

# Desarrollando una ciberinfraestructura para la investigación en Colombia

Agosto 2018

Por C3Biodiversidad, Consorcio Colombiano de Ciberinfraestructura para la Biodiversidad.







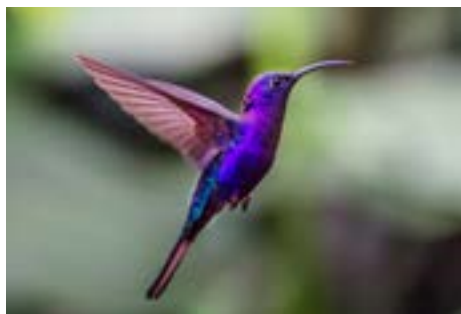
# Prefacio

Como parte de una colaboración internacional financiada por UKRI a través del proyecto GROW Colombia, investigadores del Reino Unido están trabajando con una comunidad de científicos de toda Colombia para estudiar la diversidad natural y agrícola que compone la singular biodiversidad del país, documentando su distribución y las amenazas que enfrenta. GROW Colombia tiene como finalidad la excelencia en la investigación mediante la difusión de tecnologías innovativas, el desarrollo de sólidas competencias de investigación, la creación de alianzas y el fomento de las mejores prácticas para el intercambio de conocimientos, con el objetivo a largo plazo de estimular el crecimiento económico y social.

Los datos tienen un enorme potencial para transformar la forma en que abordamos muchos de los grandes desafíos que enfrenta la humanidad, desde el cambio climático y la sostenibilidad ambiental hasta la conservación natural y la seguridad alimentaria. Sin embargo, esto solo se puede lograr a través de un mejor

acceso a esos datos basado en infraestructuras eficaces y eficientes. Como parte del proyecto GROW Colombia, el Instituto Earlham organizó un taller en Bogotá en junio de 2018, que reunió a importantes expertos en el país para diseñar una estrategia para desarrollar una ciberinfraestructura para la investigación que pueda hacer frente a la necesidad de estudiar la asombrosa riqueza de la biodiversidad nativa colombiana.

GROW Colombia se complementa con la red BRIDGE Colombia ([www.bridgecolombia.org](http://www.bridgecolombia.org)), que es una red multidisciplinaria de organizaciones de investigación del Reino Unido, Colombia e internacionales, fundada en marzo de 2017, con el objetivo de impulsar actividades de una forma coordinada y eficaz bajo una visión compartida que resalta la biodiversidad como el medio para lograr la sostenibilidad y la paz.



# Introducción

## La bioeconomía basada en la diversidad y abundancia

Colombia es uno de los 17 países considerados como “megadiversos” por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Tiene un catálogo nacional de la biodiversidad con 62,829 especies de todos los grupos taxonómicos, 9,153 de ellas endémicas, que representan alrededor del 10% de todas las especies conocidas en la tierra. Muy pronto esta biodiversidad será investigada en mayor profundidad que nunca antes. Actualmente se reconoce que la ciencia y la innovación no son un lujo, sino un requisito para el desarrollo social y económico. Un mejor conocimiento de esta biodiversidad no solo es clave para conservarla y promoverla, sino que también puede impulsar el crecimiento económico, la igualdad social y una paz sostenible en el país.

Esto solo se puede lograr con un mayor acceso a los datos, facilitado por infraestructuras efectivas y eficientes, lo que garantiza que se aproveche la mejores experiencias globales para trabajar en este gran número de problemas. Hasta la fecha, Colombia ocupa el primer puesto en el número de especies de aves y orquídeas, el segundo en plantas, anfibios, mariposas y peces dulceacuícolas, el tercero en palmas y reptiles, y el cuatro en mamíferos. Llevar el análisis de la biodiversidad al mundo digital proporcionará a todas las personas y jurisdicciones pruebas y conocimientos definitivos para tomar decisiones informadas.





# Un descubrimiento impulsado por la comunidad

Explorar e investigar la copiosa información sobre cada una de las miles de especies en estos ecosistemas, especialmente con la erupción de nuevos métodos modernos en las ciencias naturales, supera la capacidad individual de los grupos de investigación.

Una forma de asegurar el análisis eficiente y con precisión de grandes cantidades de datos es auspiciar e impulsar una ciberinfraestructura para la investigación. El objetivo principal de una ciberinfraestructura para la investigación es permitir el descubrimiento científico basado en análisis de datos a través de *hardware* avanzado y recursos informáticos administrados y compartidos de manera sostenible, segura, colaborativa e interoperable por una comunidad de individuos e institutos.

Una ciberinfraestructura para la investigación busca satisfacer las necesidades de la comunidad que trabaja en las ciencias de la vida a través del acceso democratizado a los recursos de computación.

La forma en que los investigadores interactúan con los recursos computacionales está cambiando. La computación en la nube es un modelo muy diferente al modelo de "servidores bajo el escritorio" que ha prevalecido hasta ahora. Esto conlleva a nuevas oportunidades y facilidades para analizar y compartir datos; Por contra, sin estándares es difícil lograr que el resultado sea más completo que la suma de sus partes. A menudo es complicado combinar datos y reproducir análisis si los grupos están usando *software* diferentes, lo que lleva a pérdidas de tiempo y esfuerzo.

## Una ciberinfraestructura para la investigación:

- Permite el descubrimiento científico basado en el análisis de datos.
- Es un ecosistema "tecnológico y sociológico" que facilita los servicios de datos para la investigación.
- Involucra al personal con las habilidades técnicas necesarias para ejecutar y compartir herramientas y recursos de forma sostenible, segura e interoperable.
- Democratiza el acceso equitativo, justo y coordinado a los recursos computacionales y al conjunto de datos científicos más relevantes.
- Desde su fundamento diseñado para facilitar la colaboración a distancia y las organizaciones virtuales.

# Una ciberinfraestructura científica para promover el conocimiento y la preservación de la biodiversidad Colombiana

El Consorcio Colombiano de Ciberinfraestructura para la Biodiversidad, C3Biodiversidad, tiene como objetivo desarrollar y promocionar una ciberinfraestructura científica en Colombia para el análisis de su biodiversidad natural y agrícola. Esta ciberinfraestructura colombiana incluirá la dotación de computación de alto rendimiento (HPC por sus siglas en inglés) y dispositivos de almacenamiento de gran cantidad de datos; además permitirá establecer una organización virtual alrededor de prácticas, herramientas y datos utilizados colaborativamente. Necesariamente, deberá incluir una comunidad de personas e instituciones del país que administren esos recursos de manera segura e interoperable. C3Biodiversidad ha identificado las siguientes prioridades:

- Mejorar el equipamiento y disponibilidad de infraestructura física.
- Ampliar la formación en el análisis de datos científicos para usuarios y proveedores.
- Influir y hacer seguimiento a una política nacional de datos de investigación.
- Asegurar la participación de diversos actores en la planificación de la investigación.



## C3Biodiversidad

C3Biodiversidad (Consortio Colombiano de Ciberinfraestructura para la Biodiversidad) tiene el objetivo de desarrollar una infraestructura computacional en Colombia para el análisis de datos científicos. Creada en Bogotá el 28 de junio de 2018 por un panel de expertos del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia, junto con expertos internacionales, C3Biodiversidad está abierta a cualquier parte interesada en desarrollar dicha ciberinfraestructura en Colombia.



Representantes en el taller de C3Biodiversidad realizado en Bogotá, junio de 2018.

## Mejorando la infraestructura física

La disponibilidad en Colombia de administradores de sistemas y desarrolladores de aplicaciones cualificados es una fortaleza fundamental para consolidar la infraestructura informática física del país. La emigración de este personal calificado y las limitadas oportunidades para la capacitación técnica del nuevo personal son, por consiguiente, los principales riesgos. Las herramientas de *software* específicas para la administración, planificación e interacción virtual entre el personal de computación de alto rendimiento (HPC) ofrecen oportunidades beneficiosas tanto en Colombia como en los países vecinos. En algunos casos estas herramientas y oportunidades ya están habilitadas.

El principal desafío que enfrenta Colombia actualmente es una infraestructura limitada, la cual afecta particularmente la capacidad y la conectividad física entre las instituciones. No obstante, la existencia de un proveedor de alta velocidad amparado por el Estado, como es la Red Nacional Académica de Tecnología Avanzada (RENATA) permite promover la colaboración entre las instituciones, lo que a su vez es una condición indispensable para futuros esquemas de intercambio. La limitación de financiación, proveedores y continuidad restringen la adopción de nuevas propuestas por parte de las instituciones que buscan prevenir o minimizar la incertidumbre y los riesgos externos.

FACTORES INTERNOS	
FORTALEZAS (+)	DEBILIDADES (-)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Administradores de sistemas calificados.</li> <li>• Experiencia en construcción con recursos limitados.</li> <li>• Experiencia en desarrollo de aplicaciones.</li> <li>• Disposición a cooperar en capital humano.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conectividad interinstitucional de alta velocidad.</li> <li>• Capacidad limitada de computo y de almacenamiento de datos.</li> <li>• Emigración del personal altamente capacitado.</li> <li>• Oportunidades limitadas de educación y entrenamiento en HPC.</li> <li>• Gestión de riesgo limitada.</li> </ul>
FACTORES EXTERNOS	
OPORTUNIDADES (+)	AMENAZAS (-)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• RENATA.</li> <li>• Colaboraciones existentes entre instituciones.</li> <li>• Adopción de herramientas de <i>software</i> para la administración y colaboración</li> <li>• Experiencias de países vecinos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incertidumbre institucional.</li> <li>• Fondos y vendedores limitados.</li> <li>• Continuidad a largo plazo.</li> <li>• Participación a nivel gubernamental.</li> </ul>



Recomendamos construir una plataforma computacional unificada, sostenible y cooperativa para acelerar la investigación científica y el desarrollo de capacidades.

La hoja de ruta identificaría primero las necesidades y los recursos disponibles en Colombia a través de encuestas a las diversas partes interesadas, las cuales se delegarían a un departamento gubernamental o académico. A continuación, se crearía uno o varios comités asesores formales con expertos de instituciones clave, que deberán acordar su propio sistema de gobernanza e implementar herramientas de colaboración en línea.

En paralelo, RENATA o una institución equivalente se encargaría de coordinar la

conectividad de alta velocidad entre estas instituciones clave, e integrar los Proveedores de Servicios de Interconectividad (ISPs) privados si fuera necesario. Eventualmente, los recursos computacionales de las instituciones se compartirían progresivamente en la plataforma conjunta siguiendo un procedimiento ordenado (por ejemplo, máquinas virtuales, almacenamiento, etc.). Esto sería catalizado por un sistema de reconocimiento social y recompensa por parte de Colciencias.

Acelerar la investigación científica basada en un gran volumen de datos

- Explorar la biodiversidad colombiana
- Facilitar el intercambio de competencias

Construir una plataforma computacional cooperativa, sostenible y unificada

- Delegar las encuestas sobre las necesidades de recursos y disponibilidad.
- Facilitar las conexiones institucionales con RENATA.
- Formalizar un comité asesor sobre recursos computacionales físicos.
- Implementar un esquema de reconocimiento para proveedores de recursos en las evaluaciones de Colciencias.



## Ampliar la formación en análisis de datos científicos para usuarios y proveedores

En Colombia existen varios programas de pregrado y de maestría en bioinformática, pero la oferta de formación es mucho más limitada en temas de computación avanzada. Hay centros de investigación multidisciplinarios y universidades con departamentos potentes y diversos, y una red de bioinformática sólida, incluyendo un consejo estudiantil, que organiza una conferencia nacional bianual de bioinformática.

La demanda de capacitación es alta pero aún no se han explorado las oportunidades para realizar capacitaciones coordinadas entre los grupos más desarrollados, tampoco son usuales las pasantías y/o visitas entre grupos. Resultados más tangibles y rápidos se podrían lograr con una mayor comunicación entre grupos, coordinación entre las instituciones, financiación, instalaciones y liderazgo.

### FACTORES INTERNOS

#### FORTALEZAS (+)

- Educación de alto nivel (BSc / MSc) en bioinformática.
- Centros de investigación multidisciplinarios y universidades.
- Nodo de la Sociedad Internacional de Biología Computacional (ISCB), consejo estudiantil, conferencia nacional sobre bioinformática.

#### DEBILIDADES (-)

- No hay cursos formales en áreas avanzadas para estudiantes e investigadores.
- Falta una red formal de comunicación entre los grupos que pueden brindar capacitación.
- Oportunidades limitadas para los intercambios internos.
- Pasantías o visitas muy esporádicas entre los grupos nacionales.
- Falta de multidisciplinariedad en las universidades y los centros más pequeños.

### FACTORES EXTERNOS

#### OPORTUNIDADES (+)

- Alta demanda de formación.
- Existencia de comunidades impulsadas por la tecnología.
- Creación de entrenamiento en torno reuniones existentes.
- Herramientas para mejorar la comunicación entre investigadores.
- Formación en bioinformática centrada en el sujeto en instituciones multidisciplinarias.
- Instituciones más grandes que brindan capacitación en colaboración con instituciones más pequeñas.

#### AMENAZAS (-)

- Financiamiento limitado, instalaciones y liderazgo.
- Oposición institucional y de liderazgo.
- Programas de entrenamiento limitados para capital humano
- Emigración de personas capacitadas que pueden proporcionar formación.



Recomendamos diseñar y promover un programa coordinado y accesible de capacitación en el análisis de datos científicos adaptado a diferentes niveles de desarrollo profesional. Este programa debería permitir a Colombia liderar la oferta de oportunidades de capacitación en la región.

La hoja de ruta incluiría la promoción de una red nacional de capacitadores que mantendría un registro en línea de las actividades de capacitación y buscaría cierta coordinación dentro del país, así como con iniciativas internacionales equivalentes, en particular GOBLET (Organización Mundial para el Aprendizaje, la Educación y la Capacitación en Bioinformática).

La red se promovería y desarrollaría dentro de la conferencia nacional de bioinformática y las comunidades de investigación existentes. Existe la necesidad de obtener fondos adicionales, específicamente para facilitar la participación de capacitadores internacionales en cursos e intercambios de personal entre instituciones nacionales, particularmente de universidades pequeñas a grandes y entre centros de investigación.

Desarrollar las capacidades de los individuos en el análisis de datos científicos

- Coordinar la formación avanzada personalizada.
- Facilitar la cooperación institucional.

Promover un programa coordinado y accesible de capacitación en análisis de datos científicos

- Desarrollar una red nacional en línea de capacitadores en bioinformática dentro de las comunidades existentes.
- Coordinar con GOBLET.
- Acoger formadores internacionales.
- Apoyar los intercambios de personal de instituciones pequeñas a grandes a nivel nacional.

## Desarrollar una política nacional de datos de investigación

Las escasas medidas de promoción y cumplimiento de políticas en Colombia que regulen el acceso, los estándares, los incentivos y la retención de datos de investigación obstaculiza el desarrollo de esta área. Colciencias publicó su visión para una “ciencia abierta” para Colombia a finales de 2018, priorizando ocho áreas incluyendo acceso libre a datos científicos, infraestructuras de investigación, licencias y derechos de propiedad intelectual, métricas y publicaciones. En ese contexto, los países de la OCDE están realmente comprometidos en garantizar el acceso público a la investigación financiada por los contribuyentes, incluidos los datos generados y las publicaciones de investigación.

Existen instituciones colombianas que ya son competentes en cuanto a su política científica y la gestión de datos de investigación (Colciencias, BIOS, Observatorio de Ciencia y Tecnología) lo que puede impulsar el proceso regulatorio y promover incentivos entre los investigadores. También ya existen comunidades de investigación específicas y proyectos que promueven enfoques de estándares, curación y conservación siguiendo ontologías internacionales y mejores prácticas. Algunas instituciones ya están administrando activamente sus repositorios y bases de datos, mientras que hay otras que no tienen la capacidad o los recursos para hacerlo.

FACTORES INTERNOS	
FORTALEZAS (+)	DEBILIDADES (-)
<ul style="list-style-type: none"> <li>Comunidad de investigación existente que usa estándares internacionales, como ontología para datos de diversidad.</li> <li>Existencia del 'Observatorio de Ciencia y Tecnología'.</li> <li>Comités y evaluaciones de Colciencias.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cumplimiento de la política de datos abiertos de investigación.</li> <li>Falta de incentivos para la provisión y intercambio de datos.</li> <li>Falta de estandarización de los datos.</li> <li>Políticas de acceso variable.</li> <li>Estándares variables para niveles de sensibilidad de datos.</li> <li>Seguimiento y supervisión limitada. monitoreo limitado.</li> </ul>
FACTORES EXTERNOS	
OPORTUNIDADES (+)	AMENAZAS (-)
<ul style="list-style-type: none"> <li>Existencia de estándares internacionales de datos liderados por la comunidad, ontologías y recolección de metadatos.</li> <li>Institutos orientados a datos que pueden administrar repositorios y bases de datos.</li> <li>Modelos unificados y centralizados adaptados a instituciones con capacidades diferentes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bajo reconocimiento de la necesidad de tener políticas de datos.</li> <li>Agenda gubernamental cambiante.</li> <li>Necesidad de asesoramiento especializado y experiencia en instituciones clave.</li> <li>Falta de incentivos para colaboraciones, intercambios de datos y control de calidad entre los investigadores.</li> </ul>





Recomendamos el desarrollo de medidas de promoción y cumplimiento de la política nacional de ciencias abierta y para datos de investigación que regule de manera estandarizada el acceso, el procesamiento y el intercambio de datos, en particular los datos de biodiversidad. Esto facilitaría la toma de decisiones respaldada por datos, así como la excelencia científica. Recomendamos tener como requisito el acceso abierto a la investigación financiada por los contribuyentes, incluidos los datos generados y las publicaciones de investigación.

Emulando ejercicios previos de construcción de políticas de datos de gobierno electrónico en Colombia, la hoja de ruta incluiría un comité de expertos y partes interesadas relevantes, que acordarían las necesidades de acceso, curación, retención, trazabilidad, calidad, interoperabilidad y disponibilidad a los datos de investigación, especialmente los de biodiversidad, así como las necesidades vinculadas a los mecanismos de seguimiento y aplicación de esta política.

Puesto que algunas instituciones autónomas en Colombia ya han desarrollado sus propias políticas, un modelo unificado entre estas

instituciones tendría cabida con un repositorio nacional centralizado de gestión de datos, por ejemplo RedClara y el Banco Interamericano de Desarrollo están coordinando "Latin America Referencia" (<http://lareferencia.info>), que debería abarcar entre sus funciones servir a instituciones sin la capacidad de hacerlo de manera independiente. Finalmente, la evaluación de los investigadores debería ampliarse para incentivar la colaboración multidisciplinaria entre los creadores de datos, los analistas y los curadores, en lugar de promover los esquemas de evaluación que penalizan las grandes colaboraciones interinstitucionales.

Facilitar la toma de decisiones basada en datos

- Incentivar la excelencia en la investigación.
- Facilitar el acceso a los datos sobre biodiversidad.

Desarrollar una política nacional de datos de investigación

- Involucrar a los interesados en el nuevo diseño de la política.
- Requerir acceso abierto a la investigación financiada por los contribuyentes.
- Asignar una institución con el rol de coordinación de repositorios y bases de datos en el país.
- Para las evaluaciones incentivar a los investigadores que participan en colaboraciones de datos.

## Asegurar la participación de diversos interesados en proyectos de investigación y en la planificación de la financiación

Existe un número limitado de iniciativas para involucrar a las partes interesadas y además un interés diferente de parte de los diferentes actores y sectores en realizar investigación. Las alianzas entre el sector privado, el sector civil, el gobierno y la sociedad están más establecidas en el sector agrícola y ambiental. Adicionalmente, la restricción de recursos, financiación y de alianzas limitan la planificación en el sector de los grandes datos (*big data*).

Recientemente, ha habido tres iniciativas concretas: convocatorias específicas de financiación para la investigación con instituciones privadas, un nuevo sistema de financiación basado en regalías de las regiones y la inversión internacional promovida por la membresía de la OCDE y el proceso de paz.

FACTORES INTERNOS	
FORTALEZAS (+)	DEBILIDADES (-)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existe un Ministerio de Tecnologías de la Información y Comunicación.</li> <li>• Comunidades bien desarrolladas en los sectores agrícola y ambiental.</li> <li>• Aumento de la inversión extranjera.</li> <li>• Existen incentivos para promover la investigación en el sector privado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de colaboración entre instituciones y con diferentes grupos de interés.</li> <li>• Los datos y los recursos no suelen compartirse.</li> <li>• Falta de planificación e inversión a largo plazo.</li> <li>• Comunicación y canales de financiación limitados.</li> <li>• Baja prioridad para la ciencia y la tecnología en la agenda del gobierno.</li> </ul>
FACTORES EXTERNOS	
OPORTUNIDADES (+)	AMENAZAS (-)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nuevo sistema de regalías.</li> <li>• Adhesión a la OCDE y nueva inversión internacional.</li> <li>• Existen alianzas internacionales.</li> <li>• Existe el interés de promocionar del acceso y el intercambio de datos y recursos.</li> <li>• Establecer esquemas de transferencia de tecnología.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oportunidades limitadas.</li> <li>• Falta de seguimiento y evaluación.</li> <li>• Inestabilidad.</li> </ul>

Recomendamos promocionar redes y alianzas público-privadas, la participación del sector civil (asociaciones sin fines de lucro, organizaciones benéficas, grupos comunitarios y cooperativas) en proyectos de investigación que hagan un uso intensivo de datos a través de convocatorias específicas de fondos de investigación, para garantizar la participación de diversos actores en la planificación y ejecución de la investigación.

El nuevo esquema de regalías permitiría la implementación de oportunidades de financiamiento para alianzas más duraderas e investigación intensiva en datos, y utilizaría nuevos fondos para promover alianzas público-privadas, la participación del sector civil y de proyectos multidisciplinarios. Los investigadores que soliciten fondos nacionales deberían incluir en sus aplicaciones un plan para la participación de los actores interesados.

Paralelamente, el Consejo de Investigación y las universidades ampliarían sus oficinas de apoyo para ayudar a los investigadores a solicitar financiación internacional y participar con diferentes actores; construyendo su red y sus oportunidades.

Promover la participación de la sociedad y el interés por la ciencia y la tecnología

- Apoyar las alianzas público-privadas.
- Apoyar la participación del sector civil.
- Asistir proyectos multidisciplinarios intensivos en datos.

Desarrollar un esquema de apoyo a la investigación que promueva el compromiso de los interesados

- Requerir planes de participación en los proyectos de investigación.
- Implementar fondos para proyectos público-privados.
- Poner en marcha convocatorias de financiación para proyectos basados en datos.
- Extender las oficinas de apoyo a los investigadores.
- Crear un catálogo de oportunidades de contactos (*networking*)





## Agradecimientos:

Esta publicación se basa en el análisis del panel de expertos que se reunió en Bogotá del 16 al 18 de junio de 2018:

Alejandro Caro, **AGROSAVIA**  
Alice Minotto, **Earlham Institute**  
Andrés Pinzón Velasco, **Universidad Nacional de Colombia**  
Anyela Valentina Camargo Rodríguez, **National Institute of Agricultural Botany (NIAB)**  
Camilo Corchuelo Rodríguez, **Universidad Santo Tomás**  
Carlos Ramírez, **Red Nacional Académica de Tecnología Avanzada (RENATA)**  
Cesar Orlando Díaz, **Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano**  
Dairo Escobar, **SiB Colombia – Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt**  
Daniel Fernando López, **Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt**  
Dany Molina, **Centro de Bioinformática y Biología Computacional de Colombia (BIOS)**  
Diego Rincón, **Universidad Católica de Colombia**  
Emiliano Barreto, **Universidad Nacional de Colombia**  
Federica Di Palma, **Earlham Institute**  
Gastón Lyons, **Universidad de Los Andes**  
Graham Etherington, **Earlham Institute**  
Jaime Erazo, **Earlham Institute**  
Javier Correa Álvarez, **Universidad EAFIT**  
John Jaime Riascos, **Cenicaña**  
Jorge Duitama, **Universidad de Los Andes**  
Jorge William, **Centro de Bioinformática y Biología Computacional de Colombia (BIOS)**  
Jose De Vega, **Earlham Institute**  
Juan David Pineda Cárdenas, **Universidad EAFIT**  
Juan Manuel Anzola, **Corpogen**  
Juan Pablo Mallarino, **Universidad de Los Andes**  
Julio Marín Duarte, **AGROSAVIA**  
Laura Natalia González García, **Universidad de Los Andes**  
Leroy Mwanzia, **Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)**  
Luz Miriam Díaz, **Red Nacional Académica de Tecnología Avanzada (RENATA)**  
Marco Cristancho Ardila, **Universidad de Los Andes**  
María Camila Martínez, **Cenicaña**  
Monica Munoz Torres, **Ohio State University**  
Narcis Fernandez, **Aberystwyth University**  
Nelson Enrique Arenas Suárez, **Universidad de Cundinamarca**  
Patricia Jaramillo, **Red Nacional Académica de Tecnología Avanzada (RENATA)**  
Paula Reyes, **AGROSAVIA**  
Raúl Ramos Pollán, **Universidad de Antioquia**  
Robert Davey, **Earlham Institute**  
Romain Guyot, **Universidad Autónoma de Manizales**  
Tomás Viloría Lagares, **Universidad de Los Llanos**  
Yesid Cuesta Astroz, **Universidad de Antioquia**

Esta publicación está licenciada bajo los términos de Creative Commons: Attribution 4.0 International excepto donde se indique lo contrario. Para ver esta licencia, <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Cuando hayamos identificado cualquier información de derechos de autor de terceros, necesitará obtener un permiso de los titulares de los derechos de autor. Cualquier consulta relacionada con esta publicación debe ser enviada a [info@bridgecolombia.org](mailto:info@bridgecolombia.org)

Los autores quisieran agradecer el apoyo de UK Research & Innovation (UKRI) Global Challenge Research Fund (GCRF) GROW Colombia a través de Consejo de Investigaciones en Biotecnología y Ciencias Biológicas (BB/P028098/1).



**Contacto:**

**E:** [info@bridgecolombia.org](mailto:info@bridgecolombia.org)

**W:** [www.bridgecolombia.org](http://www.bridgecolombia.org)