a largo plazo. Estos casos muestran que los herbarios digitales cumplen funciones de archivo, monitoreo y análisis de largo plazo cuando se articulan con marcos como el Global Biodiversity Framework y se publican datos siguiendo principios FAIR.

Asimismo, los herbarios se reconocen como pilares históricos y patrimoniales cuya digitalización amplifica su alcance. Rostański et al. (2024) repasan la evolución de los herbarios desde el siglo XVI y documentan la existencia de cerca de 4.000 herbarios en el mundo, con alrededor de 3.000 activos y aproximadamente 390 millones de especímenes, de ellos Europa concentra unos 700 herbarios y 175 millones de muestras. El estudio subraya que estas colecciones son fundamentales para la taxonomía, la florística y la fitogeografía, pues contienen materiales tipo y registros históricos que permiten revisar géneros complejos, elaborar mapas de distribución, documentar especies nuevas, registrar plantas invasoras y reconstruir rutas de expansión, como en el caso de Reynoutria japónica. La digitalización, en este contexto, refuerza el valor patrimonial y científico de las colecciones, a la vez que facilita su integración en bases de datos regionales y globales, imprescindibles para estudios de modelamiento climático, paleogenómica y biodiversidad contemporánea.

Más allá de la investigación estrictamente botánica, varios trabajos muestran que los herbarios digitales cumplen funciones educativas, culturales y comunitarias que amplían sus beneficios. León & Guzmán (2020) evidencian que la creación de un herbario digital en una escuela rural de Colombia, en el marco del modelo Escuela Nueva, fortalece el aprendizaje colaborativo y el desarrollo de habilidades como la exploración, la búsqueda de información y la generación de contenidos basados en repositorios y fuentes calificadas. De forma convergente, Tanan Da Silva (2021) describe una experiencia en la Escola Família Agrícola Avaní de Lima Cunha, donde el herbario digital articula conocimientos tradicionales y científicos sobre plantas medicinales, alimenticias y de la Caatinga, fomentando el sentido de pertenencia de los estudiantes y superando la resistencia habitual hacia la botánica. De hecho, el sitio web del herbario fue reorganizado por grupos funcionales y se convirtió en un recurso educativo activo, lo que ilustra cómo la digitalización puede integrar biodiversidad, cultura y tecnología en procesos pedagógicos y académicos contextualizados.

La función educativa y de valorización del patrimonio también se observa en ámbitos como la arqueobotánica y el patrimonio biocultural. Musaubach et al. (2021) reseñan los protocolos de confección y digitalización de un muestrario y una colección histológica vinculados al estudio del patrimonio culinario centro-surandino, que incluye

plantas andinas y productos derivados como harinas, chicha o mote. Esta colección, registrada en una base de datos digital, sirve de referencia para investigaciones arqueobotánicas, además que contribuye a la visibilización, salvaguardia y gestión del patrimonio biocultural comunitario. De manera indirecta, estos ejemplos muestran que los herbarios digitales pueden organizar información botánica asociada a usos alimentarios, medicinales y culturales, generando beneficios que trascienden el ámbito académico e inciden en la identidad y la memoria colectiva de las comunidades (Kovtonyuk & Troshkina, 2022).

Al mismo tiempo, la literatura revisada identifica desafíos importantes para la organización y el acceso a la información botánica a través de herbarios digitales. Un primer reto es la brecha entre el volumen de colecciones físicas y su grado de digitalización, como se observa en el caso alemán, donde el 87 % de los 22,8 millones de especímenes no estaba digitalizado en 2019 (Borsch et al., 2020). De Smedt et al. (2024) señalan que, a escala global, la mayoría de los aproximadamente 400 millones de especímenes sigue sin digitalizar, lo que exige priorizar colecciones, asegurar recursos tecnológicos, establecer flujos de trabajo claros y mantener controles de calidad rigurosos para imágenes y transcripciones. Estas exigencias ponen de manifiesto que la digitalización no es un proceso meramente técnico, sino una transformación profunda del trabajo curatorial y de la gestión de colecciones.

Un segundo desafío se relaciona con las desigualdades geográficas y estructurales. Klopper et al. (2025) muestran que los herbarios africanos enfrentan barreras de financiación, capacidad y de infraestructura física y digital, pese a que grandes esfuerzos en el hemisferio norte están haciendo disponibles en línea numerosos especímenes africanos. Este desequilibrio, según los autores, dificulta que el continente cumpla metas del Marco Mundial para la Diversidad Biológica Kunming-Montreal, por lo que instan a fortalecer redes de colaboración y aprovechar tecnologías como la inteligencia artificial para acelerar la digitalización. De acuerdo con este planteamiento, la organización y el acceso equitativo a la información botánica dependen de la tecnología, y también de políticas de cooperación, inversión y fortalecimiento institucional que reduzcan brechas entre regiones.

Finalmente, varios autores advierten desafíos de largo plazo en términos de sostenibilidad, memoria y gobernanza de los datos. Niedzielski & Markiewicz (2023) destacan que la digitalización implica asegurar disponibilidad, seguridad y acceso sostenido, como ilustra el uso de tres centros de datos espejo con amplia capacidad de almacenamiento en Herbarium *Pomeranicum*. De Smedt et al. (2024) enfatizan la necesidad de garantizar el almacenamiento a largo plazo mediante formatos como TIFF, sistemas redundantes y copias externas, mientras que Rostański et al. (2024) subrayan los riesgos de pérdida institucional y financiera que aún enfrentan muchos herbarios. Frente a ello, la literatura coincide que la consolidación de herbarios digitales requiere resolver cuestiones técnicas, además de reconocer estas colecciones como parte del patrimonio científico nacional y global, asegurando marcos de gestión que permitan su continuidad y actualización. Las funciones, beneficios y desafíos identificados delimitan un campo en rápida evolución, que resulta especialmente pertinente para iniciativas como la propuesta de un herbario digital para la documentación florística en Manabí.

La evidencia analizada permite establecer un conjunto de lineamientos estratégicos orientados a garantizar que un herbario digital en Manabí sea técnicamente sólido, institucionalmente viable y socialmente pertinente. Estas directrices se agrupan en tres dimensiones: técnica, organizativa y socioeducativa, cada una sustentada en hallazgos provenientes de las experiencias internacionales y regionales revisadas.

La primera dimensión aborda los aspectos técnicos que determinan la confiabilidad y utilidad científica de los herbarios digitales. Se basa en las recomendaciones de autores que han documentado procesos masivos de digitalización, señalando la importancia de adoptar estándares internacionales, mantener calidad de imagen, garantizar almacenamiento seguro y promover acceso abierto (Klopper et al., 2025). Estas directrices constituyen el núcleo operativo del herbario digital de la provincia de Manabí, pues permiten que los datos generados sean comparables, reutilizables e integrables a redes globales como GBIF. Ver tabla 1.

Tabla 1: Directrices técnicas para la digitalización, estandarización y calidad de datos.

Directriz estratégica	Acciones sugeridas	Indicadores de cumplimiento
Adoptar estándares internacionales de datos (Darwin Core, ABCD, MIDS, FAIR)	Implementar metadatos estructurados; usar taxonomía actualizada; garantizar interoperabilidad con GBIF y plataformas nacionales.	% de registros con metadatos completos; grado de compatibilidad con GBIF.

Directriz estratégica	Acciones sugeridas	Indicadores de cumplimiento
Establecer un protocolo de digitalización con flujos de trabajo claros	Definir procesos de preparación, fotografía, escaneo a 600 dpi, control de color, barras de escala y curaduría previa.	Número de especímenes digitalizados con control de calidad; tiempo promedio de procesamiento.
Crear infraestructura segura de almacenamiento y respaldo	Usar servidores locales + copias espejo externas; formatos TIFF; sistemas redundantes.	Existencia de respaldos mensuales; capacidad de almacenamiento disponible.
Garantizar control de calidad en imágenes y transcripciones	Establecer doble verificación; revisión taxonómica; auditorías periódicas.	% de registros validados; errores detectados por lote.
Asegurar acceso abierto y licenciamiento adecuado	Publicar datos con licencias abiertas; habilitar portal público.	Portal activo; número de descargas y consultas.

La segunda dimensión considera la estructura institucional necesaria para sostener el proyecto en el tiempo. La literatura revisada muestra que los procesos de digitalización requieren equipos especializados, financiamiento estable, redes de colaboración y una organización interna clara. Estas directrices permiten que el herbario digital no sea un esfuerzo aislado, sino un sistema articulado con instituciones locales, nacionales e internacionales. Ver tabla 2.

Tabla 2: Directrices organizativas y de gestión institucional.

Directriz estratégica	Acciones sugeridas	Indicadores de cumplimiento
Crear una unidad técnica de herbario digital en Manabí	Integrar especialistas en botánica, SIG, informática y digitalización.	Equipo conformado; roles definidos.
Priorizar colecciones según relevancia científica y urgencia ecológica	Focalizar especies endémicas, amenazadas o propias de ecosistemas vulnerables.	% de especímenes priorizados; número de especies focales.
Establecer alianzas con instituciones nacionales e internacionales	Vincular universidades, ONGs, MAATE, INABIO y plataformas globales.	Convenios firmados; proyectos colaborativos activos.
Garantizar financiamiento sostenido y progresivo	Gestionar fondos públicos, cooperación internacional y proyectos educativos.	Presupuesto anual asignado; porcentaje de ejecución.
Implementar un sistema de monitoreo y evaluación continua	Definir indicadores, reportes trimestrales y evaluaciones técnicas.	Informes de avance; cumplimiento de metas.

La tercera dimensión reconoce que un herbario digital también debe articularse con las comunidades, instituciones educativas y actores territoriales. Los estudios revisados evidencian que la participación ciudadana y la educación ambiental fortalecen el valor social del herbario y promueven la conservación activa. Estas directrices permiten que el herbario digital de la provincia de Manabí no sea únicamente una base de datos, sino un instrumento vivo, apropiado y utilizado por la población. Ver tabla 3.

Tabla 3. Directrices comunitarias, educativas y de apropiación social del conocimiento.

Directriz estratégica	Acciones sugeridas	Indicadores de cumplimiento
Incorporar participación comunitaria en el registro de especies	Talleres rurales; integración de saberes locales; registro colaborativo.	Número de talleres; especies documentadas con aporte comunitario.
Desarrollar recursos educativos vinculados al herbario digital	Crear módulos y guías; fomentar proyectos escolares y universitarios.	Instituciones participantes; materiales publicados.
Promover educación ambiental sobre ecosistemas de Manabí	Elaborar guías del bosque seco, manglares y especies emblemáticas.	Número de descargas; actividades realizadas.
Integrar el herbario en estrategias de conservación territorial	Elaborar reportes para municipios, áreas protegidas y ONGs.	Reportes emitidos; decisiones basadas en datos.
Diseñar un portal público amigable y accesible	Interfaz visual; buscadores; mapas interactivos; fotografías y fichas.	Tráfico mensual; interacción de usuarios.

DISCUSIÓN

Los resultados de la revisión muestran que existe un consenso amplio entre los autores sobre el papel estratégico que desempeñan los herbarios digitales en la investigación botánica contemporánea. Mientras Davis (2023) describe la conformación de un metaherbario global que integra cientos de millones de especímenes, otros trabajos como los de Klopper et al. (2025) destacan que la digitalización acelera procesos críticos de descubrimiento y evaluación de especies. En ambos enfoques se observa que los herbarios digitales dejan de ser repositorios estáticos para



convertirse en plataformas dinámicas capaces de articular datos históricos, geográficos, genéticos y ecológicos, esto evidencia su impacto transversal en diversas áreas del conocimiento.

Asimismo, la comparación entre regiones revela diferencias estructurales que condicionan el aprovechamiento de estas herramientas. Mientras países con infraestructura consolidada como Alemania, Polonia o Bélgica avanzan hacia la digitalización masiva con protocolos estandarizados y flujos de trabajo bien definidos (Borsch et al., 2020; De Smedt et al., 2024; Rostański et al., 2024), otras regiones enfrentan barreras significativas, como ocurre en África, donde Klopper et al. (2025) identifican limitaciones de financiamiento y capacidad técnica. Esta asimetría evidencia que los herbarios digitales no dependen únicamente de tecnología, sino también de políticas institucionales, redes de colaboración y marcos de gobernanza que garanticen sostenibilidad y acceso equitativo.

En contraste, los estudios que abordan experiencias educativas y comunitarias amplían la comprensión sobre la utilidad de los herbarios digitales más allá del ámbito científico. Investigaciones como las de Dos Querales (2019); León & Guzmán (2020); y Tanan Da Silva (2021), muestran que la digitalización favorece el aprendizaje, la apropiación del conocimiento local y la preservación del patrimonio biocultural, integrando saberes tradicionales y académicos. Estos resultados permiten afirmar que los herbarios digitales organizan información botánica, además fortalecen vínculos entre comunidades, instituciones y territorios, lo que amplía su pertinencia para contextos con alto valor cultural y ecológico.

Otro aspecto relevante es la evidencia que los herbarios digitales permiten detectar patrones ecológicos, temporales y espaciales que de otro modo pasarían desapercibidos. El caso del Herbarium TAR, presentado por Paredes et al. (2023) demuestra que la digitalización sistemática facilita identificar especies no indígenas, variaciones temporales de colecta y tendencias asociadas al cambio ambiental. De igual manera, estudios como los de Caranqui et al. (2021) muestran que los datos de herbario permiten analizar fenología reproductiva a lo largo del año, información clave para el manejo y la conservación de especies. Estos resultados revelan que la digitalización conserva información, y la hace operativa para responder preguntas sobre dinámica ecosistémica y procesos ambientales emergentes.

Desde esta perspectiva, las condiciones ecológicas y sociales de Manabí evidencian una oportunidad concreta para aprovechar estas herramientas. La revisión muestra que la flora de la costa ecuatoriana tiene registros

dispersos en herbarios extranjeros y nacionales, que dificulta el acceso a información actualizada (Cornejo, 2022). A ello se suma la presión que enfrentan ecosistemas como el bosque seco tropical, donde la ausencia de registros sistemáticos limita el monitoreo y la conservación. Frente a este escenario, implementar un herbario digital en Manabí permite centralizar información, documentar especies en riesgo, apoyar investigaciones locales y promover acciones educativas y comunitarias con base en datos confiables.

Las directrices técnicas planteadas se justifican en la literatura, que insiste en la necesidad de estandarización y calidad de datos e interoperabilidad. Davis (2023) destaca que el metaherbario global solo es posible cuando los especímenes digitalizados siguen estructuras comunes, mientras que Borsch et al. (2020) recalcan que protocolos como Darwin Core y ABCD son esenciales para asegurar la validez científica de la información. Del mismo modo, De Smedt et al. (2024) evidencian que la digitalización masiva requiere flujos de trabajo claros y control de calidad continuo, aspectos fundamentales para garantizar que un herbario digital en Manabí se integre adecuadamente a redes como GBIF.

En el plano organizativo, la literatura subraya que el éxito de los herbarios digitales depende de instituciones sólidas y financiamiento estable. Klopper et al. (2025) muestran que, cuando existen limitaciones de infraestructura o capacidad técnica, los procesos de digitalización se retrasan significativamente, situación comparable a los desafíos presentes en varias provincias del Ecuador. A ello se suma lo señalado por Rostański et al. (2024), quienes advierten que incluso sistemas consolidados enfrentan riesgos cuando carecen de equipos profesionales dedicados. Por ello, la creación de una unidad técnica provincial y la articulación con universidades e instituciones nacionales resultan directrices prioritarias para Manabí.

La dimensión socioeducativa también emerge como un componente clave de la propuesta. Investigaciones como León & Guzmán (2020); y Tanan Da Silva (2021) muestran que los herbarios digitales favorecen el aprendizaje, fortalecen la relación con la flora local y articulan saberes comunitarios y científicos. Asimismo, Dos Querales (2019) demuestra que el registro digital puede convertirse en un recurso para preservar el conocimiento tradicional. Estos hallazgos respaldan la necesidad de que el herbario digital de Manabí incorpore participación ciudadana y programas educativos que lo conviertan en una herramienta socialmente significativa.

Finalmente, la convergencia entre estas tres dimensiones confirma que un herbario digital efectivo debe equilibrar

calidad técnica, sostenibilidad institucional y pertinencia social. Experiencias como las descritas por Guaipacha (2024); y Papa et al. (2025), muestran que los proyectos más exitosos son aquellos que integran rigurosidad, acceso abierto y participación comunitaria.

CONCLUSIONES

La revisión de la literatura evidencia que los herbarios digitales se han consolidado como una herramienta indispensable para la organización y acceso a la información botánica. Su capacidad para integrar grandes volúmenes de datos, estandarizarlos y ponerlos a disposición en plataformas abiertas ha transformado la manera en que se investiga, interpreta y gestiona la biodiversidad. Estos sistemas permiten acelerar procesos de identificación, monitoreo y conservación, además de también ampliar las posibilidades de análisis ecológico, genético y biogeográfico.

Asimismo, se observa que los herbarios digitales cumplen funciones educativas, culturales y comunitarias, contribuyendo a la preservación del patrimonio natural y al fortalecimiento de la participación social en torno al conocimiento de las plantas, no obstante, persisten desafíos vinculados con la digitalización incompleta, las brechas tecnológicas, la sostenibilidad de los datos y las desigualdades institucionales.

La propuesta de directrices estratégicas demuestra que un herbario digital en la provincia de Manabí, en Ecuador, puede convertirse en una herramienta esencial para organizar, preservar y difundir la información florística de la provincia. Integrar criterios técnicos, institucionales y socioeducativos permite asegurar su calidad, sostenibilidad y utilidad para la investigación y la conservación. Además, la participación comunitaria y la articulación con actores educativos fortalecen la apropiación social del proyecto. En conjunto, estas directrices ofrecen un marco claro para impulsar un herbario digital capaz de responder a las necesidades científicas y ambientales del territorio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Borsch, T., Stevens, A.-D., Häffner, E., Güntsch, A., Berendsohn, W. G., Appelhans, M. S., Barilaro, C., Beszteri, B., Blattner, F. R., Bossdorf, O., Dalitz, H., Dressler, S., Duque-Thüs, R., Esser, H.-J., Franzke, A., Goetze, D., Grein, M., Grünert, U., Hellwig, F., Hentschel, J., ... Zizka, G. (2020). A complete digitization of German herbaria is possible, sensible and should be started now. *Research Ideas and Outcomes*, 6, e50675. <https://doi.org/10.3897/rio.6.e50675>
- Caranqui, J., Guilcapi, E., Espinoza, V., & Ortiz, L. (2021). Fenología reproductiva en base de datos de herbarios de *Vaccinium floribundum* Kunth (Ericaceae), Ecuador. *Dominio de Las Ciencias*, 7(5), 922–936. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8383847>
- Cornejo, X. (2022). Estudios botánicos en la costa de Ecuador. *Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales*, 16(2), 407–421. <https://doi.org/10.53591/cna.v16i2.1871>
- Davis, C. C. (2023). The herbarium of the future. *Trends in Ecology & Evolution*, 38(5), 412–423. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2022.11.015>
- De Smedt, S., Bogaerts, A., De Meeter, N., Dillen, M., Engledow, H., Van Wambeke, P., Leliaert, F., & Groom, Q. (2024). Ten lessons learned from the mass digitization of a herbarium collection. *PhytoKeys*, 244, 23–37. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.244.120112>
- Dos Querales, V. (2019). Herbario digital de plantas medicinales en el territorio de la comuna Adrián Moncada. *Red De Investigación Educativa*, 11(2), 117–128. <https://revistas.uclave.org/index.php/redine/article/view/2257>
- Guaipacha, T. (2024). El herbario digital como recurso de aprendizaje de Biología vegetal con estudiantes de tercer semestre de la Carrera de Pedagogía de las Ciencias Experimentales Química y Biología [Tesis de grado, Universidad Nacional de Chimborazo].
- Klopper, R., Steyn, H., Baider, C., Bytebier, B., Dayaram, A., Florens, F. V., Rakotonirina, N., & Raimondo, D. (2025). Digitalización de especímenes de herbario en beneficio de la investigación: una perspectiva africana centrada en Sudáfrica y los estados insulares del Océano Índico occidental. *Plants People Planet*, 1–15. <https://doi.org/10.1002/ppp3.70117>
- Kovtonyuk, N. K., & Troshkina, V. I. (2022). *Geranium (Geraniaceae) in the digital herbarium of the Central Siberian Botanical Garden SB RAS. Botanica Pacifica*, 11(2), 183–186. <https://doi.org/10.17581/bp.2022.11217>
- Kovtonyuk, N., Han, I., Gatilova, E., & Friesen, N. (2020). *Genus Allium in CSBG Digital Herbarium. BIO Web of Conferences*, 24. <https://doi.org/10.1051/bio-conf/20202400042>
- León, L., & Guzmán, I. (2020). Creación de un herbario digital como estrategia didáctica para el fortalecimiento del aprendizaje colaborativo en el área de Ciencias Naturales en una escuela rural [Tesis de grado, Universidad de Antioquia].
- Musaubach, M. G., Ahumada, O., Plos, A., Sato, H., Romero, H. P., Albornoz, L. T., Sejas Paliari, G. L., & Babot, P. (2021). Apuntes sobre el muestrario, colección de referencia y base de datos digital para estudios arqueológicos vinculados al contenido vegetal del patrimonio culinario de los Andes Centro-Sur, América del Sur. *Lilloa*, 58(2), 115–130. <https://doi.org/10.30550/j.lil/2021.58.2/2021.11.03>

Niedzielski, P., & Markiewicz, J. (2023). Digitalization of herbarium collections as a tool for the commercialization of scientific knowledge. *Procedia Computer Science*, 225, 2194–2203. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.10.210>

O’Brien, F., & Cabrera, R. (2024). Especies florísticas y actividades antrópicas en el bosque seco tropical en Cantagallo del cantón Jipijapa. *MQRInvestigar*, 8(1), 5376–5387. <https://www.investigarmqr.com/ojs/index.php/mqr/article/view/1173>

Papa, L., Cecere, E., Petrocelli, A., & Spada, L. (2025). Digitization of the Marine Herbarium “TAR” to Increase Biodiversity Knowledge. *Diversity*, 17(9). <https://doi.org/10.3390/d17090641>

Paredes Rodríguez, H. O., Varela Jácome, G. D., Rosales Enríquez, O. A., Carvajal Benavides, J. G., & León-Espinoza, M. E. (2023). Herbario universidad técnica del norte HUTN, un laboratorio para conocer la diversidad de especies forestales del Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(3), 1167–1184. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i3.6262

Petruk, A. A., & Kovtonyuk, N. K. (2024). Heritage of A.P. Khokhryakov in the digital herbarium of the Central Siberian Botanical Garden SB RAS. *Byulleten’ Moskovskogo Obshchestva Ispytatelei Prirody Otdel Biologicheskii*, 128(5), 34–39. <https://doi.org/10.55959/msu0027-1403-bb-2023-128-5-34-39>

Rostański, A., Gerold-Śmietańska, I., & Tokarska-Guzik, B. (2024). Historical and contemporary herbaria as a source of data in plant taxonomy and phytogeography research: An example from Poland. *Diversity*, 16(8). <https://doi.org/10.3390/d16080434>

Setiawan, E., Darnaedi, D., Rachman, I., Triono, T., & Webb, C. O. (2020). The Digital Herbarium: Solutions for data collection and identification of Indonesian plant diversity. *Biogenesis: Jurnal Ilmiah Biologi*, 8(2). <https://doi.org/10.24252/bio.v8i2.15697>

Tanan Da Silva, I. T. (2021). Aprendendo diversidade e classificação botânica por meio da experiência do Herbário Digital da EFA. *Anais Dos Seminários de Iniciação Científica*, (23). <https://doi.org/10.13102/se-mic.v0i23.6691>

CONFLICTO DE INTERESES:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores bajo taxonomía CRediT:

Autor	Roles
Peter Robert Vera Maldonado	Encargado de: Conceptualización, Metodología, Escritura – borrador original, Redacción – revisión y edición
Silvia Lorena Montero Cedeño	Encargado de: Validación, Análisis formal

Contribución de los autores

Universidad & Sociedad publica sus artículos bajo una licencia Creative Commons <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

