

# COLORES Y SABORES DE MI Tierra

Colores y sabores de mi tierra: papas nativas cultivadas en Boyacá / Colors and flavors of my land: native potatoes cultivated in Boyacá / Ojeda-Pérez, Zaida Zarely; Arias-Moreno, Diana Marcela; Bohórquez-Quintero, María de los Angeles; Pacheco-Díaz, José Estiben; Araque-Barrera, Eyda Johanna (Coordinadores). Tunja: Editorial UPTC, 2021. 172 páginas.

ISBN Digital 978-958-660-517-5

1. Papa nativa.
  2. Relaciones genéticas.
  3. Parámetros nutricionales.
  4. Descripción morfo-agronómica.
- (Dewey 635-2/21) (Thema: TVK - Agronomía y producción agrícola)

# COLORES Y SABORES DE MI TIERRA

Primera edición, 2021

Colores y Sabores de mi Tierra: Papas nativas cultivadas en Boyacá  
Colors and flavors of my land: native potatoes cultivated in Boyacá

ISBN Digital 978-958-660-517-5  
Colección de investigación UPTC N.º 197  
Proceso de arbitraje doble ciego  
Recepción: diciembre de 2020  
Aprobación: febrero de 2021

© Zaida Zarely Ojeda Pérez, 2021  
© Diana Marcela Arias Moreno, 2021  
© María de los Ángeles Bohórquez Quintero, 2021  
© José Estiben Pacheco Díaz, 2021  
© Eyda Johanna Araque Barrera, 2021  
© Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2021

## Editorial UPTC

Edificio Administrativo – Piso 4  
Avenida Central del Norte 39-115, Tunja, Boyacá  
comite.editorial@uptc.edu.co  
www.uptc.edu.co

Libro financiado por la Gobernación de Boyacá y la Dirección de Investigaciones de la UPTC. Se permite la reproducción parcial o total, con la autorización expresa de los titulares del derecho de autor. Este libro es registrado en Depósito Legal, según lo establecido en la Ley 44 de 1993, el Decreto 460 de 16 de marzo de 1995, el Decreto 2150 de 1995 y el Decreto 358 de 2000.

Libro resultado del proyecto de investigación titulado: “Implementación de procesos biotecnológicos y agrícolas para el cultivo de materiales limpios de variedades ancestrales de papa (*Solanum sp.*) provenientes de los agro-ecosistemas del departamento de Boyacá”. Contrato No. 80740-274-2019 (Nº FP44842-274-2019) / Proyecto 62060. SGI 2488.

Citar este libro / Cite this book

Ojeda-Pérez, Z. Z., Arias-Moreno, D. M., Bohórquez-Quintero, M. A., Pacheco-Díaz, J. E., Araque-Barrera, E. J. (2021). *Colores y sabores de mi tierra: papas nativas cultivadas en Boyacá*. Tunja. Editorial UPTC.

doi: <https://doi.org/10.19053/9789586605175>

## Rector UPTC

Óscar Hernán Ramírez

## Comité Editorial

Manuel Humberto Restrepo Domínguez, Ph. D.  
Enrique Vera López, Ph. D.  
Yolima Bolívar Suárez, Mg.  
Sandra Gabriela Numpaque Piracoca, Mg.  
Óscar Pulido Cortés, Ph. D.  
Edgar Nelson López López, Mg.  
Zaida Zarely Ojeda Pérez, Ph. D.  
Carlos Mauricio Moreno Téllez, Ph. D.

## Editora en Jefe

Lida Esperanza Riscanevo Espitia, Ph. D.

## Coordinadora Editorial

Andrea María Numpaque Acosta, Mg.

## Corrección de estilo

Elsy Eyerline Sarmiento Rincón

## Diseño y diagramación

Héctor Geovanny Garzón Aguirre



Gobernación de Boyacá (Entidad financiadora)

“Convocatoria para proyectos de I+D para el desarrollo tecnológico de base biológica que contribuyan a los retos del departamento de Boyacá-2017”

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Entidad ejecutora y financiadora)

Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación MinCiencias (Entidad supervisora)

Fondo Francisco José de Caldas-FFJC en el marco de la Convocatoria 794-2017: Programa ColombiaBIO - BoyacáBIO

Grupo de Investigación BIOPLASMA-UPTC (Ejecutor)

Proyecto: “Implementación de procesos biotecnológicos y agrícolas para el cultivo de materiales limpios de variedades ancestrales de papa (*Solanum sp.*) provenientes de los agro-ecosistemas del departamento de Boyacá”. Contrato No. 80740-274-2019 (Nº FP44842-274-2019) / Proyecto 62060.

Coordinación y recopilación de información:

Grupo de Investigación BIOPLASMA-UPTC  
GRUPLAC COL0021407

## Equipo de Investigación

José Constantino Pacheco Maldonado†, Ph.D.  
Zaida Zarely Ojeda Pérez, Ph.D.  
Diana Marcela Arias Moreno, Ph.D.  
José Estiben Pacheco Díaz, MSc.  
María de los Ángeles Bohórquez Quintero, MSc.  
Eyda Johanna Araque Barrera, MSc.(c)  
Lenny Yojana Correa Mora, Biol.  
Daicy Yaneth Galvis Tarazona, Biol.  
Angela Saray Burbano Valdivieso, Biol.  
Franyer Stevan López, MSc.(c)  
María Yecenia Hernández Herrera, MSc.

## Colaboradores externos

Alcaldía municipal de Chiscas (Boyacá)  
Tesoros Nativos S.A.S  
Grupo de Investigación en Desarrollo y Producción Agraria Sostenible-GIPSO UPTC  
Grupo de Investigación en Sistemática Biológica-SisBio UPTC

## Fotografía

Héctor Geovanny Garzón Aguirre  
Ledy Alexandra Daza González  
John Jairo Gaitán Tarquino  
Diego Andrés Moreno Gaona  
Lenny Yojana Correa Mora  
Daicy Yaneth Galvis Tarazona

## Ilustraciones

María Eugenia Morales Puentes, Ph. D.

La papa es uno de los alimentos más importantes a nivel mundial, especialmente para Suramérica donde se reporta su origen. Existen las papas nativas, las cuales se reconocen por su diversidad de texturas, colores y sabores. Este importante recurso genético ha sido conservado y cultivado por habitantes de la Zona Andina durante muchos años. En Colombia, las papas nativas son cultivadas y comercializadas principalmente en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Nariño. Sin embargo, existen algunos limitantes que dificultan su posicionamiento a nivel comercial; dentro de los cuales se destacan el desconocimiento sobre su existencia, baja disponibilidad de semilla certificada, índices bajos de rendimiento y productividad, presencia de fitopatógenos por su propagación vegetativa, la falta de tecnología y herramientas que fortalezcan su producción y la inexistencia de programas locales enfocados a su investigación y asistencia técnica. Por lo anterior, se estableció una alianza triple hélice entre la universidad, empresa y Estado, con el fin de obtener materiales tradicionales de papa limpios, caracterizados con descriptores etnobotánicos, agronómicos, nutricionales y moleculares, enfocados hacia la obtención de individuos élite para su promoción agroeconómica. Esta caracterización se logró gracias a la implementación metodológica de dos líneas estratégicas, que se enmarcaron desde el trabajo continuo en laboratorio y en campo, mediante el establecimiento de parcelas experimentales, hasta la interacción con la comunidad para la divulgación y la apropiación social del conocimiento.

Como resultados se obtuvieron protocolos efectivos para lograr materiales limpios de genotipos ancestrales de papa, mediante la técnica de cultivo de tejidos *in vitro*. El material propagado fue examinado por medio de técnicas microbiológicas para la detección de hongos, bacterias y virus. Con lo anterior se aseguró la entrega de materiales limpios de papa nativa a los agricultores de los municipios de Ventaquemada y Chiscas, en el departamento de Boyacá. Adicionalmente, la micropropagación aseguró la caracterización molecular y la conservación *in vitro* de germoplasma de morfotipos nativos de papa del departamento. En el componente molecular, se logró establecer las relaciones genéticas entre los genotipos de

papa nativa cultivadas en Boyacá. Esta información será base fundamental para el establecimiento de individuos potenciales parentales en programas de mejoramiento genético a nivel departamental.

En el componente de campo se logró determinar el rendimiento de cada genotipo de papa bajo las condiciones de dos localidades, encontrando que algunos de ellos presentan mejor desarrollo y producción dependiendo de su adaptación al ambiente de la localidad evaluada. También se logró determinar los parámetros nutricionales de los materiales de papa nativos evaluados. Esta información le permitirá al agricultor impulsar la comercialización de productos en fresco e industrializados, con características organolépticas únicas en el mercado regional y nacional. El establecimiento de las siembras y la caracterización de los genotipos también crea un hito importante en la identificación morfológica de los materiales locales. La descripción botánica como la flor, la disposición de las hojas, el color del tallo, la coloración en el tubérculo y la forma de crecimiento, son caracteres universales que permitirán la diferenciación de estos materiales por parte de la comunidad.

La apropiación social del conocimiento y la intervención de profesionales en las diferentes áreas y disciplinas, permitió el uso eficiente de la información, dando lugar a la generación de nuevos conocimientos de amplio impacto. Así mismo este libro de investigación muestra la experiencia exitosa de la vinculación de los actores sociales en la divulgación, generación y promoción de contenido científico, como herramienta de alto impacto en favor de la promoción y fomento de materiales nativos de papa.

Es importante resaltar que, este libro cuenta con códigos QR a través de los cuales el lector podrá tener acceso directo al documental titulado: *“Los Colores y Sabores de mi Tierra”*, así como a tres cápsulas explicativas y complementarias a los contenidos del libro, integrando el estudio científico y los saberes tradicionales de las comunidades, propiciando la transferencia de tecnologías, en beneficio de los productores y del territorio.

**Palabras clave:** Papa nativa, relaciones genéticas, parámetros nutricionales, descripción morfo-agronómica.

The potato is one of the most important foods worldwide, especially in South America where it originated. Within the potato genotypes, native potatoes are included, which are recognized for their diversity of textures, colors and flavors. This important genetic resource has been conserved and cultivated by the inhabitants of the Andean zone for many years.

In Colombia, the native genotypes are cultivated and commercialized mainly in the departments of Cundinamarca, Boyacá and Nariño. However, there are some limitations that hinder its positioning at a commercial level. Among which stand out the lack of knowledge about its existence, low availability of certified seed, low rates of yield and productivity, the presence of phytopathogens due to its vegetative propagation, the lack of technology and tools to strengthen its production and the absence of focused local programs to your research and technical assistance.

Therefore, a “triple helix” alliance was established between the university, private company and government in order to obtain clean traditional potato plants, characterized with ethnobotanical, agronomic, nutritional and molecular descriptors, focused on obtaining elite individuals for its agroeconomic promotion. This characterization was achieved thanks to the methodological implementation of two strategic lines, which ranged from continuous work in the laboratory and in the field through the establishment of experimental plots, to interaction with the community for the dissemination and social appropriation of knowledge.

As results, effective protocols were developed to obtain clean plants of ancestral potato genotypes, using the *in vitro* tissue culture technique. The propagated plants were examined by microbiological techniques for the detection of fungi, bacteria and viruses. With the above, the delivery of clean native potato vitroplants to farmers in the municipalities of Ventaquemada and Chiscas in the department of Boyacá was ensured. Additionally, micropropagation ensured the molecular characterization and *in vitro* conservation of germplasm of native potato morphotypes of the department.

In the molecular component, it was possible to establish the genetic relationships between the native potato genotypes

cultivated in the department of Boyacá. This information will be the fundamental basis for the establishment of potential parental individuals in genetic improvement programs at the departmental level.

In the field component, it was possible to determine the performance of each potato genotype under the conditions of two localities, finding that some of them present better development and production depending on their adaptation to the environment of the evaluated locality. It was also possible to determine the nutritional parameters of the evaluated native potato tubers. This information will allow the farmer to promote the commercialization of fresh and industrialized products, with unique organoleptic characteristics in the regional and national market.

The seeding and characterization of the genotypes also creates an important milestone in the morphological identification of local genotypes. The botanical description of the flower, the arrangement of the leaves, the color of the stem, the coloration in the tuber and the plant habit are universal characters that will allow the differentiation of these plants by the community.

The social appropriation of knowledge and the intervention of professionals in the different areas and disciplines, allowed the efficient use of information, giving rise to the generation of new knowledge of wide impact. Likewise, this research book shows the successful experience of linking social actors in the dissemination, generation and promotion of scientific content as a high-impact tool in favor of the promotion and encouragement of native potato genotypes.

It is important to note that this book has QR codes where the reader can have direct access to the documentary entitled: “The colors and flavors of my land”, as well as three explanatory and complementary capsules to the contents of the book, integrating the scientific study, the traditional knowledge of the communities, promoting the transfer of technologies for the benefit of the producers and the territory.

**Keywords:** Native potato, genetic relationships, nutritional parameters, morpho-agronomic description.



COLORES  
Y SABORES  
DE MI  
Tierra

# DEDICATORIA DEDICATORIA

Este libro está dedicado a todos los campesinos boyacenses y colombianos, quienes al labrar, sembrar y cosechar, nos acercan todos los días a los sabores y colores de nuestra tierra. De manera especial está dedicado a la memoria del maestro de maestros, el Doctor José Constantino Pacheco Maldonado, un hombre sabio, tranquilo, sensible, de mirada fija y soñadora, quien, durante más de 40 años de labor en la docencia y la ciencia, ofreció su vida con pasión y amor a la academia, la investigación, el campo y las plantas. Un hombre destacado, de vocación auténtica, que trascendió por sus obras y por su trabajo incansable en el estudio y conservación de la biodiversidad, lo que le permitió constituirse como un referente personal y académico de su siempre amada UPTC. Un hombre inolvidable.

Desde niño, con grandes esfuerzos moldeó su carácter en búsqueda de un camino profesional. Siendo normalista estudió Licenciatura en Biología y Química llegando a la docencia universitaria y concluyendo su formación académica como Magíster y Doctor en Biología de la Universidad de los Andes, Colombia 1980 y Universidad de Oviedo, España, en 1995, respectivamente. Se caracterizó por ser un investigador de rigor científico indudable, quien, desde la década de los 80, fue uno de los mejores y mayores

exponentes de la biotecnología vegetal en el departamento de Boyacá y en Colombia, especialmente en el conocimiento y fomento de los recursos genéticos de las plantas.

El profesor Pacheco fue un defensor de la investigación básica y aplicada, la cual, debía ser usada para resolver las necesidades de los agricultores. Promovió la pertinencia de alianzas en favor del impulso y mejoramiento de las condiciones del campo y de los sistemas agrícolas en la región. Su trabajo continuado durante estas cuatro décadas fue el motor que impulsó sus días, buscando siempre la excelencia en la vida académica y profesional.

Siempre sonriente, amable y cariñoso, se caracterizó por guiar el camino de cientos de personas que, a su lado, con su paciencia y amor, encontraron en las ciencias biológicas un destino que seguir. Nuestro querido profe, nos invitó a indagar y trabajar con la majestuosidad de las papas multicolores, su historia, su genética, su sanidad y sus propiedades agronómicas y nutricionales. Su disciplina, ejemplo y recuerdo, acompañaron este proyecto que anheló ver realizado eficientemente. Su gran conocimiento y trayectoria motivaron y permitieron plasmar los resultados que hoy, se presentan en este libro.

Su legado guiará siempre el desarrollo de los proyectos que no vio concluidos y el trascender de quienes tuvimos la fortuna de compartir con él. A la vida gracias por hacer coincidir los sabores y colores de nuestra tierra, con los dulces y espléndidos matices de su alma.

Así como está plasmado en este documento, esperamos hacer homenaje a su saber y amor por la investigación. El mejor docente, amigo, consejero y papá que la vida nos pudo regalar.

La gratitud por sus enseñanzas, sencillez, credibilidad, valores y cariño lo convirtieron en un modelo a seguir para su familia, la comunidad y la ciencia.

...Brilla en el cielo, que tu amor, como una huella imborrable, siempre estará en nuestras mentes y corazones.

“El agradecimiento es la memoria del corazón” (Lao-tsé)

Grupo de Investigación Bioplasma



Doctor José C. Pacheco Maldonado  
6 de enero de 1950 - 7 de julio de 2019



COLORES  
Y SABORES  
DE MI  
Tierra

# TABLA DE CONTENIDO

## TABLA DE CONTENIDO

|   |    |
|---|----|
| PRÓLOGO.....  | 18 |
| PRESENTACIÓN.....   | 20 |
| INTRODUCCIÓN .....  | 22 |
| ANTECEDENTES.....   | 26 |
| GENERALIDADES DE LA PAPA.....   | 32 |
| DESCRIPCIÓN BOTÁNICA Y TAXONÓMICA DE LA PAPA.....   | 34 |
| COLORES Y SABORES DE LA TIERRA DE LA LIBERTAD.....  | 42 |
| UN TESORO DE COLORES Y SABORES PRESERVADO POR LOS<br>CAMPEÑINOS BOYACENSES: NUESTROS PRINCIPALES PROTAGONISTAS..... | 46 |
| UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y ÁREAS DE TRABAJO.....  | 56 |
| METODOLOGÍA .....   | 58 |

- Implementación de cultivos *in vitro* y obtención de materiales limpios de variedades ancestrales de papa.
- Caracterización morfológica de materiales nativos de papa.
- Caracterización agronómica de materiales nativos de papa.
- Establecimiento de parámetros nutricionales de materiales nativos de papa.
- Determinación de las relaciones de similitud genética entre materiales nativos de papa.
- Apropiación social del conocimiento, participación de actores sociales y divulgación audiovisual de contenido científico.

|  |     |
|--|-----|
| RESULTADOS.....  | 80  |
| • Cultivo <i>in vitro</i> y obtención de materiales limpios de papa nativa |     |
| • Caracterización morfológica, agronómica, nutricional y molecular         |     |
| • Guía ilustrada de cómo utilizar la información presentada en el libro    |     |
| • Listado de los materiales nativos  |     |
| • Descripción de materiales nativos  |     |
| • Similitud genética entre materiales nativos de papa                      |     |
| • Apropiación social del conocimiento y participación de actores sociales  |     |
| • Divulgación audiovisual de contenido científico                          |     |
| DISCUSIÓN.....   | 144 |
| CONCLUSIONES.....  | 150 |
| AGRADECIMIENTOS.....   | 152 |
| GLOSARIO.....  | 152 |
| BIBLIOGRAFÍA.....  | 156 |

COLORES  
Y SABORES  
DE MI  
Papa

## PRÓLOGO

La papa es un producto alimenticio que para los colombianos y en especial para los boyacenses, representa un bien de consumo básico. Para quienes labran la tierra, la papa significa su amanecer y atardecer. Ellos siembran la semilla con su alma, con su corazón riegan los cultivos y con sus manos extraen los colores y sabores de la 'Tierra de la Libertad'. Aquí, entonces, el lector encontrará la presencia de esas personas que hacen posible el disfrute de los frutos del campo.

Los tubérculos de colores o mejor conocidos como papas nativas, con una apariencia muy agraciada, guardan en su interior una curiosa armonía entre su valor nutritivo, sus colores y sus sabores. Esto y mucho más, es lo que el lector encontrará en las páginas de este libro. La hermosura de su flor que refleja la luz del sol, los colores de su pulpa con figuras extrañas nacidas del arte de la naturaleza o ese enigmático impacto que hace vibrar las papilas gustativas, haciendo que el espíritu levante un vuelo de sabores indescriptibles.

En el presente libro se recibe como herencia del profesor José Pacheco, alma y músculo de este trabajo, la revelación del arte que encierra la naturaleza y la sabiduría traslúcida de su voz clara y pausada. Su legado

en el campo de la ciencia vive en el conocimiento, en la mente y los corazones de su Grupo de Investigación BIOPLASMA-UPTC. Su obra fue y será continuada por este equipo de profesionales que él moldeó y que con su arduo trabajo lograron sacar de esas viandas, que a diario engalanan nuestras mesas, los misterios que ellas contienen. Esto ya es elevar el resultado de un trabajo a la categoría de conocimiento científico, asunto que engrandece al hombre y eleva a la sociedad a estadios superiores.

En síntesis, en estas páginas, el lector se encontrará, de manera intuitiva y sencilla, con aspectos claves e importantes de las papas nativas de Boyacá, los cuales son útiles para un mejor uso y aprovechamiento de estos recursos genéticos ancestrales e íconos patrimoniales y culturales de los boyacenses.

Este libro de investigación va dirigido a la comunidad en general: campesinos, empresarios, académicos, autoridades gubernamentales y lectores con formación especializada.

Esperamos que esta publicación sirva como guía de consulta para todos los interesados en ahondar un poco más, acerca del conocimiento de las papas nativas de Colombia, especialmente las del departamento de Boyacá.

*Luis Meza E - Barranquilla, Atlántico, Colombia*  
*Zaida Zarely Ojeda Pérez - Tunja, Boyacá, Colombia*







Seguro cuando escucha hablar de papas, uno de los primeros retratos que imagina, es un plato lleno de papas a la francesa o algún puré preparado por mamá. Así mismo, sabrá algunos nombres comerciales de variedades de papa como Tuquerreña, Pastusa, Diacol y las demás que conozca. También pensará en papas con color café en su cáscara e interior crema. Sin embargo, no todas las papas son como las pintan.

Las papas nativas pueden ser de diferentes formas, por ejemplo, alargadas, oblongadas o redondas y presentar variados colores en su piel y en su carne. Estos materiales constituyen un legado cultural, biológico y agronómico, en el departamento de Boyacá, que ha sido sostenido por un conjunto de actores sociales, quienes creen que conservarlas, es apostarle a un futuro dinamizador.

Este libro de investigación presenta los resultados del proyecto titulado: “Implementación de procesos biotecnológicos y agrícolas para el cultivo de materiales limpios de variedades ancestrales de papa (*Solanum* sp.) provenientes de los agro-ecosistemas del departamento de Boyacá”. Contrato No. 80740-274-2019 (N° FP44842-274-2019) / Proyecto 62060, cuyo objetivo fue establecer y/o implementar procesos biotecnológicos y agrícolas que permitan fomentar el cultivo de materiales limpios de variedades ancestrales de papa, como una alternativa de desarrollo para el departamento de Boyacá.

El proyecto fue desarrollado por el Grupo de Investigación BIOPLASMA-UPTC de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Entidad ejecutora y financiadora) y financiado por la Gobernación de Boyacá a través de la “Convocatoria para proyectos de I+D para el desarrollo tecnológico de base biológica que contribuyan a los retos del Departamento de Boyacá-2017”.

En este libro obtendrá información sobre la aplicación de técnicas biotecnológicas, que pretenden el rescate, conservación y generación de conocimiento de papas nativas. Aprenderá que, desde una visión etnobotánica, se teje una identidad cultural alrededor de las papas nativas en la comunidad de los municipios de Chiscas y Ventaquemada, y conocerá a las personas involucradas en su cosecha y producción. Además, dispondrá de información de cada material nativo relacionado con caracterización morfológica, agronómica, aportes nutricionales y usos culinarios.

Finalmente, observará las relaciones de similitud genética entre algunos materiales de papas nativas, empleando la secuenciación del genoma completo de cada genotipo, la cual permite un conocimiento más profundo y útil para la selección de materiales que pueden ser incluidos en programas de mejoramiento genético.

Se espera que, tras la lectura del presente trabajo, enriquezca su imaginario sobre lo que conoce de las papas. A su vez, incentive la necesidad de generar una conciencia colectiva que tienda a la conservación de estos materiales.

Un agradecimiento a la importante labor que ha realizado el Grupo de Investigación Bioplasma de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia en alianza con la Alcaldía municipal de Chiscas y la Empresa Tesoros Nativos S.A.S. de Ventaquemada, quienes han creído que la conservación de papas nativas contribuye al mantenimiento de una diversidad genética y cultural milenaria. Es importante declarar que no existe ningún tipo de conflicto de intereses entre la UPTC y las entidades anteriormente nombradas. La alianza se estableció con el fin del fortalecer la actividad formativa, investigativa, de proyección social y de transferencia tecnológica.



## INTRODUCCIÓN

El origen de las papas (*Solanum* sp.) aún es incierto. Algunos autores sugieren, que sus ancestros silvestres, aparecieron en localidades peruanas, mexicanas, estadounidenses y guatemaltecas. Sin embargo, es en Perú, donde éstas presentan una alta diversidad genética, considerándose como su centro de origen. En estos lugares se iniciaron diferentes procesos de domesticación de la papa, los cuales tendieron a la reducción de la formación de estolones y favorecieron la acumulación de tubérculos en la base de la planta, la selección de poblaciones de madurez temprana y la resistencia a diversos estreses bióticos y abióticos<sup>1,2</sup>.

Con el paso del tiempo, los cultivadores andinos seleccionaron tubérculos de diferentes formas como globosas, tubulares, rectas y curvas, con diversidad de colores. Estas características se han conservado desde su domesticación hasta la fecha, conociéndose entonces, las ahora llamadas papas nativas<sup>3</sup>. Estos materiales de papas presentan diversidad genética para su adaptación a diversos microclimas locales<sup>4</sup>.

En los últimos años, las papas nativas han cobrado importancia en el consumo nacional, por sus características organolépticas, colores, formas y aportes nutricionales que las hacen llamativas para la alta cocina<sup>5</sup>. No obstante, el cultivo y conservación de papas nativas ha dependido directamente del pequeño productor, con fines de autoconsumo y comercialización para suplir necesidades económicas.

En Colombia, existen algunos limitantes que dificultan su posicionamiento en el mercado debido al desconocimiento sobre su existencia, poca disponibilidad de semilla certificada, índices bajos de rendimiento y productividad, presencia de fitopatógenos por su propagación vegetativa y falta de tecnología y herramientas que fortalezcan su producción<sup>6-8,9-11</sup>. Aunque han existido procesos de caracterización morfo-fisiológica de variedades nativas y más recientemente, la caracterización molecular



para la evaluación de la diversidad genética de la Colección Central Colombiana<sup>3</sup>, en la que se incluyeron variedades nativas, persiste un vacío de información y limitaciones para su producción a gran escala<sup>20-3</sup>.

En el departamento de Boyacá no existen programas enfocados en la caracterización morfológica, agronómica y molecular de los materiales nativos presentes en esta zona del país, donde el producto ha retomado fuerza a nivel comercial, inclusive con la promoción de nuevos productos como los chips de papas nativas. Por lo tanto, se puede afirmar que la información científica sobre material nativo en Boyacá es escasa, más aún, si se tiene en cuenta que hasta hace algunos años las papas nativas habían sido relegadas a un mercado secundario sin cadenas de distribución.

Es por esto que, desde la biotecnología vegetal se pretende articular la investigación con los saberes tradicionales en favor de promover la obtención *in vitro* de material vegetal limpio, y hacer un acercamiento a la caracterización etnobotánica, morfoagronómica, genética y nutricional, para la conservación y aprovechamiento de recursos fitogenéticos.

El uso de herramientas biotecnológicas se presenta como una estrategia viable para fortalecer la cadena productiva de papa nativa. Estas, se han utilizado por largos años y con éxito, en la producción de variedades comerciales. Su implementación en genotipos nativos se proyecta como una alternativa prometedora.

Dentro de estas herramientas se incluye la propagación *in vitro*, en la que a través del cultivo de tejidos, por ejemplo, se pueden obtener plantas libres de patógenos y con un gran potencial en la producción de tubérculos en campo y en programas de mejoramiento genético<sup>6</sup>.

El cultivo de tejidos vegetales es un conjunto de técnicas biotecnológicas fundamentadas en la capacidad de las células vegetales para regenerar plantas completas en condiciones adecuadas (totipotencialidad). Estas

técnicas consisten en el aislamiento en condiciones asépticas de un órgano o segmento de una planta (explante), al cual se le proporcionan las condiciones físicas y químicas adecuadas de manera artificial, para que expresen su potencial intrínseco o inducido<sup>15-17</sup>.

Por medio del cultivo de tejidos se lleva a cabo la propagación asexual (vegetativa) de la papa, la cual proporciona múltiples ventajas como la obtención de un alto número de clones a partir de un explante, eliminación de enfermedades, selección de rasgos de interés, entre otras<sup>18</sup>.

De esta manera, el saneamiento del material vegetal, la producción de plántulas *in vitro*, el mantenimiento de cadenas proliferativas y la producción de microtubérculos de alta calidad, pueden ser utilizados como material de partida para la producción de semilla certificada de genotipos nativos. Lo anterior, garantiza mejores cosechas, beneficios económicos y calidad de vida en pro de una agricultura eficiente, rentable y amigable con el medio ambiente y la salud humana. Además, se promueve la conservación *in situ* y *ex situ* (bancos de germoplasma) de este recurso genético y del patrimonio cultural conexo.

De otra parte, para caracterizar morfológicamente la papa, en su mayoría se utilizan descriptores morfológicos, complementados con descriptores fisiológicos, bioquímicos, genéticos y moleculares, si fuese necesario<sup>19</sup>.

Describir morfológicamente órganos vegetativos y reproductivos es de gran utilidad para caracterizar y evaluar recursos genéticos<sup>20</sup>.

Mediante el uso de descriptores morfoagronómicos básicos se han realizado investigaciones alrededor del mundo, con el fin de conocer factores de calidad del tubérculo, rendimiento, materia seca y gravedad específica, características de interés



para el procesamiento industrial. Con lo anterior, se contribuye con el mantenimiento de un importante recurso agronómico, el cual aporta a la seguridad alimentaria nacional, siendo una alternativa viable en la mitigación de bajas producciones derivadas del cambio climático<sup>4,5,21</sup>.

Por lo anterior y para dar respuesta a la problemática expuesta inicialmente, se planteó como objetivo principal de este trabajo, establecer procesos biotecnológicos y agrícolas que permitieran fomentar el cultivo de materiales limpios de papa nativa, como una alternativa de desarrollo para el departamento de Boyacá.

En aras de dar cumplimiento a la meta propuesta, se buscó implementar cultivos *in vitro* y obtener materiales limpios provenientes de los agro-ecosistemas de los municipios de Ventaquemada y Chiscas (Boyacá); caracterizarlos morfo-agronómicamente, establecer parámetros nutricionales y determinar sus relaciones de similitud genética, así como fomentar estrategias de divulgación que propendan por la participación de actores sociales en la promoción de saberes culturales y del aprovechamiento de materiales nativos de papa, cultivados en Boyacá.

*Colores y Sabores de mi Tierra*, es un homenaje a las papas nativas que se resguardan en las montañas del departamento de Boyacá. Este tesoro poco explorado, conserva en su interior cientos de riquezas milenarias, que generaron profundos vínculos entre la naturaleza cultivable y la identidad cultural de nuestros campesinos boyacenses.

Más que un libro, es un mapa que lo guiará de manera sencilla y rápida al encuentro de este tesoro, en el que se fascinará con conocimientos agronómicos, biológicos y culinarios, que dan a cada material, un precio invaluable.

## ANTECEDENTES

La papa (*Solanum tuberosum* L.) pertenece a la familia Solanaceae, de alta importancia económica en la agricultura, en la que también se incluyen el tomate, el pimiento, la berenjena, la petunia y el tabaco<sup>22</sup>.

El cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*) ocupa el tercer lugar en importancia en el mundo como alimento para consumo humano, después del arroz y el trigo<sup>23</sup>.

Las papas cultivadas se originaron y domesticaron en la Cuenca del Lago Titicaca en las fronteras de Perú-Bolivia, desde donde se extendieron a otros países y continentes hace aproximadamente 8.000-10.000 años<sup>24</sup>.

*Solanum stenotomum* es considerada la primera especie de papa cultivada proveniente de las especies silvestres *Solanum bukasovii*, *S. canasense* y *S. multisectum*; no obstante, aún persisten muchas preguntas en cuanto a su origen, selección y domesticación<sup>25</sup>.

Se estima que se cultivan en aproximadamente 150 países en una variedad de hábitats que oscilan principalmente entre los 2.000 y 4.000 m de altura y en latitudes desde los 38°N a 41°S<sup>22</sup>, lo que permite tener variedades adaptadas a diferentes condiciones climáticas y pisos agroecológicos<sup>26</sup>.

Presentan una alta biodiversidad genética, principalmente en los Andes donde existen variedades silvestres, nativas y mejoradas de las cuales 7.000 accesiones se encuentran en el CIP<sup>24,27</sup>. Las especies de papa cultivada presentan un número de cromosomas de base 12 y diferentes ploídías, aunque, la mayoría de las especies son diploides (2n=24), y en minoría se presentan triploides, tetraploides, pentaploides y hexaploides<sup>28</sup>.

La papa común (*Solanum tuberosum*) se agrupa en la sección Petota- Subdivisión Potatoe debido a la presencia de tubérculos<sup>29</sup>.

Se han descrito diferentes clasificaciones para la papa, sin embargo, una de las más recientes es la Spooner et al. (2007) representada en dos grandes grupos: Andigenum que incluye variedades de tierras altas (diploides, triploides y tetraploides) y el grupo Chilotanum que incluye tetraploides y hace referencia a variedades locales y de tierras bajas, de las cuales se han seleccionado cultivares modernos<sup>29</sup>.

En Colombia, este cultivo es uno de los más importantes a nivel socioeconómico, debido a que representa uno de los principales componentes de la canasta familiar del país<sup>31</sup>.



El 90% del área de papa sembrada se concentra en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Nariño y Antioquia; para el año 2019 el área sembrada fue de 128.622 ha, con una producción 2.701.062 ton, de los cuales, 35.162 ha y 725.222 ton corresponden al departamento de Boyacá<sup>32</sup>.

Sin embargo, aunque la producción y el consumo de papa son altos en el país, el mercado está dominado por variedades comerciales como: Betina, ICA-Huila, ICA-Nevada, ICA-Puracé, ICA-Única, Morasurco, Rubí, Tuquerreña, Suprema, Parda Pastusa, Diacol Capiro, Superior y Criolla, siendo las cuatro últimas las que concentran el 50% del área sembrada total.

Estas 13 variedades solo representan un pequeño fragmento de todos los materiales que se cultivan en el país, incluidas las nativas, de las cuales no se conocen datos exactos de su producción<sup>33-35</sup>.

Los materiales nativos comprenden un conjunto de morfotipos o materiales domesticados, seleccionados y conservados *in situ* por los antiguos habitantes de la zona altoandina<sup>25,36</sup>, los cuales han sido incluidos en los grupo Andigenum (según la clasificación de Spooner et al. (2007))<sup>30,37</sup>.

Se cultivan en su mayoría en pequeñas parcelas, principalmente para el consumo familiar, entre altitudes que van desde los 2.000 a 3.500 m. Presentan alta diversidad frente a colores, sabores, formas, tamaños, texturas y ploídías<sup>13,38</sup>.

Además, tienen alto grado de tolerancia a condiciones de sequía, heladas y suelos con baja fertilidad y poseen un alto valor nutricional principalmente en carbohidratos, proteínas, fibra, minerales, compuestos antioxidantes y vitaminas E y C<sup>12</sup>. Su principal uso es en la cocina, en donde se presentan diferentes formas

de preparación según el cultivar; también son usadas como medicina, forraje, combustible, confección de juguetes, decoración, entre otros<sup>26</sup>.

Según el CIP, existen más de 4.000 materiales de papa nativa, sembradas principalmente en los Andes desde el occidente de Venezuela hasta el centro de Bolivia. En Colombia se registran alrededor de 400 materiales nativos, diversidad que se concentra en el departamento de Nariño<sup>14,39</sup>.

Algunos de estos son utilizados en programas de mejoramiento e investigaciones genéticas, debido a su capacidad de tolerancia a enfermedades como la marchitez bacteriana causada por la bacteria *Ralstonia solanacearum*, virus (PVX, PVS, PMV y PVA) y a altas temperaturas<sup>13</sup>.

El país que más ha contribuido con el estudio de las variedades nativas de papa es Perú, reportando múltiples investigaciones y describiendo aproximadamente 114 variedades de las 500-600 presentes en el área, según estudios preliminares. Dichos estudios se han basado en descriptores morfoagronómicos, usos culinarios y conocimientos colectivos de agricultores, quienes con sus prácticas conservacionistas, ecológicas, agrícolas y productivas, han mantenido las papas nativas, como un tesoro preciado para la humanidad<sup>40,41</sup>.

Dentro de los documentos dedicados a las papas de color, toman especial relevancia los catálogos y cartillas publicadas en Chile<sup>42</sup>, Ecuador<sup>43</sup>, Venezuela<sup>44,45</sup>, Perú<sup>46,47,26,48</sup> y Colombia<sup>37,49</sup>, en los que se describe la caracterización morfoagronómica de los materiales y el rol de las comunidades nativas como actores conservacionistas, cultivadores y embajadores de estos importantes recursos fitogenéticos y culturales.

**Estudio de diversidad genética.** En Colombia los trabajos iniciales de genética, biología molecular y



fitomejoramiento en papa, se desarrollaron en el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA)<sup>50</sup> y, luego, por investigadores de la Universidad Nacional de Colombia.

La implementación de técnicas moleculares se ha realizado principalmente para variedades de importancia comercial. No obstante, Colombia, Ecuador y Perú, poseen numerosas variedades de papas nativas que deben ser valoradas, conservadas y explotadas. A pesar de la gran diversidad y potencial presente en las papas nativas, se conocen pocos estudios sobre su caracterización molecular, siendo necesario realizar investigación que permita identificar y utilizar genes de interés, que respondan a las necesidades de productores, procesadores y consumidores.

Además, teniendo en cuenta el potencial cultural y alimenticio de las papas nativas, y porqué son un recurso genético propio de gran aceptación y consumo a nivel nacional e internacional, los estudios moleculares permitirían mejorar la competitividad del cultivo de variedades nativas en Colombia<sup>51</sup>.

Entre los trabajos de análisis molecular en papa se destacan los de Ñustez<sup>52</sup>, Meyer et al.<sup>53</sup>, Berdugo-Cely et al.<sup>41</sup>, Roca<sup>54</sup>, Navarro et al.<sup>55</sup>, Castañeda<sup>56</sup>, González y Peña<sup>57</sup>, Mathias et al.<sup>58</sup> y los recopilados por PAPANAT<sup>59</sup>, entre otros, en los cuales se realizó caracterización y verificación de la diversidad morfológica de flores y tubérculos, además de construcción de mapas de ligamiento<sup>55</sup>.

Estos mapas moleculares y los marcadores de DNA constituyen, actualmente, el esqueleto del análisis del genoma en papas cultivadas y especies del género *Solanum* relacionadas<sup>50,60,61</sup>.

Otra investigación importante sobre papas nativas es la realizada por el Centro Internacional de la Papa, en el marco del proyecto "Conservación y Uso Sostenible de la Agrobiodiversidad de Papas Nativas (2003)", y que abordó temas de conservación *in situ* de variedades de papa nativa en Huancavelica Perú, lográndose crear, de manera preliminar, una huella o código genético único para cada variedad, que permite la identificación precisa y consistente<sup>40</sup>.

**Manejo fitosanitario del cultivo de la papa.** En el mundo, los principales virus que afectan la papa son: PLRV, PVY, PVA y PVX, sumándose a éstos en Colombia PVS, PMTV y PVV<sup>62,63</sup>, causantes de pérdidas del orden del 61% en rendimiento<sup>64</sup>. Los estudios en virología han demostrado que el efecto sobre la producción en papa es especialmente crítico cuando los virus se presentan en conjunto<sup>65</sup> y, que la utilización sucesiva de tubérculo semilla por los agricultores conduce al aumento de la incidencia

y la severidad<sup>66</sup>; razón por la que el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) tiene un Programa Nacional de Certificación de Semilla de Papa<sup>67</sup>.

Las técnicas serológicas para la detección de virus, han sido utilizadas para evaluar y detectar diversos virus en la papa<sup>68</sup>, destacándose el trabajo de Valenzuela et al.<sup>69</sup> “Evaluación de sintomatología de las plantas y obtención de plantas libres de virus por cultivo de meristemas y termoterapia en papa” y los realizados por Gil-Ramírez<sup>66</sup>, Franco-Lara et al.<sup>68</sup> y, del Laboratorio de Virus Vegetales del Instituto de Biotecnología (UNAL), quienes determinaron mediante métodos serológicos la prevalencia de PVX, PVY, PVS y PLRV en la CCCP (*S. tuberosum ssp. andígena*, *S. phureja*, y *S. chaucha*), así como el desarrollo de un anticuerpo que permite la detección serológica del virus PVV.

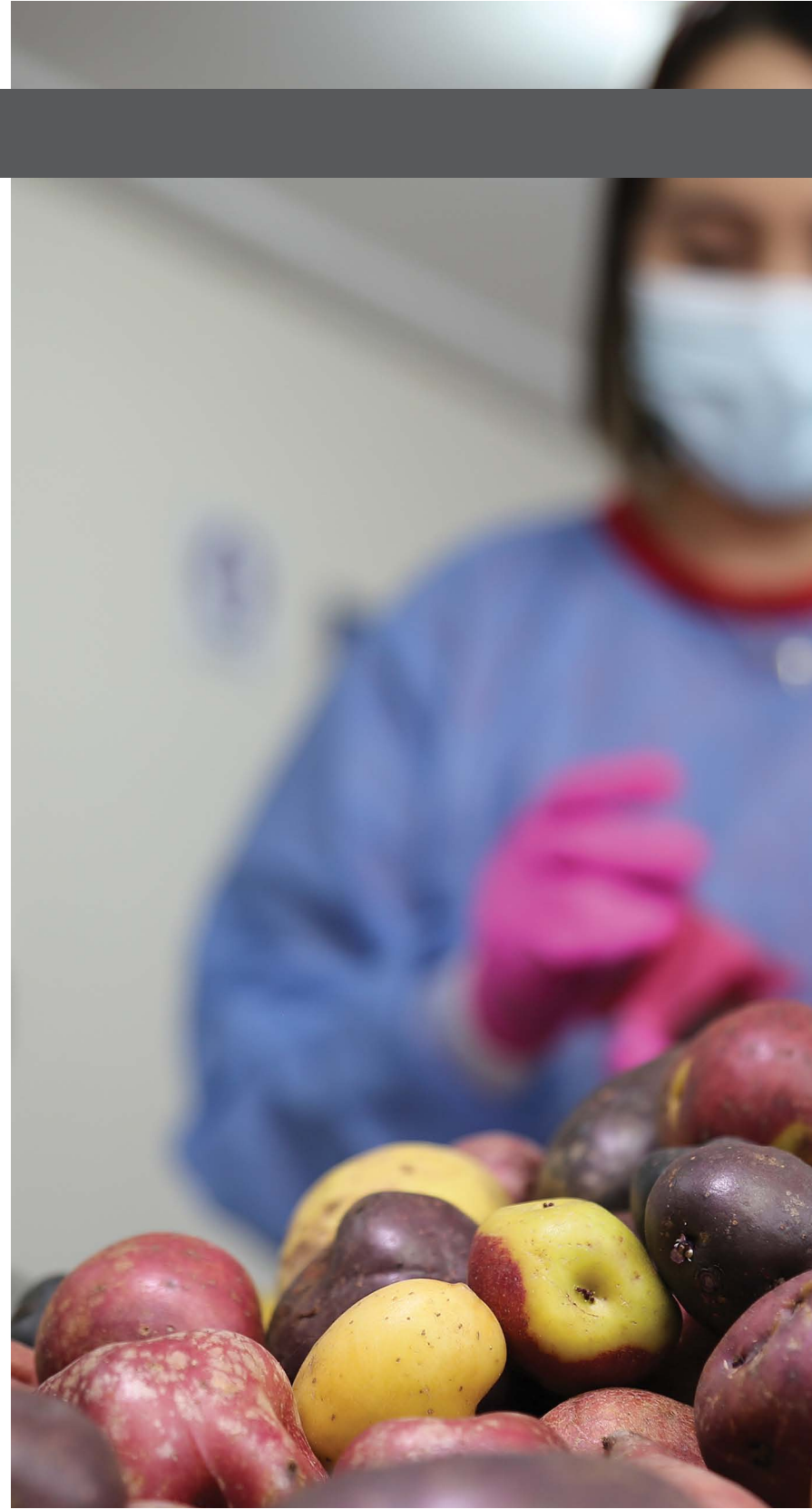
A nivel mundial, la propagación de papa mediante cultivo *in vitro* de yemas se utiliza comúnmente para la producción de vitroplantas y microtubérculos<sup>70</sup>; por tanto, el valor potencial del cultivo de tejidos en la producción de papa ha sido ampliamente reconocido y la aplicación de técnicas de cultivo *in vitro*, combinadas con el diagnóstico y saneamiento de los principales patógenos del cultivo, ha contribuido a incrementar su eficiencia<sup>70</sup>.

Moreno<sup>71</sup> utilizó la micropropagación para la multiplicación rápida de clones libres de enfermedades y la obtención de microtubérculos sanos<sup>72</sup>. A través del cultivo de meristemas, García-Águila et al.<sup>73</sup> obtuvieron plantas libres del virus S, las multiplicaron y usaron para producción *in vitro* de minitubérculos; por su parte, Marulanda y Martínez<sup>74</sup> obtuvieron plantas Super Elite implementando técnicas de termoterapia, cultivo *in vitro* de meristemas y multiplicación acelerada.

**Evaluación morfológica y fisiológica en papa.** A través de investigaciones de varios autores junto con el estudio de la colección en custodia del CIP, se determinaron los caracteres más consistentes que más aportan a la caracterización de la papa.

En consecuencia, en 1994 se publicaron los “Descriptores de Papa para la caracterización básica de colecciones nacionales”, que son un resumen actualizado de descriptores morfológicos básicos, tanto de la planta como de flores y tubérculos, con el fin de anular las discrepancias entre las personas que describen y los usuarios, sobre la apreciaciones de colores<sup>19</sup>.

Mediante el uso de tales descriptores básicos, se han realizado investigaciones alrededor del mundo, con el fin de conocer factores de calidad del tubérculo, rendimiento, materia seca y gravedad específica, características de interés para el



procesamiento industrial, como ha sido sugerido por Talburt y Smith<sup>75</sup>, Guenther<sup>76</sup>, Davenport<sup>77</sup>, Palacios<sup>78</sup>, Kumar et al.<sup>79</sup>, Alvarado et al.<sup>80</sup>, Ordóñez et al.<sup>81</sup>, Coraspe<sup>82</sup>, Shetty<sup>83</sup>, Espín<sup>84</sup>, Flores-Magdaleno<sup>85</sup>, Allen y O'Brien<sup>86</sup>, entre otros.

Estos autores han cuantificado y determinado los valores de sólidos del tubérculo, su maduración, cantidad de potasio y sus efectos en la calidad de cosecha, y la fenología, y han establecido relaciones entre las características de evaluación agronómica a través de modelos matemáticos, que relacionan los atributos determinantes de su utilización, calidad interna, procesamiento y fisiología.

No obstante, dichas características dependen de la variedad, de las condiciones de crecimiento, la madurez y las condiciones de almacenamiento<sup>78</sup>, además del clima, prácticas de cultivo, duración de la temporada de cultivo, condiciones del suelo e incidencia de plagas y enfermedades<sup>80,84</sup>.

Dentro de los estudios de caracterización morfológica, agronómica y etnobotánica de papas nativas se destacan los trabajos de Sumba-Montes<sup>87</sup> en Ecuador, el trabajo de Salazar<sup>88</sup> a través de la evaluación del rendimiento y características de calidad de trece clones avanzados de papa (*Solanum tuberosum* L.) y el de Ligarreto<sup>89</sup> con la evaluación del potencial industrial de los recursos genéticos de la Colección Central Colombiana de papa criolla (*Solanum phureja*).

Así mismo, se destacan las Pruebas de Evaluación Agronómica (PEA) de genotipos de papa criolla (Grupo Phureja) para la región natural andina, subregión natural Nudo de los Pastos, ejecutado por la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad McGill de Canadá, y el apoyo de las Escuelas de Campo de Agricultores (ECA), lideradas por la Fundación Fundelsurco, Nariño<sup>90</sup>.

**Etnobotánica.** Respecto a los trabajos etnobotánicos realizados en papa, se conoce el realizado por Minnis<sup>91</sup>, y los de Sumba-Montes<sup>87</sup> en México, de Monteros et al.<sup>43</sup> en Ecuador, del Centro Internacional de la Papa<sup>40</sup>, de Fonseca et al.<sup>47</sup> y Jackson et al.<sup>92</sup> en Perú, y en Colombia el de Estupiñán<sup>93</sup> del Grupo de Investigaciones Arqueológicas e Históricas de la UPTC y el de Tinjacá y Rodríguez<sup>14, 93</sup>.

Siendo Boyacá uno de los mayores productores y consumidores de papa a nivel nacional y, teniendo en cuenta que un gran número de sus comunidades rurales y culturales poseen abundantes conocimientos sobre variedades nativas de papa, formas de uso, características botánicas y agronómicas, entre otros, es pertinente indagar en la experiencia y saberes de la comunidad en la región, lo cual contribuirá a preservar el saber tradicional y la diversidad de aquellos tubérculos nativos, que son patrimonio genético en el departamento de Boyacá.