

# Papa criolla

(*Solanum tuberosum* L. Grupo Phureja)

Manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca



Carlos Eduardo Núñez López  
Luis Ernesto Rodríguez Molano

Convenio:

**AGROSAVIA**  
Corporación colombiana de Investigación agropecuaria



**BOGOTÁ**



Gobernación de  
**Cundinamarca**



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE COLOMBIA

# **Papa criolla**

**(*Solanum tuberosum* L. Grupo Phureja)**

# Papa criolla

(*Solanum tuberosum* L. Grupo Phureja)

Manual de recomendaciones técnicas para su cultivo  
en el departamento de Cundinamarca

**Carlos Eduardo Núñez López**

**Luis Ernesto Rodríguez Molano**

Facultad de Ciencias Agrarias

Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

Convenio:



Gobernación de  
**Cundinamarca**



## Catalogación en la publicación Universidad Nacional de Colombia

Ñústez López, Carlos Eduardo, 1963-

Papa criolla (*Solanum tuberosum* L. Grupo Phureja) : manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca

Carlos Eduardo Ñústez López, Luis Ernesto Rodríguez Molano. – Primera edición. -- Bogotá : Universidad Nacional de Colombia : Corredor Tecnológico Agroindustrial CTA-2, 2024

1 recurso en línea (138 páginas) : ilustraciones (principalmente a color), diagramas, fotografías.

Incluye referencias bibliográficas  
ISBN 978-958-505-492-9 (digital)

1. Papa criolla -- Cultivo -- Cundinamarca -- Colombia -- Manuales 2. Papa criolla -- Abonos y fertilizantes -- Cundinamarca -- Colombia -- Manuales 3. Papa criolla -- Producción -- Cundinamarca -- Colombia -- Manuales 4. Papa criolla -- Enfermedades y plagas -- Cundinamarca -- Colombia -- Manuales 5. Papa criolla -- Comercio -- Cundinamarca -- Colombia -- Manuales 6. Técnicas de cultivo -- Manuales 7. Fecundación de las plantas -- Manuales I. Rodríguez Molano, Luis Ernesto, 1963-, autor

CDD-23 635.21 / 2024

CORREDOR TECNOLÓGICO AGROINDUSTRIAL CTA-2  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, SEDE BOGOTÁ  
Calle 44 N.º 45-67 Unidad Camilo Torres  
Edificio 826 Bloque A-1 Oficina 101  
Teléfono (57-1) 316 5000 Extensión 10248  
Bogotá, D. C. Colombia  
Código postal: 111321

PREPARACIÓN EDITORIAL  
Mesa Editorial  
Corredor Tecnológico Agroindustrial CTA-2

COORDINACIÓN EDITORIAL:  
Luis Gabriel Bautista Montealegre I. A., M. Sc  
Rodrigo Orlando Pinzón Caballero I. A.

DISEÑO GRÁFICO:  
María Victoria Guerra Rivero  
Andrés Conrado Montoya Acosta

IMPRESIÓN:  
DGP Editores S.A.S.  
Bogotá D. C.  
2024

CITACIÓN SUGERIDA: Ñústez-López, C. E. y Rodríguez-Molano, L.E. (2024). Papa criolla (*Solanum tuberosum* L. Grupo Phureja): Manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca. Bogotá, D. C.: Corredor Tecnológico Agroindustrial CTA-2.

Primera edición, 2024

ISBN impreso: 978-958-505-491-2  
ISBN digital: 978-958-505-492-9

CLÁUSULA DE RESPONSABILIDAD: El Corredor Tecnológico Agroindustrial - CTA-2 no es responsable de las opiniones e información contenidas en el presente documento. Los autores/as se adjudican exclusiva y plenamente la responsabilidad sobre su contenido, ya sea propio o de terceros, declarando en este último supuesto que cuentan con la autorización para su publicación; adicionalmente, los autores/as declaran que no existe conflicto de interés con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, solo los autores/as serán responsables civil, administrativa o penalmente frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros relativa a los derechos de autor u otros derechos que se hubieran vulnerado como resultado de su contribución.



El contenido del presente documento se acoge a la licencia *Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 4.0 International* (CC BY-NC-ND 4.0 DEED). Su copia o redistribución debe incluir el crédito correspondiente a los autores y autoras, así como a las entidades editoriales y no debe tener fines comerciales. Se puede consultar la licencia en: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.en>.

*Dedicado a todas las personas  
que trabajan la tierra*

## **Corredor Tecnológico Agroindustrial CTA-2**

Entidad Ejecutora:  
Gobernación de Cundinamarca  
Jorge Emilio Rey Ángel  
Gobernador

### **Comité Directivo**

Gobernación de Cundinamarca  
Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación  
Hjalmar Arturo Melo Román

Alcaldía Mayor de Bogotá, D. C.  
Secretaría Distrital de Desarrollo Económico  
Juanita Rodríguez Garay  
Directora de Economía Rural y Abastecimiento Alimentario

Universidad Nacional de Colombia  
Vicerrectoría de Investigación  
Olga Janneth Gómez Ramírez  
Directora de Investigación y Extensión Sede Bogotá

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA  
Centro de Investigación Tibaitatá  
Carlos Alberto Herrera Heredia  
Coordinación de Innovación Regional

## **Comité Técnico Científico**

### **Corredor Tecnológico Agroindustrial CTA-2**

Gobernación de Cundinamarca  
Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación  
Olga Lucía Guzmán Morales  
Asesora de despacho

Alcaldía Mayor de Bogotá, D. C.  
Secretaría Distrital de Desarrollo Económico  
Andrea Campuzano Becerra

Universidad Nacional de Colombia  
Dirección de Investigación y Extensión – Sede Bogotá  
Bethsy Támara Cárdenas Riaño  
Jefe de la División de Investigación

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA  
Centro de Investigación Tibaitatá  
Carlos Alberto Herrera Heredia  
Coordinación de Innovación Regional  
C. I. Tibaitatá

### **Directora de proyecto**

Ingritts Marcela García Niño

### **Supervisión**

Gobernación de Cundinamarca  
Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación  
Oscar Alberto Villalba Pulido  
Gerente de proyectos



El Corredor Tecnológico Agroindustrial (CTA) es una estrategia de cooperación entre Estado, sector productivo y academia, en la cual participan actores directivos del sector agropecuario y agroindustrial de Cundinamarca y Bogotá, D. C., con el fin de aunar esfuerzos en actividades de desarrollo y fortalecimiento de la ciencia, la tecnología y la innovación. Sus capacidades están orientadas a la formulación y ejecución de proyectos de carácter investigativo, que permitan la transferencia tecnológica al sector agropecuario y agroindustrial.

El presente documento es resultado del Subproyecto “Contribuyendo con la sostenibilidad del cultivo de papa: de Cundinamarca para Colombia”, desarrollado en el marco del Corredor Tecnológico Agroindustrial CTA-2, Proyecto “Investigación, desarrollo y transferencia tecnológica en el sector agropecuario y agroindustrial con el fin de mejorar todo el departamento, Cundinamarca, Centro Oriente”, suscrito por la Gobernación de Cundinamarca, a través de la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación; la Alcaldía de Bogotá, a través de la Secretaría Distrital de Desarrollo Económico; la Universidad Nacional de Colombia, y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA, antes Corpoica). El Corredor Tecnológico Agroindustrial CTA-2 es financiado con recursos del Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías.

Se aclara además que los resultados de investigación obtenidos deben ser comprendidos de acuerdo con el periodo en el que se ejecutó el proyecto y no con el de su fecha de publicación.



# Contenido

Agradecimientos y colaboradores.....	13
Introducción .....	15
Aproximación al diagnóstico del sistema productivo de la papa criolla .....	19
Zonas de influencia del Subproyecto Papa.....	19
Caracterización general de los agricultores .....	19
El sistema productivo .....	20
Contexto general de la papa criolla.....	27
Introducción .....	27
Botánica y morfología de la papa .....	29
Variedades de papa diploide en Colombia .....	32
Área, producción y rendimiento .....	35
Clima y suelos para la papa criolla .....	39
Temperatura .....	39
Humedad en el cultivo .....	39
Requerimientos edáficos.....	42
Aspectos técnicos del manejo del cultivo .....	45

Selección de la semilla .....	45
Preparación del suelo.....	47
Siembra del cultivo y prácticas asociadas.....	48
Fertilización del cultivo .....	50
Labores culturales en el cultivo.....	61
<b>Enfermedades limitantes en el cultivo de papa criolla y su manejo.....</b>	<b>71</b>
“Gota” o tizón tardío .....	71
Sarna polvosa y camanduleo .....	76
Rizoctoniasis y costra negra .....	80
Sarna común.....	82
Carbón de la papa.....	84
Pierna negra y pudrición blanda .....	88
Virus del amarillamiento de las nervaduras (PVY) .....	89
<b>Principales plagas en el cultivo de papa criolla y su manejo.....</b>	<b>93</b>
Gusano blanco.....	93
Polilla guatemalteca.....	98
Pulguilla de la papa.....	104
<b>Costos de producción y mercados de la papa criolla.....</b>	<b>107</b>
Introducción .....	107
Costos de producción en el cultivo .....	108
Precio de la papa criolla en el mercado fresco.....	112
La exportación de papa criolla.....	116
<b>Referencias bibliográficas .....</b>	<b>119</b>

## *Agradecimientos y colaboradores*

Los autores expresan especial agradecimiento a los jóvenes profesionales que participaron en las actividades del proyecto en sus diferentes fases de campo:

- David Eduardo Casallas Bautista. Ingeniero agrónomo.
- Germán Leonardo Ñústes Grisales. Ingeniero agrónomo.
- María Margarita López Rodríguez. Ingeniera agrónoma.
- Pedro Alfonso Lizarazo Peña. Ingeniero agrónomo.
- Wendy Tatiana Cárdenas Pira. Ingeniera agrónoma.
- Wilmar Antonio Ariza Acebedo. Ingeniero agrónomo.

De igual forma, la dirección del Subproyecto “Contribuyendo con la sostenibilidad del cultivo de papa: de Cundinamarca para Colombia” y la coordinación del componente de papa criolla expresan su agradecimiento especial a los agricultores con quienes se desarrollaron las Parcelas de Investigación Participativas Agropecuarias (PIPA):

- Sr. Pablo Rincón, municipio de Subachoque.
- Sr. Juvenal Carpeta, municipio de El Rosal.
- Sr. Miguel Humberto Aponte Chiriví, municipio de Bojacá.
- Sr. Rigoberto Cárdenas Carpeta, municipio de Subachoque.
- Sr. José Alfredo Salamanca Cortés, municipio de Subachoque.
- Sr. Camilo Antonio Prieto Carrillo, municipio de Sibaté.
- Sra. Yeni Nohelia Huertas Chacón, municipio de Granada.

Al Centro Agropecuario Marengo de la Universidad Nacional de Colombia (Mosquera).

A los agricultores con quienes se desarrollaron parcelas demostrativas:

- Sr. Jonny Francisco Rojas Herrera, municipio de Granada.
- Sr. Miguel Antonio Roa Martín, municipio de Granada.
- Sr. Leoni Tautiva Romero, municipio de Granada.
- Sr. Marco Antonio Pérez, municipio de Granada.
- Sr. Carlos Orlando Bernal, municipio de Sibaté.
- Sr. Javier Prieto Carrillo, municipio de Sibaté.
- Sr. Carlos Orlando Páez Tequia, municipio de Sibaté.
- Sr. Camilo Prieto Carrillo, municipio de Sibaté.
- Sr. Fernando Valbuena, municipio de Subachoque.
- Sr. Juan Huérfano, Bogotá, zona rural.
- Sr. Nelson Montaña, municipio de Zipacón.
- Sr. Albeiro Acero, municipio de Facatativá.

A la Asociación de Productores de Papa Criolla en el municipio de Granada (ASOAGRA).

A la Asociación de Productores de Papa Criolla del municipio de Subachoque. A la Asociación de Productores de Papa Criolla del municipio de Sibaté.

A la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI), División de Insumos, por su colaboración en los talleres de capacitación sobre manejo técnico de aplicación de pesticidas.

Al Corredor Tecnológico Agroindustrial CTA-2, proyecto “Investigación, desarrollo y transferencia tecnológica en el sector agropecuario y agroindustrial con el fin de mejorar todo el departamento, Cundinamarca, Centro Oriente”.

A la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación del departamento de Cundinamarca, a la Secretaría Distrital de Desarrollo Económico de Bogotá, D. C., a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) y a la Universidad Nacional de Colombia por la cofinanciación del proyecto.

Al personal administrativo de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, en sus diferentes dependencias, por el apoyo en los trámites de ejecución del proyecto e informes financieros.

## Introducción

En Colombia la papa que predomina para el consumo es la papa tetraploide, conocida como “papa blanca” o “papa de año” ( $2n = 2X = 48$ ) (*Solanum tuberosum* L. Grupo Andigenum) de las cuales existe gran diversidad de variedades nativas y mejoradas. De otro lado, también existe una importante diversidad de papa diploide ( $2n = 2X = 24$ ), que corresponde al Grupo Phureja que se caracteriza por su adaptación al día corto y ausencia de reposo, características que lo hacen un grupo cultivado especial. Se cosecha con follaje verde y su periodo de poscosecha para consumo fresco es muy corto.

El centro de diversidad del Grupo Phureja se localiza en el sur de Colombia y el norte de Ecuador. En Colombia se distribuye a lo largo de las cordilleras, de sur a norte, en zonas con altitud superior a los 2000 m s. n. m.. En el departamento de Nariño es donde se cultivan y se mercadean múltiples variedades de estas papas diploides (Tornilla, Mambera y Ratona, entre otras) con gran arraigo en las comunidades nativas.

En el país, desde hace muchas décadas, se difundieron ampliamente para cultivo y consumo las papas redondas de este grupo diploide, de color de piel y carne amarilla, que se conocen comúnmente con el nombre de “papa criolla” (fenotipo “yema de huevo”). Su periodo vegetativo es de 120 días bajo las condiciones de la sabana de Bogotá (2600 m s. n. m.), periodo corto frente al de las papas tetraploides cultivadas (papas de año), que tienen un periodo superior a los 165 días.

La papa criolla tiene una gran aceptación dentro de la población colombiana, así como en el mercado internacional. Se le reconocen cualidades organolépticas especiales que le permiten ser parte de la preparación de múltiples platos de la cocina tradicional, al igual que también se valora su mayor calidad nutricional con respecto a la papa de año.

En la actualidad, aunque el sistema productivo de papa criolla en el departamento de Cundinamarca presenta la mejor tecnología en el contexto nacional para el cultivo —en particular en los municipios del occidente de la Sabana de Bogotá—, mantiene importantes limitantes en la adopción de tecnologías desarrolladas, tales como nuevas variedades, buenas prácticas agrícolas, manejo de la fertilización y manejo fitosanitario del cultivo. Estos factores en su conjunto han limitado su desarrollo. Se ha identificado, por ejemplo, que el manejo de la fertilización en el sistema productivo de papa criolla se basa principalmente en las experiencias que han tenido otros agricultores, o en la información que al respecto pasa de una generación a otra de productores, sin revisión ni adopción de los avances tecnológicos para el cultivo.

Teniendo en cuenta las demandas tecnológicas para este cultivo, los centros de investigación y los grupos de investigación en papa de la Universidad Nacional de Colombia (sedes Bogotá y Medellín) han trabajado en áreas temáticas tales como el desarrollo de nuevas variedades con mayor potencial de rendimiento y resistencia a enfermedades, manejo de insectos plaga, fisiología, ajuste de planes de fertilización y calidad nutricional. En todos ellos se han generado avances que requieren de transferencia hacia los agricultores.

En este contexto, en el marco del proyecto “Investigación, desarrollo y transferencia tecnológica en el sector agropecuario y agroindustrial con el fin de mejorar todo el departamento, Cundinamarca, Centro Oriente” del Corredor Tecnológico Agroindustrial CTA-2 y del subproyecto “Contribuyendo con la sostenibilidad del cultivo de papa: de Cundinamarca para Colombia” (en adelante Subproyecto Papa), se establecieron Parcelas de Investigación Participativas Agropecuarias (PIPA) en municipios representativos del sistema productivo de papa criolla, para realizar el ajuste de las tecnologías desarrolladas. En complemento, se realizaron actividades de capacitación para diferentes grupos de agricultores de papa criolla en las áreas temáticas de

fertilización, manejo de insectos plaga, manejo de enfermedades limitantes y buenas prácticas agrícolas. También se montaron parcelas demostrativas como herramientas de transferencia en varios municipios de la Sabana Occidente y en los municipios de Granada y Sibaté.

El desarrollo del Subproyecto Papa permitió la elaboración del presente manual, en el cual se incluye una caracterización aproximada de los productores en Cundinamarca, se compila información técnica de alta pertinencia en el contexto de enfermedades, insectos plaga, labores culturales y aspectos de manejo agronómico para el sistema productivo de la papa criolla en Cundinamarca. Además, se incluyen algunos resultados experimentales del proyecto ejecutado y aspectos relacionados con el análisis de costos de producción, precios y exportación de la papa criolla. Las recomendaciones de manejo incluidas en este documento pueden llegar a ser validadas y adaptadas a otras zonas agroecológicas donde se cultiva papa criolla en el departamento o en otras regiones del país.

Se espera que este documento sea de utilidad para estudiantes, agricultores, profesionales y demás personas que tengan interés o curiosidad por conocer y entender acerca del sistema productivo de la papa criolla, un recurso genético colombiano para los colombianos y para todos quienes quieran tener el placer de degustarlo en cualquier latitud del mundo. ¡Esa es la meta!

Seguiremos trabajando desde la academia para contribuir con su desarrollo. El mundo merece conocer esta delicia de los Andes que nos pertenece porque la heredamos de nuestros ancestros, los pueblos nativos que no solo la seleccionaron, sino que la cultivaron y protegieron para dejarla a las generaciones presentes. No podemos ser inferiores a ese ejemplo de compromiso; pertenece a todos los colombianos y a todos los pobladores de la región andina, además de ser un maravilloso alimento para la humanidad con múltiples bondades que debemos apreciar y valorar.



# ***Aproximación al diagnóstico del sistema productivo de la papa criolla***

## **Zonas de influencia del Subproyecto Papa**

El Subproyecto Papa se desarrolló en municipios representativos para el sistema productivo de papa criolla en el departamento de Cundinamarca. Estos fueron: Bojacá, El Rosal y Subachoque en la Sabana Occidente; Granada y Sibaté para la provincia de Soacha y Bogotá rural.

## **Caracterización general de los agricultores**

En el marco del Subproyecto Papa se diseñó una encuesta para el diagnóstico del sistema productivo de papa criolla en el departamento que se aplicó a productores de los diferentes municipios de influencia del subproyecto en el primer semestre de 2016. En ella se indagó sobre aspectos socioeconómicos del hogar, características de la unidad productiva, semillas, aspectos técnicos del manejo de cultivo, uso de crédito y comercialización.

Se pudo establecer que, de los municipios involucrados en el proyecto, Bojacá, Subachoque y Bogotá rural son los principales productores de papa criolla, con condiciones ambientales favorables para su producción. La mayoría de los agricultores (70 %) son de bajo nivel educativo (primaria parcial o completa), situación

que pone de manifiesto una importante barrera para los procesos de transferencia de tecnología en el sistema productivo y, seguramente, explica la complejidad para la adopción de nuevos desarrollos o tecnologías.

Los agricultores encuestados manifestaron tener servicios restringidos de salud; alrededor del 60 % pertenecen al régimen subsidiado de salud (SISBEN), le siguen los que están afiliados a alguna EPS y un pequeño porcentaje (3 %) expresó no tener ninguna cobertura de salud. Alrededor del 90 % de los agricultores expresó que no cotiza para pensión; ello significa que no existe hábito de ahorro para la vejez y que esta problemática seguramente se mantendrá en el futuro cercano.

## El sistema productivo

### Aspectos generales

Con respecto a las tierras destinadas al cultivo, la mayoría son arrendadas, seguidas de las tierras propias con título. En su mayoría, los agricultores no tienen una vocación clara hacia la asociatividad, aunque han existido y existen experiencias de diferente índole, en general no han resultado efectivas. Solo el 32 % de los encuestados expresó formar parte de alguna organización de productores, con la característica de tener poca fortaleza en el vínculo. Este último aspecto corrobora una realidad de este sistema productivo, que lo hace vulnerable frente a las variables del mercado. La falta de organización se refleja en la carencia de información real de las diferentes variables del sistema productivo; por ejemplo, el desconocimiento de áreas sembradas, los pobres indicadores reales de oferta de producto, las dificultades para el establecimiento de estrategias que contribuyan con el manejo integral de problemas fitosanitarios emergentes y la debilidad en las relaciones con los hacedores de políticas para el sector, entre otras.

Según los agricultores, los recursos utilizados para el cultivo de papa criolla son en su mayoría capital propio, con poca participación de créditos.

Para la preparación de suelos en el sistema productivo predomina la arada y pulida mediante maquinaria alquilada, mientras que la surcada se realiza predominantemente con tracción animal.

## Semilla

Con respecto a la semilla que se utiliza en el sistema productivo, los agricultores reportaron, en un 44 %, que usaban semilla certificada, valor que no es estrictamente correcto; ya que, según ellos, usan semilla de buena calidad, que puede provenir de semilla certificada en primera o segunda generación y no necesariamente correspondiente con el concepto técnico de semilla certificada; ello se explica por la falta de claridad conceptual que los agricultores tienen frente al tema. En efecto, en otras preguntas de la encuesta, los mismos agricultores reportaron que la mayoría de la semilla que usan proviene de agricultores vecinos y, en menor proporción, de agricultores inscritos como productores de semilla certificada.

Situaciones particulares han contribuido a fortalecer el uso de semilla de buena calidad. Por ejemplo, en los municipios de Granada y Subachoque, durante los años 2014 y 2015, se presentó una alta incidencia del virus del amarillamiento de las venas (PYVV) en el cultivo de papa, debido a que el periodo seco favoreció las poblaciones del insecto vector (mosca blanca). Este virus se transmite por la semilla y para los agricultores es evidente su daño por la disminución en el rendimiento del cultivo. Las variedades de papa criolla (redonda amarilla) sembradas en el departamento son susceptibles a este virus y la alta incidencia en los cultivos, ha incentivado el uso de semilla de buena calidad en esta zona.

El costo de la semilla de papa criolla de buena calidad es en general más alto que el de la papa de año. El 74,4 % de los agricultores encuestados indicó que adquirió su semilla a un valor superior a los \$ 60 000 por bulto, valor moderadamente alto. Las condiciones climáticas que se presentaron en el segundo semestre de 2015 (por el Fenómeno del Niño) influyeron en los precios altos de la papa para consumo y corroboraron que el precio de la papa comercial tiene una incidencia directa en el comportamiento del precio de la semilla.

En el escenario de precios altos los agricultores venden la mayoría de su producción en los mercados y los volúmenes que dejan como semilla normalmente no son los de mejores parámetros de calidad; por lo tanto, la semilla de calidad adquiere una fuerte tendencia a los precios altos.

Según la encuesta, el 51,3 % de los productores no sabe si la semilla que adquiere es tratada, el 45,7 % no cuenta con una bodega independiente para el manejo de la semilla y el 91,5 % utiliza el arrume de bultos como forma de almacenamiento. Estas condiciones por lo general son desfavorables para el manejo técnico de la semilla de papa criolla, en especial porque esta semilla no tiene periodo de reposo, lo que obliga al agricultor a comercializarla en el corto plazo luego de la cosecha. El 40 % de los encuestados manifestaron no tener problema de almacenamiento y de aquellos que expresaron que sí lo tenían, el principal problema que enfrentan es el manejo de las plagas (34,3 %).

## Limitantes bióticas y abióticas

De acuerdo con los agricultores, los problemas fitosanitarios relevantes en la papa criolla en el caso de insectos plaga son la polilla guatemalteca (*Tecia solanivora*) y el gusano blanco (*Premnotrypes vorax*); en el caso de las enfermedades son, la “gota” o tizón tardío (*Phytophthora infestans*), seguida por la sarna común (*Streptomyces scabies*), la rizoctoniasis (*Rhizoctonia solani*) y el virus del amarillamiento de las venas (PYVV).

Los principales eventos climáticos que han afectado el sistema productivo de la papa criolla en la última década son las sequías y las heladas. Su ocurrencia es prevalentemente anual y su efecto está asociado con la reducción de la producción. El sistema productivo es vulnerable y en general no se cuenta sistemas de riego para mitigar el riesgo de pérdidas económicas. La producción y comercialización continuará siendo altamente influenciada por la estacionalidad del clima.

## Aspectos de la fertilización

En los municipios del estudio, el 47,6 % de los agricultores de papa criolla afirmaron que habían realizado en algún momento un análisis de suelo en sus campos de producción, aunque solo el 22,9 % lo utilizaban como criterio para decidir los planes de fertilización del cultivo; para ello, predominaba la tradición de las regiones y la experiencia del agricultor. En general, esto los lleva al uso de dosis elevadas de fertilizantes, que afectan negativamente el rendimiento e impactan la estructura de costos.

Con el fin de analizar los niveles de fertilización empleados por los agricultores en el sistema productivo, los productores se agruparon, según su área de producción, en tres grupos: pequeños (< 1 ha), medianos (entre 1 y 5 ha) y grandes (> 5 ha). En adición, para efectos del análisis, se definió para nitrógeno, fósforo ( $P_2O_5$ ) y potasio ( $K_2O$ ) un rango de aplicación medio de entre 100 y 150 kg/ha, en razón del menor periodo vegetativo de la papa criolla y sus menores requerimientos nutricionales. Por debajo y por encima de este rango se definieron como niveles de aplicación bajos y altos, respectivamente.

En el presente diagnóstico se encontró que la aplicación de un nivel alto de nitrógeno fue el predominante en los diferentes grupos de productores (entre 220 y 259 kg/ha), que correspondió a entre el 57 y el 77 % de los agricultores encuestados. Le siguió el nivel medio (entre 128 y 138 kg/ha) y, por último, el nivel bajo (entre 81 y 90 kg/ha). De otra parte, se observó que la proporción de agricultores que aplican nitrógeno (N) en un rango medio aumenta con el tamaño del productor, lo que puede estar asociado con el nivel de tecnificación del cultivo (Tabla 1). En términos generales, la aplicación excesiva de nitrógeno en la papa criolla determina un aumento significativo de la biomasa de la planta, en especial en su parte aérea; aspecto que va en detrimento de la tuberización y el potencial de rendimiento, además de que las plantas se hacen más susceptibles a enfermedades, en especial a la “gota” (*P. infestans*).

Con respecto a la aplicación de fósforo (P) se encontró que, en todos los grupos de agricultores analizados, un porcentaje no inferior al 91 % utilizaron un nivel muy alto de  $P_2O_5$  en la fertilización del cultivo de papa criolla (entre 316 y 371 kg/ha) y proporciones bajas de agricultores aplican un nivel medio o bajo de este elemento (Tabla 1). Este resultado evidencia que el agricultor de papa criolla utiliza casi el mismo nivel que utiliza el productor de papa de año, aunque su necesidad real es inferior. Esta situación no es negativa para el crecimiento del cultivo, ya que el exceso de aplicación de este elemento no genera ningún síntoma adverso; por lo tanto, el agricultor no se da cuenta. La planta simplemente toma lo que requiere y el resto que no utiliza se queda en el suelo, pero para el productor sí tiene un mayor costo y esto afecta su nivel de competitividad.

**Tabla 1** Niveles de fertilización edáfica aplicada al cultivo de papa criolla, considerando el tamaño en área del cultivo del agricultor.

Tamaño de sistema productivo	%	Nitrógeno			Fósforo		Potasio	
		Nivel de aplicación	%	Aplicado prom. (kg)	%	Aplicado prom. (kg)	%	Aplicado prom. (kg)
< 1 ha	38 %	Alto	75 %	259	91 %	371	59 %	283
		Medio	6 %	128	6 %	123	19 %	121
		Bajo	19 %	81	3 %	98	22 %	62
1-5 ha	46 %	Alto	77 %	220	97 %	335	51 %	244
		Medio	21 %	135	0 %	0	36 %	127
		Bajo	2 %	90	3 %	90	13 %	73
> 5 ha	18 %	Alto	57 %	232	93 %	316	71 %	265
		Medio	43 %	138	7 %	150	21 %	145
		Bajo	0 %	0	0 %	0	8 %	66

Fuente: Encuesta diagnóstica del cultivo de papa en Cundinamarca, Equipo CTA-2, Subproyecto Papa (2016).

En el caso del potasio (K), teniendo en cuenta los rangos establecidos para este estudio, se encontró que en todos los grupos de agricultores analizados la mayor proporción (entre 51 y 71 %) aplican el nivel alto de fertilización de potasio (> 150 kg/ha), con un rango de entre 244 y 283 kg/ha. Le sigue el grupo que aplica el nivel medio establecido (entre 19 y 36 % de los agricultores) y por último la proporción de agricultores que aplican niveles bajos (entre 7 y 22 %), como se aprecia en la Tabla 1.

En este caso, al igual que en el caso del fósforo, el exceso de aplicación de potasio no genera ningún síntoma adverso en la planta; por lo tanto, la sobrefertilización no tiene un efecto visible para el agricultor. La planta toma lo que requiere y el resto queda en el suelo, pero genera un incremento en los costos de producción y un efecto negativo sobre la competitividad.

En las encuestas se evidenció que el 82 % de los agricultores fraccionaron la aplicación de fertilizante en papa criolla; de ellos, el 98 % aplicaron rangos altos de fertilización. Teniendo en cuenta el corto periodo vegetativo de la papa criolla, no es recomendable el fraccionamiento del fertilizante, a no ser que sea una zona con excesos de lluvia, que pueda provocar pérdidas importantes del nitrógeno y el potasio aplicados inicialmente. El fósforo en reabone seguramente no es utilizado por la planta y el nitrógeno estimula un mayor crecimiento

vegetativo, lo que afecta el proceso de tuberización y llenado, al igual que el periodo vegetativo. Pérez et al. (2008) encontraron que una sola aplicación de fertilizante químico en el momento de la siembra (para la variedad Criolla Colombia) favoreció el desarrollo foliar y el rendimiento. Estos aspectos son importantes de considerar para el componente de transferencia de tecnología, el cual debe ser muy demostrativo para que tenga un potencial impacto.

De la información obtenida en las encuestas se identificaron los fertilizantes de mayor frecuencia de uso, ellos fueron: 15-15-15 (22 %), 13-26-6 (20 %) y 12-24-12 (15 %), seguidos por la aplicación de gallinaza (6 %). Los primeros generalmente se utilizan como fuente principal de fertilización y la gallinaza como complemento al momento de la siembra. También se encontró que es muy utilizada la fertilización foliar, con al menos dos aplicaciones durante el ciclo de cultivo, en la mayoría de los casos sin ningún criterio técnico claro.

En el sistema productivo de papa es común el uso de fuentes orgánicas como humus, compost, gallinaza, lombrinaza, etc. Productos que por su carácter artesanal son poco estandarizados, tienen un aporte nutricional inexacto y se utilizan por lo general en la primera fertilización. No obstante, se ha reportado que tienen efectos positivos sobre las características físicas del suelo, pues actúan como acondicionador; por lo tanto, son una alternativa viable considerada como complementaria a la fertilización tradicional en el cultivo. El problema potencial de su uso suele ser el efecto sobre los problemas fitosanitarios asociados con las enfermedades y plagas del suelo que atacan el cultivo. De los productores encuestados se encontró que el 21 % utiliza abonos orgánicos y no se reportó ninguno que dependa solo esta fuente.

## Otros aspectos relacionados

La asistencia técnica en el sistema productivo papa criolla es escasa. Los agricultores que cuentan con ella la reciben en su mayoría de los profesionales de las compañías que comercializan agroinsumos. Solamente los que siembran áreas grandes pueden llegar a tener asistencia técnica particular. Este es un factor negativo para la competitividad del sistema productivo, que también limita la transferencia de tecnología para el cultivo.

El destino más común de la producción de papa criolla es la comercialización; el 97 % de los encuestados reportó que es la salida de mayor importancia. Los canales de comercialización de la papa criolla en presentación de bultos de 50 kg son, en su orden: la Corporación de Abastos de Bogotá (Corabastos), los centros de acopio, las ventas en finca, las lavadoras externas a Corabastos y las plazas de mercado. Por lo general el transporte a dichos centros de comercialización es alquilado, el precio se paga por bulto y su valor depende de las distancias desde la finca hasta centro de comercialización.

# Contexto general de la papa criolla

## Introducción

En Colombia, el nombre de “papa criolla” corresponde a los morfotipos redondos que presentan tubérculos con color de piel y carne amarilla, fenotipo que se conoce como “yema de huevo” (Rodríguez et al., 2009). Esta papa pertenece a la familia Solanaceae, especie *Solanum tuberosum* L. Grupo Phureja, grupo taxonómico que se caracteriza por presentar adaptación a días cortos, brotación en el momento de la cosecha y ploidía  $2n = 2X = 24$  cromosomas (Huamán y Spooner, 2002). En la clasificación taxonómica, altamente divulgada en la literatura, se cita como la especie *Solanum phureja*, derivada de la especie *Solanum stenotomun*, especie diploide que se cultiva en la zona alta andina de Bolivia y Perú y que, a diferencia de *S. phureja*, presenta largo periodo de reposo (Hawkes, 1990). Una última clasificación fue propuesta como *Solanum tuberosum* L. Grupo Andigenum, en donde se propuso que se incluyan las papas diploides, triploides y tetraploides cultivadas en la zona alta de los Andes (Spooner et al., 2007). La adoptada para la presente publicación es la de Grupo Phureja.

Su principal centro de diversidad se localiza en el sur de Colombia y el norte de Ecuador. El Grupo Phureja tiene un amplio número de cultivares nativos que crecen extensamente en los Andes, desde el occidente de Venezuela hasta el centro de Bolivia (Ghislain et al., 2006).

Estos cultivares son precoces, de ahí su nombre nativo en aymara: Phureja. En razón de que no tienen reposo es posible cultivarlos hasta tres veces al año (Ochoa, 2001). En Colombia, la entidad responsable por la conservación de la diversidad genética de este grupo cultivado es AGROSAVIA (antes Corpoica); allí se mantiene dentro de la Colección Central Colombiana de Papa, la cual también incluye la diversidad de papa tetraploide (papa de año).

En Cundinamarca, hace dos décadas o un poco más, la papa criolla era un cultivo de pequeños agricultores. En los últimos años esta situación ha cambiado y se han conformado regiones clúster de producción. Entre ellas, las más importantes son las provincias de Sabana Occidente, Sabana Centro, Soacha, zona rural de Bogotá, D. C., Oriente, Sumapaz y la provincia de Ubaté. Actualmente se pueden encontrar áreas de cultivo únicas de hasta 600 bultos de semilla (aproximadamente 30 ha), mecanizados y tecnificados. Este factor tiene implicaciones importantes de logística, en especial para la cosecha, la cual se debe realizar con cuadrillas grandes de cosecheros, dada la ausencia de reposo en el tubérculo. Este cambio también tiene implicaciones en los mercados, dado que los volúmenes que se llevan a comercialización en la central mayorista por día han aumentado significativamente, con consecuencias sobre los precios del producto, debido a la normal respuesta del mercado por las fluctuaciones de oferta y demanda.

La papa criolla es un cultivo con alto potencial de industrialización y exportación, ya que es posible obtener diversos productos procesados para los mercados tanto nacional como internacional (Herrera y Rodríguez, 2012), en las presentaciones de papa precocida, congelada, entera y en casquitos, encurtido, frita en hojuelas y como harina precocida, pues se caracteriza por presentar agradable sabor y textura y fácil preparación (Rivera et al., 2006).

Esta papa se destaca por sus cualidades culinarias y alto valor nutricional. En la evaluación del contenido nutricional y la actividad antioxidante de tubérculos comerciales diploides, se encontró un aporte promedio de proteína de  $6,4 \pm 3,3$  g/100 g de papa en base seca;  $14,8 \pm 0,3$  g/100 g de fibra dietaria total;  $73,7 \pm 5,6$  g/100 g de carbohidratos; baja concentración de grasa ( $0,2 \pm 0,0$  g/100 g de grasa); alto contenido de materia seca ( $20,7 \pm 2,1$  g/100 g de papa en base húmeda), y aporte de minerales como calcio ( $27,9 \pm 16,2$  mg/100 g de papa en base seca), sodio ( $18,5 \pm 0,3$  mg/100 g), hierro ( $2,2 \pm 0,3$  mg/100 g), zinc ( $2,3 \pm 1,3$  mg/100 g), manganeso ( $0,6 \pm 0,1$  mg/100 g) y cobre ( $0,5 \pm 0,3$  mg/100 g) (Peña, 2015).

## Botánica y morfología de la papa

**Raíz:** es de poco volumen e ineficiente en la toma de agua y nutrientes. La planta que se origina de un tubérculo semilla forma primero las raíces adventicias en la base de cada brote y, posteriormente, se forman por encima de los nudos subterráneos; ocasionalmente forma raíces en los estolones. En comparación con otros cultivos que se originan de semilla botánica, como los cereales, el sistema de raíces de la papa es débil; por ello, demanda suelos en buenas condiciones, de texturas francas (Huamán, 1986) (Figura 1a).

**Tallo:** posee tallos verdaderos (aéreos) y tallos modificados (estolones y tubérculos). Los tallos aéreos son herbáceos, de longitud y diámetro variables (Figura 1b). Las plantas provenientes del tubérculo semilla presentan en promedio cinco tallos principales, los cuales ramifican de acuerdo con la densidad de siembra; cada tallo principal se considera una unidad de producción independiente (planta) y puede llegar a producir entre 2,5 y 8 tubérculos (Cabezas y Corchuelo, 2005). El color del tallo en las diferentes variedades de papa criolla es verde uniforme, relativamente claro.

**Estolones:** son tallos modificados laterales de crecimiento subterráneo; su origen tiene lugar en las yemas axilares de los nudos basales en los tallos principales (Huamán, 1986); en su parte apical presentan forma de gancho y del extremo subapical se diferencian los tubérculos (Viola et al., 2001) (Figura 1c). Los estolones presentan variación en su longitud entre genotipos y en los materiales mejorados se busca que sean cortos. Cuando los estolones no quedan cubiertos por el aporque, se convierten en tallos aéreos laterales (Huamán, 1986). Las variedades de papa criolla registradas en Colombia tienen estolones cortos, razón por la cual no demandan aporques muy altos, sin embargo, deben ser oportunos; en su defecto, se diferencian en tallos aéreos laterales.

**Hojas:** son compuestas (presentan raquis y foliolos), insertadas sobre los nudos del tallo en espiral. Sobre el raquis central de la hoja se desarrollan pares de foliolos laterales primarios y un foliolo terminal de mayor tamaño. Los foliolos se unen al raquis mediante un peciolo pequeño que se conoce como peciólulo (Huamán, 1986). Entre los foliolos principales se pueden presentar foliolos pequeños que se denominan secundarios o interruptos (Huamán, 2008) (Figura 1 d).

**Tubérculos:** son tallos modificados y constituyen los principales órganos de almacenamiento de la planta. Presentan dos partes bien definidas: una basal que corresponde al punto de inserción con el estolón, al cual se le llama talón y una apical, en el extremo opuesto, en donde se presenta mayor concentración de yemas para generar nuevos tallos aéreos. Son el principal órgano de propagación asexual de la especie (Huamán, 1986) (Figura 1e).

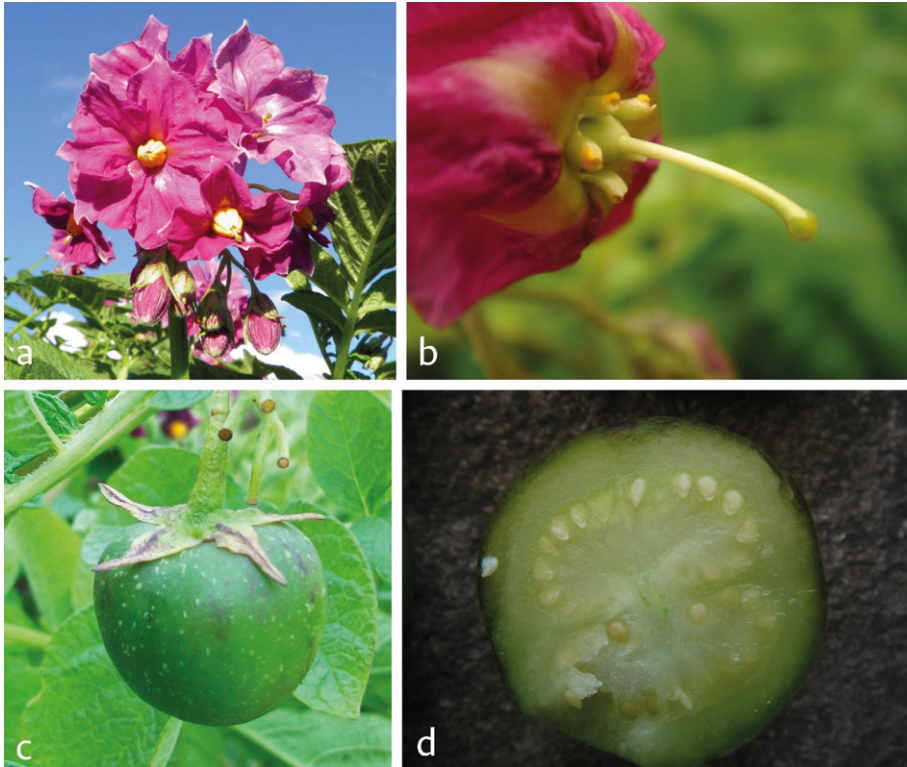
**Flor:** la inflorescencia de la planta de papa es una *cima*, que se caracteriza porque el pedúnculo se divide generalmente en dos ramas y cada una de ellas se subdivide en otras dos. Las flores de la inflorescencia son hermafroditas, poseen cáliz, corola, estambres (androceo) y pistilo (gineceo). El androceo consta de cinco estambres o anteras de color amarillo con poro terminal, por donde sale el polen. El gineceo tiene un solo pistilo con ovario súpero y es variable en longitud dependiendo del genotipo (Huamán, 1986) (Figura 2a y Figura 2b).



**Figura 1** Raíces (a), tallo principal en desarrollo (b), parte terminal de los estolones (c), hojas (d) y tubérculos (e) de la planta de papa criolla.

Fuente: a, b y c) Rodríguez (2007e; 2011g y 2007d). d y e) Nústez (2008b y 2009d).

**Fruto y semilla:** el fruto de la planta de papa es una baya, en general de color verde, regularmente esférico y bilocular. El tamaño del fruto y el número de semillas por fruto depende de la fertilidad del polen del genotipo (Figura 2c y Figura 2d). La semilla es pequeña, de forma ovalada y plana. Estas semillas se conocen como semilla botánica o verdadera (Huamán, 1986).



**Figura 2** a) Inflorescencia de la papa. b) Huellas de los estambres y gineceo. c) Fruto desarrollado. d) Semillas en la placenta del fruto.

Fuente: [en su orden] Rodríguez (2014c; 2008a; 2008b y 2007f).

## Variedades de papa diploide en Colombia

El Programa de Mejoramiento Genético de Papa de la Universidad Nacional de Colombia trabaja desde 1998 en el mejoramiento genético a nivel diploide de la “papa criolla” (Grupo Phureja), con el objetivo de desarrollar genotipos redondos amarillos con mayor periodo de reposo, aptitud para consumo fresco y procesamiento, alto potencial de rendimiento, resistencia a la “gota” de la papa (*Phytophthora infestans*) y al virus de amarillamiento de las nervaduras (Potato Yellow Vein Virus-PYVV).

A la fecha, el programa ha registrado ocho nuevas variedades diploides de papa amarilla redonda: Criolla Paisa, Criolla Latina, Criolla Galeras, Criolla Guaneña, Criolla Dorada, Criolla Sua Pa, Criolla Ocarina y Criolla Colombia. Esta última es el resultado de un proceso de selección clonal y evaluación agronómica dentro de la población multiclonal de morfotipos redondos amarillos tipo “yema de huevo”, trabajo que se realizó en colaboración con la Federación Colombiana de Productores de Papa (Fedepapa) y el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). En trabajo conjunto con la sede Medellín de la misma universidad (con el profesor José M. Cotes y colaboradores) se registraron en 2015 cinco variedades adicionales que son de fenotipo de tubérculo diferente al tradicional: Milagros, Paola, Paysandú, Primavera y Violeta, caracterizadas por su alta resistencia a la “gota” de la papa (*P. infestans*) y la roña (*Spongospora subterranea*) en tubérculo y raíz, con diversidad de formas y colores en la piel y carne de los tubérculos.

Las variedades del Grupo Phureja, tienen un periodo vegetativo que oscila entre 110 y 135 días desde la siembra hasta la cosecha. Este periodo se alarga dependiendo de la altitud a la cual se siembren: por encima de la cota de los 3000 m s. n. m. llegan hasta los 150 días. Para el contexto de la papa cultivada en Colombia ellas son tempranas o precoces, ya que la papa de año en general tiene un periodo vegetativo superior a los 165 días. En todas ellas, la madurez de cosecha para los tubérculos ocurre sin senescencia del follaje, por lo tanto, se deben cosechar con hoja verde, algunas de ellas con flor. Para saber el punto óptimo de cosecha se deben realizar muestreos de madurez del tubérculo a partir de los 110 días, en las condiciones de la Sabana de Bogotá. El muestreo consiste en frotar con fuerza la piel del tubérculo; se considera maduro para cosecha cuando la piel es firme, es decir, cuando el tubérculo no se pela.

**Tabla 2** Características de las variedades de papa diploide utilizadas en el Subproyecto Papa.

<p><b>Criolla Colombia</b></p>	<p><b>Genealogía:</b> selección clonal de la población de genotipos redondos amarillo tipo “yema de huevo”.</p> <p><b>Número de registro ICA:</b> PAP-05-39.</p> <p><b>Adaptación:</b> Antioquia, altiplano cundiboyacense, Nariño (Nudo de los Pastos). 2100 a 3200 m s. n. m..</p> <p><b>Periodo vegetativo:</b> (en la Sabana de Bogotá) 120 a 125 días.</p> <p><b>Respuesta a enfermedades:</b> susceptible a la “gota” de la papa (<i>P. infestans</i>), a la roña (<i>S. subterranea</i>) en raíz y tubérculo, a <i>Streptomyces</i> spp., PYVV y al carbón*</p>
	
<p><b>Criolla Dorada</b></p>	<p><b>Genealogía:</b> Criolla Guaneña × Criolla Galeras.</p> <p><b>Número de registro ICA:</b> PAP-15-54.</p> <p><b>Adaptación:</b> Nariño, Nudo de los Pastos, altiplano cundiboyacense*. 2500 a 3200 m s. n. m..</p> <p><b>Periodo vegetativo:</b> (en la Sabana de Bogotá) 120 a 130 días.</p> <p><b>Respuesta a enfermedades:</b> resistencia moderada a la “gota” de la papa (<i>P. infestans</i>). Susceptible a la roña en raíz (<i>S. subterranea</i>), a <i>Strptomicces</i> spp., y al carbón*.</p>
	
<p><b>Criolla Ocarina</b></p>	<p><b>Genealogía:</b> Criolla Galeras × Criolla Guaneña.</p> <p><b>Número de registro ICA:</b> PAP-15-53.</p> <p><b>Adaptación:</b> Nariño, Nudo de los Pastos (2500 a 3200 m s. n. m.), altiplano cundiboyacense*.</p> <p><b>Periodo vegetativo:</b> (en la Sabana de Bogotá) 120 a 130 días.</p> <p><b>Respuesta a enfermedades:</b> resistencia moderada a la “gota” de la papa (<i>P. infestans</i>), resistencia a la roña en raíz y tubérculo (<i>S. subterranea</i>), susceptible al carbón*.</p>
	
<p><b>Milagros</b></p>	<p><b>Genealogía:</b> <i>S. phureja</i> Col-20 × LP-Cal-10.</p> <p><b>Número de registro ICA:</b> PAP-15-58.</p> <p><b>Adaptación:</b> Antioquia (2400 a 2600 m s. n. m.), no adaptada a Cundinamarca*.</p> <p><b>Periodo vegetativo:</b> (en la sabana de Bogotá*) 120 a 130 días.</p> <p><b>Respuesta a enfermedades:</b> resistencia moderada a la “gota” de la papa (<i>P. Infestans</i>), a la roña en raíz y tubérculo (<i>S. subterranea</i>).</p>
	
<p><b>Paola</b></p>	<p><b>Genealogía:</b> Criolla Paisa × <i>S. phureja</i> (Col-3).</p> <p><b>Número de registro ICA:</b> PAP-15-55.</p> <p><b>Adaptación:</b> Antioquia (2400 a 2600 m s. n. m.), altiplano cundiboyacense*.</p> <p><b>Periodo vegetativo:</b> (en la Sabana de Bogotá) 130 a 135 días.</p> <p><b>Respuesta a enfermedades:</b> resistencia alta a la “gota” de la papa (<i>P. infestans</i>) y a la roña en raíz y tubérculo (<i>S. subterranea</i>), susceptible al carbón*.</p>
	
<p><b>Violeta</b></p>	<p><b>Genealogía:</b> <i>S. phureja</i> Col-66 × LP-Cal-10.</p> <p><b>Número de registro ICA:</b> PAP-15-59.</p> <p><b>Adaptación:</b> Antioquia (2400 a 2600 m s. n. m.), altiplano cundiboyacense*.</p> <p><b>Periodo vegetativo:</b> (en la Sabana de Bogotá) 130 a 140 días.</p> <p><b>Respuesta a enfermedades:</b> resistencia moderada a la “gota” de la papa (<i>P. infestans</i>) y resistente a la roña en raíz y tubérculo (<i>S. subterranea</i>). Susceptible al carbón*.</p>
	

Nota: (\*) Resultado del Subproyecto Papa.

Fotografías: Centro de Investigación y Extensión Rural (CIER), Facultad de Ciencias Agrarias (2016). *Criolla Colombia*: Núñez (2009d).

Fuente: Equipo CTA-2, Subproyecto Papa (2016)

En el Subproyecto Papa, en el componente de papa criolla, se realizó la evaluación de respuesta agronómica de cinco de las variedades nuevas registradas en el año 2015 y se compararon con la variedad testigo Criolla Colombia. Las características de estos genotipos se presentan en la Tabla 2 y el reporte de su rendimiento por hectárea en la Tabla 3. En el país, además de las variedades anteriores se encuentran registradas las variedades de papa diploide que se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 3** Reporte del rendimiento de tubérculo (t/ha) de las variedades de papa diploide utilizadas en el Subproyecto Papa.

	Criolla Colombia	Criolla Dorada	Criolla Ocarina	Paola	Violeta	Milagros
Experimental	Nariño	Nariño	Nariño	Antioquia	Antioquia	Antioquia
Registro ICA*	27,05	37,09	32,81	29,7	10,5	18,3
Subchoque**	33,3-38,9	23,6-29,3	30,0-32,5	33,7-41,4	29,3-41,4	32,4-40,2
Mosquera**	19,8-28,7	19,1-27,0	21,1-34,4	33,5-41,2	22,0-30,9	21,3-28,6

Notas: (\*) Rendimiento experimental que se reportó al ICA, cuando se solicitó el registro de las variedades para la corrección de evaluación.

(\*\*) Rendimiento alcanzado en las parcelas de validación en el marco del Subproyecto Papa.

Fuente: Equipo CTA-2, Subproyecto Papa.

**Tabla 4** Otras variedades de papa diploide registradas en Colombia.

Entidad obtentora	Variedad	Característica	Año de registro
Universidad Nacional de Colombia	Criolla Latina	Tubérculo de color de carne y piel amarillo.	2005
	Criolla Paisa		2005
	Criolla Galeras		2007
	Criolla Guaneña		2007
Universidad Nacional de Colombia	Paysandú	Tubérculo rojo oblongo, con carne pigmentada roja.	2015
	Primavera	Tubérculo rosado, cónico largo e irregular, con carne pigmentada roja.	2015
AGROSAVIA	Sol Andina	Tubérculo de color de carne y piel amarillo.	2017

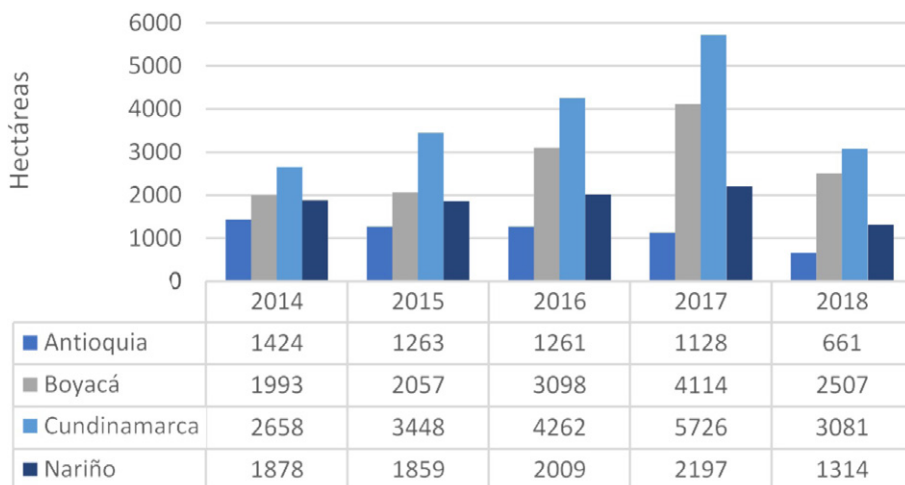
Fuente: Elaborada con información del Registro Nacional de Variedades de Papa, ICA.

## Área, producción y rendimiento

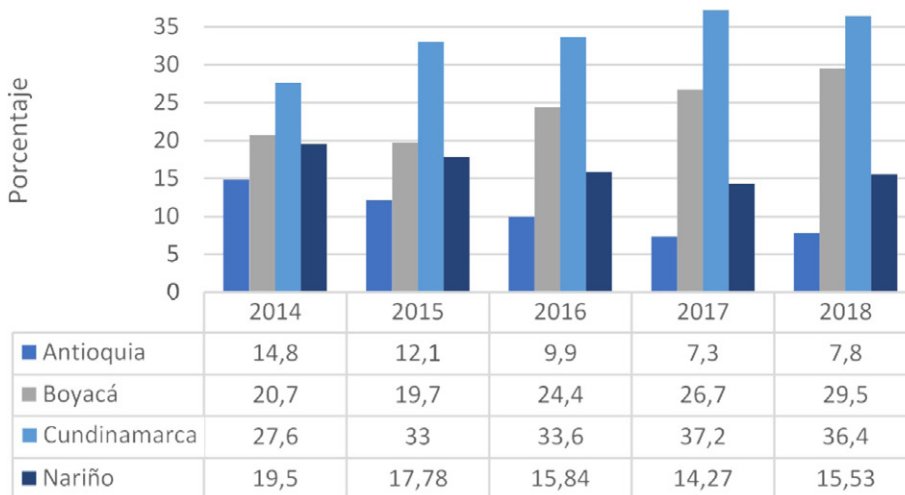
Según estadísticas reportadas para los departamentos de mayor producción de papa, los departamentos con mayor área sembrada de papa criolla para el periodo 2014-2018 son, en su orden: Cundinamarca, Boyacá, Nariño y Antioquia, con una participación en la producción nacional para Cundinamarca de entre el 27,6 y el 32,7 % (Agronet, 2019) (Figura 3).

En las cifras consolidadas para el contexto nacional, en el periodo 2007-2017 la papa criolla ha variado en área entre 8045,5 y 15 392,7 ha, con una producción total anual de entre 112 787,3 y 240 122,8 t, y un promedio de rendimiento para el periodo considerado de 14,7 t/ha (Agronet, 2018) (Tabla 5). Por la experiencia y el conocimiento del sistema productivo, en especial en Cundinamarca, se puede afirmar que el rango del rendimiento por hectárea se encuentra entre las 12 y las 30 t/ha, siendo este el límite superior para los sistemas productivos que se localizan en los municipios del occidente de la Sabana de Bogotá.

De acuerdo con las cifras publicadas, tanto para papa criolla como para papa de año, en el mismo periodo (2007-2017), en el año de menor área para papa criolla (2008), su participación en el área sembrada en papa nacional fue del 5,2 % y, en la producción de papa nacional, del 4,2 %. De otro lado, en el año de mayor área sembrada de papa criolla (2016), estas mismas cifras fueron de 9,4 % en área y 6,6 % en producción. El promedio nacional para el periodo analizado fue de 9854,8 ha y 145 235,1 t de producción (Tabla 5). Estas cifras resaltan claramente a Colombia como el país de mayor área y producción de papa diploide en el mundo y constituyen un ejemplo en el contexto de la región andina, centro de origen y diversidad de la papa cultivada.



a



b

**Figura 3** Área sembrada de papa criolla (a) y participación en la producción nacional (b) en los principales departamentos productores de Colombia.

Fuente: Agronet (2019).

**Tabla 5** Área, producción y rendimiento de papa criolla en Colombia en el periodo 2007-2017.

<b>Año</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Producción (t)</b>	<b>Rendimiento (t/ha)</b>
2007	8 062,3	118 990,9	14,8
2008	8 045,5	123 430,6	15,3
2009	9 113,8	128 221,8	14,1
2010	9 399,2	136 126,3	14,5
2011	8 235,9	112 787,3	13,7
2012	8 738,5	119 269,2	13,7
2013	9 631,6	133 700,0	13,9
2014	10 454,4	156 374,2	15,0
2015	12 688,7	199 548,4	15,7
2016	15 392,7	240 122,8	15,6
2017	8 640,0	129 014,1	15,3
<b>Promedio</b>	<b>9 854,8</b>	<b>145 235,1</b>	<b>14,7</b>

Fuente: Elaborada con información de estadísticas de Agronet (2018).



# *Clima y suelos para la papa criolla*

## Temperatura

La papa criolla se cultiva en Colombia entre los 2000 y los 3000 m s. n. m., con temperaturas promedio entre 10 y 20 °C (Becerra-Sanabria et al., 2007). En la variedad Criolla Colombia, sembrada en zonas de mayor altura (por encima de los 3000 m s. n. m.), es frecuente observar, en el tercio superior de la planta, como efecto del estrés por bajas temperaturas (no helada), la presencia de una clorosis en forma de 'V' hacia la parte media o borde de los folíolos (Figura 4b). Cuando cambia la situación de bajas temperaturas (aunque no se tiene preciso el rango), en las nuevas hojas no se presenta el síntoma (Figura 4d) y, en las afectadas, en pocas semanas el síntoma puede desaparecer.

Otro efecto que se observa en esta variedad en ambientes muy fríos es la presencia de hojas con folíolos deformes y unidos en el tercio inferior de la planta (Figura 4c); sin embargo, los rendimientos en general son normales.

## Humedad en el cultivo

Aunque no se han realizado experimentos que demuestren el requerimiento hídrico del cultivo de papa criolla, se estima que para su adecuado desarrollo se requieren entre 300 y 500 mm por ciclo. Esta variación se asocia en gran medida con la temperatura media del ciclo, la capacidad de retención de humedad del suelo y la variedad sembrada.



**Figura 4** Síntomas observados en la variedad Criolla Colombia por efecto del estrés por frío. a) Cultivo a 3300 m s. n. m. b) Clorosis en los bordes de los folíolos. c) Folíolos deformes. d) Desarrollo de nuevas hojas sin síntoma.

Fuente: [en su orden] Rodríguez (2011c; 2011a; 2011d y 2014b).

Los efectos del déficit de agua en los cultivos dependen de la especie, el estado de desarrollo en que se encuentre la planta, el tiempo que dure y la severidad del estrés; este último factor es considerado de alto impacto sobre el rendimiento de los cultivos (Daryanto et al., 2017; Zhang y Lin, 2016). Bajo la condición de sequía, se reporta que ocurre reducción en el crecimiento de las plantas, por ejemplo, menor área foliar; en consecuencia, ocurre una reducción en las tasas fotosintéticas y por lo tanto, en el rendimiento (Anyia y Herzog, 2004).

La papa criolla es un cultivo sensible al estrés por déficit hídrico y al exceso de humedad. Los periodos con déficit hídrico causan disminución en el área foliar, en el crecimiento y en la masa seca total, se acelera la floración y se

afecta el rendimiento (Figura 5a). Por el contrario, el exceso de agua genera pudrición de la semilla (Figura 5b). Si el riego es alto, mas no excesivo, se afecta el desarrollo de las raíces y se generan clorosis foliar y madurez temprana; por lo tanto, también se afecta la producción y la calidad del tubérculo cosechado, ya que es corriente que se presenten manchas oscuras en la piel (“mancha de agua”) cuya causa no se conoce con claridad. También se incrementa la presencia de lesiones de *Phytophthora infestans* en los tubérculos, aparece el problema llamado “pecoseo” del tubérculo, que es causado por el sobrecrecimiento de las lenticelas del tubérculo, que luego en su madurez toman un color pardo en su contorno. Este síntoma es crítico para el agricultor, ya que la papa pierde calidad y precio significativo en el mercado (Figuras 5c y 5d).



**Figura 5** Problemas que se presentan en la papa criolla por déficit o exceso de humedad: a) Cultivo con estrés por déficit. b) Cultivo con extrés por exceso. c) Tubérculos con manchado. d) Tubérculos con lenticelas prominentes.

Fuente: a, b y c) Rodríguez (2015b; 2016a y 2011j). d) Nústez (2018e).

Trabajos de investigación realizados en el Subproyecto Papa, relacionados con el efecto del estrés hídrico por déficit, permitieron conocer que las variedades redondas amarillas (Criolla Colombia, Criolla Dorada y Criolla Ocarina) son sensibles por igual al estrés por déficit hídrico (Ariza, 2017). De otro lado, se encontró que las variedades Milagros, Violeta y Paola son mucho más tolerantes a este estrés que la variedad Criolla Colombia y son diferentes en sus respuestas entre ellas; la variedad Milagros es más tolerante que la variedad Violeta, que a su vez es más tolerante que la variedad Paola (Moreno, 2017).

## Requerimientos edáficos

La papa criolla crece bien en suelos con pH ácidos (5,0 a 5,9). Las texturas entre franca y franco arcillosa son las ideales, debido a que son suelos con buen drenaje, lo que favorece a los tubérculos de las enfermedades y los daños por exceso de humedad. En cuanto al contenido de materia orgánica, se cultiva en suelos con un amplio rango; sin embargo, en los suelos muy orgánicos se puede llegar a generar un ligero oscurecimiento de la piel, una variable de poscosecha que se tiene en cuenta en el mercado para definir lo que se conoce como las papas de “primera”. En suelos bajos en materia orgánica los tubérculos de papa criolla tienden a tener la piel fina y brillante (como es el caso de la variedad Criolla Colombia), lo que favorece su calidad para el proceso de lavado y, por lo tanto, un mejor precio.

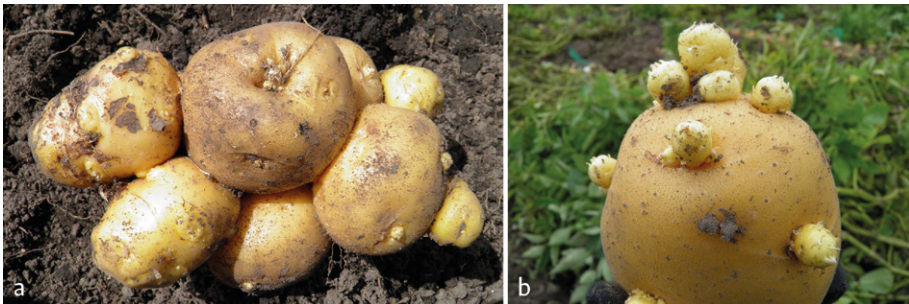
En suelos con altos contenidos de arcilla no es recomendable cultivar papa criolla. En estos, es frecuente que se presente exceso de humedad, lo que genera la expansión de arcillas y con ello, falta de oxígeno en la zona radicular (anoxia), con las consecuencias ya descritas. En el caso contrario, bajo condiciones de sequía las arcillas se contraen, esta situación genera daño en las raíces y se afecta el desarrollo de los tubérculos.

En la variedad Criolla Colombia, lo que se observa luego de un periodo seco seguido de lluvias que restablecen la humedad del suelo, es que el crecimiento normal de los tubérculos se estanca y se presentan crecimientos irregulares,

que conllevan a la aparición de muñecos o pequeños tubérculos en las yemas (Figura 6a y 6b). En estos suelos, es común que queden terrones después de la preparación, que bajo condiciones de déficit de humedad son muy duros, al punto de que por efecto de la presión física pueden deformar a los tubérculos en desarrollo, afectando su calidad para comercialización.

En Cundinamarca la mayoría de los suelos son del orden Inceptisoles (48 %), seguido por los Entisoles (23 %) y los Andisoles (14 %), estos últimos presentes principalmente en zonas de páramo (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2000). Por lo tanto, se puede decir son escasos los suelos que tengan la característica de ser fijadores de fósforo.

De otro lado, es muy importante tener en cuenta los resultados de los análisis de suelo para definir los niveles adecuados de fertilización. Este tópico se desarrolla en el capítulo siguiente “Aspectos técnicos del manejo del cultivo”.



**Figura 6** Tubérculos de papa criolla con malformaciones o muñecos, estimulados por cambios drásticos en el régimen hídrico (de seco a húmedo) en el ciclo de cultivo.

Fuente: Rodríguez (2011).



# ***Aspectos técnicos del manejo del cultivo***

## **Selección de la semilla**

La semilla es el punto de partida del ciclo de producción y, dado que en papa la semilla es el tubérculo, la sanidad y su estado fisiológico son determinantes para el éxito o fracaso del cultivo. Semilla de baja calidad no permite alcanzar el potencial de rendimiento de ninguna variedad, así se tengan óptimas condiciones ambientales para el crecimiento.

En general, los agricultores de sistemas productivos tradicionales no tienen la disciplina de utilizar semilla de origen confiable y es frecuente que guarden como semilla la papa que no se comercializa, la cual no tiene la calidad apropiada (Montesdeoca, 2005). Una opción frecuente para los pequeños productores de papa criolla es comprar papa pequeña o “riche” para semilla en los mercados mayoristas, desconociendo su procedencia y sus potenciales problemas fitosanitarios (Figura 7).

Se recomienda utilizar tubérculos semilla de categoría primera (diámetro mayor a 4 cm) y sembrar un tubérculo por sitio. El tamaño homogéneo del tubérculo semilla favorece una rápida emergencia, buen vigor y uniformidad del cultivo. Cuando el tamaño de la semilla es parejo (diámetro de 2 a 3,5 cm) se recomienda colocar dos, o máximo tres tubérculos por sitio. Un mayor número genera alta densidad de tallos por metro cuadrado, que afecta negativamente el rendimiento de papa gruesa debido a la alta competencia por luz, agua y nutrientes en el sitio de siembra.

Estudios sobre densidades de siembra para el cultivo de papa criolla realizados por Arias et al. (1996), reportaron que incrementos en la densidad de siembra aumentan relativamente el peso de los tubérculos por unidad de área; no obstante, se afecta el su tamaño promedio.



**Figura 7** a y b) Tubérculos con problemas fitosanitarios causados por *Streptomyces* spp. y *S. subterranea* no aptos para semilla. c, d y e) Tubérculos semilla con calidad sanitaria, buena brotación y adecuado manejo.  
Fuente: a y b) Nústez (2018g y 2015b). c, d y e) Rodríguez (2011k; 2007g y 2014e).

## Características de una semilla de buena calidad

Una semilla de calidad debe presentar brotación múltiple, tamaño de brotes entre pequeño e intermedio, no elongados (lo que puede ser indicador de semilla vieja), buenas condiciones físicas (sin daños mecánicos), con calidad sanitaria y sin mezclas varietales. La calidad fitosanitaria en un tubérculo implica que la semilla esté libre de virus (son invisibles en la semilla, por lo que se requieren pruebas de laboratorio), libre de patógenos del suelo y sin presencia evidente de plagas.

Con respecto al tamaño, puede ser pequeño, mediano o grande; lo importante es que estén clasificadas en empaques diferentes para decidir cómo distribuirla en campo en el momento de la siembra. Todas estas variables en su conjunto

permiten establecer un cultivo que pueda expresar su máximo potencial, por esta razón se recomienda el uso de semillas certificadas, las cuales cumplen con las normas establecidas por la Resolución 3168 de 2015 del ICA. Los agricultores con capacitación y condiciones adecuadas de manejo también la pueden obtener en sus propias fincas.

En papa criolla, la edad fisiológica de la semilla cambia rápidamente debido a la ausencia de reposo. A mayor edad, mayor crecimiento de los brotes, mayor transpiración, menor reserva de agua y nutrientes en el tubérculo y pérdida progresiva del vigor. En consecuencia, las plantas crecen menos, y se reduce el periodo vegetativo. Se recomienda, por lo tanto, el uso de tubérculos semilla fisiológicamente jóvenes, es decir, con brotes vigorosos, cortos y sin deshidratación.

- **Semilla pequeña:** diámetro de tubérculo de entre 2 y 3,5 cm. Se recomienda sembrar dos tubérculos por sitio. Cada bulto de tubérculo semilla en esta categoría tiene de 1200 a 1500 semillas.
- **Semilla gruesa:** diámetro de tubérculo de entre 4 y 6 cm. Se recomienda sembrar un tubérculo por sitio. Cada bulto de tubérculo semilla en esta categoría tiene de 700 a 800 semillas.

## Preparación del suelo

La preparación del suelo es una de las labores más importantes para el establecimiento del cultivo de papa criolla. Esta depende del tipo de suelo, la humedad y las condiciones climáticas. Con esta labor se busca brindar una zona adecuada para el desarrollo de las raíces y los tubérculos. La preparación no requiere superar los 30 cm de profundidad, debido a que la papa tiene un sistema radicular adventicio, de poco crecimiento y extendido. Se recomienda el surcado siguiendo curvas a nivel, para evitar riesgos de erosión hídrica por arrastre de suelo debido a la acción del agua de lluvia. Según Inostroza y Méndez (2009), un sustrato óptimo para el desarrollo de raíces debe tener una estructura granular, lo que evita la compactación del suelo y logra una mejor retención de agua y circulación de aire.

## Siembra del cultivo y prácticas asociadas

La distancia de siembra recomendada para el cultivo de papa criolla es de 30 a 40 cm entre sitios de siembra y un metro entre surcos; esto permite establecer una densidad de entre 25 000 y 33 300 sitios de siembra/ha. Este arreglo de siembra favorece una buena densidad de tallos, buen vigor, hojas con folíolos extendidos de mayor tamaño y mayor aireación en el cultivo. Muchas semillas por sitio de siembra generan alta densidad de tallos, lo que va en contra del rendimiento deseado, ya que se genera una alta competencia por los factores de crecimiento (nutrientes, agua y luz) (Figura 8a y 8b).

La profundidad de siembra recomendada es de alrededor de 15 cm; este tipo de siembra contribuye con el manejo de los insectos plaga y favorece el rendimiento, debido a la mayor proporción de tubérculos gruesos en la cosecha. Una labor frecuente que no se recomienda en la siembra es la aplicación de gallinazas o porquinazas sin completo compostaje (Figura 9a). En general, estos productos favorecen los problemas fitosanitarios, aumentan el manchado de los tubérculos y afectan su calidad y precio en el mercado. El mismo efecto se presenta cuando el tapado de la semilla se realiza con suelo muy húmedo (Figura 9b), esta situación favorece patógenos que pudren de la semilla (como el *Pectobacterium* spp.), afecta el vigor de la semilla por la pérdida de brotes iniciales y los rebrotes tienden a ser débiles.

Una práctica que sí se recomienda es la aplicación, sobre la semilla puesta en el surco, de un fungicida que ayude a prevenir y controlar enfermedades del suelo (Figura 10), especialmente la *Rhizoctonia Solani*. Varias moléculas tienen registro ICA para el control de esta enfermedad.



**Figura 8** Disposición de la semilla al momento de la siembra: a) Ideal. b) No recomendado.

Fuente: [en su orden] Rodríguez (2017b y 2015d).



**Figura 9** a) Campo sembrado con aplicación de gallinaza en el fondo del surco. b) Tapado de semilla con suelo muy húmedo.

Fuente: [en su orden] Rodríguez (2015c y 2016c).

En municipios de la Sabana Occidente ha tomado fuerza entre los agricultores el tapado de la semilla con gancho o rastrillo (Figura 11a); que busca eliminar los terrones que pueda quedar sobre la semilla. Usualmente en Cundinamarca se realiza el tapado con azadón (Figura 11b), arado de tracción animal (Figura 11c) o mecánica usando un planchón de madera amarrado al tiro del tractor (Figura 11d). En lotes con topografía plana o de poca pendiente también se ha implementado la siembra mecanizada con buen éxito (Figura 12).

Cualquier época del año es apta para la siembra de papa criolla en el país; todo depende de que se tenga la posibilidad de ocurrencia de lluvias o la disponibilidad de riego.

## Fertilización del cultivo

Son varios los factores que intervienen en el crecimiento de las plantas. Dentro de ellos se encuentra la luz, el agua y gases como el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y el oxígeno ( $\text{O}_2$ ) para la formación de carbohidratos y nutrientes minerales (Taiz y Zeiger, 2006).

La lista de elementos tomados por las plantas en forma mineral del ambiente es extensa; entre ellos están nitrógeno, fósforo, potasio, calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S), que son considerados esenciales para su crecimiento y desarrollo (Westermann, 2005). Los elementos son esenciales porque su ausencia impide a la planta completar su ciclo vital. A su vez, por su concentración en los tejidos y su función fisiológica, se pueden dividir en macro y micronutrientes (Taiz y Zeiger, 2006).



**Figura 10** a) Siembra manual a densidad correcta. B) Siembra mecanizada. c) Aplicación de fungicida sobre el surco de siembra.

Fuente: [en su orden] Rodríguez (2017c; 2010f y 2010a).



**Figura 11** a) Tapado de la semilla con gancho. b) Tapado con azadón. c) Tapado con tracción animal. d) Tapado con máquina.  
Fuente: [en su orden] Rodríguez (2012; 2011h; 2017d y 2011i).



**Figura 12** Lote de papa criolla con siembra mecanizada en la sabana de Bogotá: Emergencia (a y b) y cultivo en floración (c).  
Fuente: a y b) Rodríguez (2014d). c) Rodríguez (2014c).

## Los elementos minerales en la fertilización

**Nitrógeno (N):** es un nutriente mineral muy importante para el desarrollo de las plantas, debido a que está presente en muchas de las biomoléculas (Bonilla, 2013). Es componente primario de ácidos nucleicos, aminoácidos y proteínas; en la papa es el segundo elemento en cantidad que demanda después del Potasio (Westerman, 2005). La deficiencia de nitrógeno se manifiesta por la presencia de un tono amarillo en las hojas, denominado clorosis, especialmente en las hojas más viejas cuando hay acumulación de  $H_2O_2$  (Taiz y Zeiger, 2006; Zhang y Lin, 2017). Cuando los síntomas persisten se observa una inhibición en el crecimiento (Geary, Clark et al., 2015).

Por el contrario, cuando el nitrógeno es aplicado en exceso, causa daños fisiológicos que retrasan el inicio de la tuberización y prolongan el estado vegetativo (Krauss y Marschner, 1982). En papa criolla el exceso de nitrógeno favorece el consumo de lujo por parte de la planta, es decir, toma el nutriente en cantidades superiores a las requeridas para su normal crecimiento, lo cual provoca lo que en el lenguaje de los agricultores se conoce como “vicio”; que alarga el periodo vegetativo, retarda la tuberización y el llenado de los tubérculos y puede afectar el rendimiento.

La principal fuente de nitrógeno en el suelo es la materia orgánica, pero debido a las bajas temperaturas su descomposición es muy lenta. Por lo tanto, es preferible usar fuentes sintéticas, de rápida liberación, tales como urea (46 % N), sulfato de amonio (21 % N), nitrato de amonio (34 % N), nitrato de calcio (16 % N), el fosfato diamónico DAP (18 % N) y nitrato de potasio (14 %) (Ketterings et al., 2003).

**Fósforo (P):** favorece el desarrollo de las raíces, la acumulación de materia seca y mejora la formación, número y maduración de los tubérculos (Luz et al., 2013; Fernandes et al., 2017). Los síntomas representativos de la deficiencia de fósforo son el retraso en el crecimiento apical y la malformación de los folíolos (Daoui et al., 2014), así como la presencia de coloraciones verdes oscuras en hojas malformadas, acompañadas de manchas necróticas (Marin, 1978).

Entre las fuentes simples más comúnmente usadas de fósforo, encontramos el fosfato diamónico (DAP), el fosfato monoamónico (MAP), el polifosfato de amo-

nio (APP), el superfosfato ordinario (OSP) y el superfosfato triple (TSP) (Mortvedt et al., 1999). Adicionalmente, en el mercado se pueden encontrar diferentes grados compuestos que contienen fósforo.

**Potasio (K):** tiene varias funciones importantes en la papa, entre las que se destacan el uso eficiente del agua y la translocación de asimilados para el llenado de los tubérculos (Taiz y Zeiger, 2006; Khan et al., 2015). Además, es protagonista en procesos metabólicos como la fotosíntesis y favorece la resistencia al ataque de enfermedades y heladas. El primer síntoma de deficiencia de potasio corresponde a un moteado o clorosis terminal de los folíolos en general y entre las nervaduras de los folíolos más jóvenes, que en niveles avanzados desarrollan tejido necrótico (Kavvadias et al., 2012).

Entre las principales fuentes de potasio se encuentran el cloruro de potasio KCl (60-62 %), el sulfato de potasio  $K_2SO_4$  (50 %), el tiosulfato de potasio  $K_2S_2O_3$  (17 %) y el nitrato de potasio  $KNO_3$  (44 %) (Kaiser y Rossen, 2018).

**Magnesio (Mg):** cuando es deficiente hay una disminución en los contenidos de almidón de los órganos de almacenamiento. El síntoma característico de su carencia es la clorosis entre las nervaduras de los folíolos más viejos, pero a diferencia del potasio, no hay un patrón definido desde las márgenes (Taiz y Zeiger, 2006). La mayor demanda de magnesio se presenta durante el llenado del tubérculo.

**Calcio (Ca):** es un elemento estructural de las paredes celulares, importante durante la división celular, así como en su papel mensajero de repuestas hormonales y ambientales (Hirschi, 2004; Taiz y Zeiger, 2006). Las deficiencias nutricionales de calcio se pueden observar por la necrosis de los tejidos meristemáticos jóvenes; en las hojas, esta necrosis puede estar acompañada por una clorosis general y una curvatura de las hojas jóvenes hacia abajo (White y Broadley, 2003). Dada su baja movilidad en la planta, es recomendable realizar la suplementación del elemento durante la siembra o con anterioridad, como enmienda al suelo. También, la aplicación foliar es una herramienta efectiva al disponer el elemento directamente en las hojas, lo que evita depender de la corriente transpiratoria (Biddulph et al., 1961).

**Elementos menores:** corresponde a nutrientes esenciales que son requeri-

dos por las plantas en menores concentraciones, entre ellos se encuentran el manganeso (Mn), el hierro (Fe), el cobre (Cu), el zinc (Zn) y el boro (B). Las funciones de estos elementos en las plantas son muy puntuales. Por ejemplo, el manganeso es un activador de las enzimas implicadas en la reacción de la fotosíntesis en las que se genera oxígeno a partir de agua; por su parte, las deficiencias de zinc están asociadas a un menor crecimiento entre nudos, lo que aporta una apariencia arrositada de las hojas bajas. Finalmente, el boro se ha relacionado con el transporte de azúcares, la integridad de la membrana celular y la inducción a las respuestas hormonales (Taiz y Zeiger, 2006).

Los nutrientes minerales se diferencian por su movilidad. El nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, cloro, azufre y sus compuestos asociados son de alta movilidad; el zinc, molibdeno y cobre son de movilidad intermedia; mientras que el calcio, hierro, manganeso y boro son de baja movilidad (Westerman, 2005).

En general, cuando la carencia de un elemento se relaciona con síntomas, una consideración importante es el grado de reciclaje del elemento dentro de la planta. Un elemento esencial móvil presentará síntomas de deficiencia en las hojas más viejas, mientras que uno de poca movilidad se verá reflejado en las más jóvenes (Taiz y Zeiger, 2006).

## El análisis de suelos

El análisis de suelos es una herramienta encaminada a la toma de decisiones para el manejo de la fertilidad con base en una adecuada interpretación. Cuando las cantidades de nutrientes esenciales en el suelo no son adecuadas se hace necesario el complemento con fertilizantes químicos para suplir las necesidades del cultivo (ICA, 1992). La fertilidad natural del suelo es el punto de partida para un plan de nutrición integral de cultivos, teniendo en cuenta una adecuada toma de la muestra, el análisis físico-químico y su adecuada interpretación.

**La muestra de suelos:** se compone de un número de submuestras que van a depender del área, el sistema de muestreo y la topografía. Se recomiendan mínimo 10 submuestras/ha cuando se presenta regularidad en la topografía y un número mayor cuando se observan cambios significativos.

Para la toma de cada submuestra se requiere retirar la capa de material vegetal superficial del suelo, generando un área “limpia” de 40 x 40 cm en el sitio elegido. Posteriormente, se procede a cavar un corte en diagonal de 20 a 30 cm. El siguiente paso consiste en desplazar la pala o el palín por una de las paredes formadas cortando una porción de dos o tres centímetros de espesor hasta el fondo del hueco.

Con ayuda de una navaja o cuchillo se eliminan los bordes de la porción de suelo sobre la pala, dejando el recuadro de la submuestra (200 g) listo para introducir al balde de mezcla. Al final, se procede a mezclar las submuestras depositadas dentro del balde para homogenizar la muestra, de la que se tomarán entre dos y tres libras para llevar al laboratorio. La muestra debe ser empacada en doble bolsa blanca o transparente, y rotularla con la información solicitada por el laboratorio. (IGAC, 2017; Universidad Nacional de Colombia, 2017).

**Muestreo del lote:** es la estrategia planeada para que la muestra de suelo sea representativa del lote, por medio de la recolección de submuestras. El primer paso corresponde a identificar la regularidad topográfica, pues ello está relacionado con el movimiento del agua, partículas del suelo y nutrientes en la solución (Bauw et al., 2016; Guerra et al., 2017).

En el caso de una pendiente no pronunciada es suficiente establecer algunos de los sistemas de muestreo (cuadrícula, en equis, o en zigzag) y tomar las respectivas submuestras, como se indicó previamente. Para lotes que cuenten con pendientes ligeramente pronunciadas es necesario tomar submuestras en un recorrido en contra de la pendiente, en la parte alta, media y baja. Finalmente, para terrenos con cambios abruptos de pendiente se debe proceder a zonificar el lote y realizar un análisis de suelo por cada zona o parte de la pendiente (IGAC, 2017; Universidad Nacional de Colombia, 2017).

Recorridos en zigzag o en doble diagonal (equis) reducen el número de submuestras frente al sistema de cuadrícula y son recomendados cuando es posible identificar la topografía del lote en extensiones grandes. Es pertinente que en aquellas zonas pequeñas donde se observan diferencias en la composición del suelo no se tomen

submuestras, pues no va a ser significativo en la producción del lote; sin embargo, si dicha área es de interés, se recomienda tomar un análisis independiente (ICA, 1992).

Según el ICA (1992), hay varias recomendaciones que permiten aumentar el grado de confiabilidad del análisis, como:

- Utilizar herramientas limpias, dado que algunas partículas o residuos allí adheridos pueden arrojar una estimación equivocada de los nutrientes en el suelo.
- Dejar un espacio considerable (mayor a 15 m) entre linderos y el punto de toma de la submuestra, debido a que en estas zonas se presenta movimiento de partículas del suelo por el paso de vehículos, acumulación de residuos de árboles, residuos de cosechas anteriores, quemas o residuos orgánicos por el paso de ganado, lo que puede generar sobre estimación en algunos elementos del análisis.

No se deben almacenar por mucho tiempo las muestras de suelo. De ser necesario, se deben secar sobre un papel limpio, en ausencia de luz solar directa, en un lugar aireado y en ausencia de calor artificial. La humedad en las muestras favorece la presencia de microorganismos que transforman el contenido original de la muestra. La misma recomendación se debe tener en cuenta para cuando la muestra colectada está húmeda.

## Recomendaciones de fertilización

Las recomendaciones de fertilización en el cultivo de papa criolla deben tener en cuenta el reporte del análisis de suelos, su adecuada interpretación, la precipitación de la región, el tipo de suelo donde se establecerá el cultivo, y en especial el orden de suelos, para conocer si es altamente fijador de fósforo. Un análisis adecuado de estos aspectos requiere de una formación disciplinar y profesional, por lo que se recomienda acudir a profesionales del agro.

El requerimiento nutricional de un material depende del potencial genético del cultivar y de la meta de rendimiento del cultivo (Reich, 2017). Generalmente, los agricultores utilizan altos niveles de fertilización, basados principalmente en experiencias previas; normalmente no se tienen en cuenta los requerimientos

nutricionales del cultivo y la fertilidad de los suelos (Gómez y Torres, 2012).

En muchos casos, los agricultores fertilizan la papa criolla de manera similar a la papa tetraploide, llamada papa de año, lo que genera un exceso de nutrientes y afecta los procesos de tuberización, llenado de tubérculos y la rentabilidad del cultivo. En efecto, los niveles de fertilización en la papa criolla son significativamente inferiores a los requeridos en papas de año como la Diacol Capiro y la Pastusa Suprema (Gómez et al., 2017; Patiño et al., 2009; Santos, 2010).

En el marco del Subproyecto Papa se analizó la respuesta de seis cultivares de papa criolla (Criolla Colombia, Criolla Dorada, Criolla Ocarina, Milagros, Paola y Violeta) con diferentes niveles de fertilización, en los municipios de Bojacá y Subachoque. Se evaluaron tratamientos que combinaban dos niveles de nitrógeno (75 y 100 kg/ha), dos de  $P_2O_5$  (50 y 100 kg/ha) y dos de  $K_2O$  (100 y 150 kg/ha).

En la localidad de Bojacá no se presentó respuesta por la variación de los niveles en los factores nitrógeno-fósforo-potasio sobre las variables de rendimiento y gravedad específica; solo las variedades Violeta y Criolla Ocarina presentaron una mayor producción de tubérculos totales con los niveles de 100 kg/ha de nitrógeno y 100 kg/ha de  $P_2O_5$ , respectivamente. En Subachoque, nuevamente la variedad Violeta presentó respuesta en producción total de tubérculos con el nivel más alto de nitrógeno; en las restantes variedades los rendimientos fueron iguales para los diferentes niveles de fertilización.

Estos experimentos demostraron que las variedades de papa criolla evaluadas son de bajos requerimientos nutricionales y, por lo tanto, los niveles de fertilización edáfica requeridos para este cultivo no superan los 100 kg/ha para cada uno de los elementos nitrógeno, fósforo y potasio. De tal forma, los grados triple 15 o triple 18 son fuentes muy indicadas para este cultivo, haciendo el ajuste para esta recomendación.

En papa criolla se recomienda la aplicación del 100 % del fertilizante en la siembra, dosificado por sitio de siembra, aplicando el producto en corona, utilizando una medida constante (tara) en la zona donde se desarrollará el sistema radicular de la planta (Figura 13). Por experiencias adquiridas en varias parcelas que se establecieron en el Subproyecto Papa, en la aplicación convencional de los agricultores que se hace en banda al fondo del surco, también conocida como “a la rejada” o “al chorillo”, así, el agricultor llega a aplicar casi el doble del fertilizante indicado. Esto impacta en el medio ambiente, en las plantas por los efectos del exceso de nitrógeno y en los costos de producción. Si bien el exceso de fósforo y potasio no genera efectos nocivos en el cultivo y su impacto no es evidente para el agricultor, sí afecta su rentabilidad.

En el Subproyecto Papa se realizó un ensayo de validación donde se evaluó, en cinco variedades de papa diploide (Criolla Colombia, Criolla Dorada, Criolla Ocarina, Paola y Violeta), el efecto sobre el rendimiento del tubérculo de la aplicación del fertilizante 100 % al momento de la siembra o fraccionada entre siembra y reabone (60-40). No se encontró ninguna diferencia entre el rendimiento de las variedades debido a estos tratamientos, pero sí un aumento en el periodo vegetativo hasta la cosecha y un mayor crecimiento vegetativo en todas las variedades cuando se fraccionó el fertilizante (Figura 14). Fue evidente el efecto nocivo del nitrógeno que se aplicó en forma tardía. La conclusión fue clara: estas variedades de papa diploide, dado su periodo vegetativo corto, no demandan fraccionamiento del fertilizante; por ello, técnicamente lo recomendado es aplicar el 100 % de la fertilización en el momento de la siembra, basado en un análisis de suelos.



**Figura 13** Aplicación del fertilizante en corona en el cultivo de papa criolla al momento de la siembra (Sibaté). Se requiere el uso de un pequeño recipiente de cuyo volumen se conozca su peso en fertilizante (tara).

Fuente: Equipo CTA-2, Subproyecto Papa (2017).



**Figura 14** Altura de plantas de la variedad Criolla Dorada: a) Con aplicación fraccionada de fertilizante o reabone. b) Con aplicación de fertilizante 100% al momento de la siembra o sin reabone. La respuesta fue similar en todas las variedades evaluadas.

Fuente: Equipo CTA-2, Subproyecto Papa (2017).

## Fertilización foliar

La fertilización foliar es una herramienta utilizada en diferentes sistemas productivos por su eficacia en la nutrición de cultivos. Es una práctica que genera beneficios en especies hortícolas como la papa si se utiliza bajo un criterio técnico, en lo posible con el análisis de suelos y teniendo en cuenta los factores que pueden afectar o potencializar su efectividad. Se debe tener en cuenta el nutriente a suministrar, la fuente, la dosis y el estado de desarrollo del cultivo (Marshner, 2012). Sin embargo, en ocasiones se utiliza de manera indiscriminada, lo que solamente contribuye a aumentar los costos de producción (Allison et al., 2001; Molina, 2002).

Los principales casos en los que se tiene en cuenta el aporte foliar de nutrientes son: a) cuando se usa para corregir una deficiencia nutricional puntual, b) cuando existe una limitación que limita la toma por vía radicular o c) cuando se utiliza como medio de aporte de micronutrientes. Salvo el último caso, la fertilización foliar solamente es un complemento a la fertilización edáfica, sin sustituirla por completo (Marshner, 2012).

La movilidad en floema del nutriente es un factor importante por tener en cuenta, especialmente en especies como la papa (Westerman, 2005). Los nutrientes móviles en el floema tienen por lo general un comportamiento sistémico en la planta, por lo cual corrigen de manera generalizada una deficiencia nutricional cuando se aplican vía foliar, mientras que aquellos que son inmóviles presentan un efecto de tipo local, corrigiendo las deficiencias específicamente en los sitios que se asperjaron. Cuando las plantas se encuentran en etapa de crecimiento vegetativo es necesario realizar fraccionamiento de las aplicaciones para que se permita suplir las deficiencias en los tejidos nuevos (Fageria et al., 2009; Fernández y Brown, 2013).

De acuerdo con experimentos en fertilización foliar adelantados por el Subproyecto Papa en los municipios de Mosquera y Subachoque, sobre los cultivares de Criolla Dorada, Criolla Ocarina, Paola, Violeta y Milagros, se pudo observar que la respuesta en producción está influenciada por el tipo de material (variedad) y la oferta edáfica y ambiental de cada zona.

## Labores culturales en el cultivo

En el cultivo de papa criolla, para lograr un adecuado desarrollo y rendimiento, son muy importantes las labores de control de arvenses y el aporque. Se realiza generalmente mediante desyerba manual con azadón y, en menor proporción, mediante control químico en las etapas tempranas del cultivo (de 0 a 45 días).

### Control de malezas

La mayor competencia de las malezas se presenta en la fase inicial del cultivo, principalmente al generar competencia por agua y nutrientes. En el manejo de estas poblaciones de plantas se utilizan varias estrategias, cuyo uso depende del campo de producción y del agricultor. Estas son:

- a) Uso de herbicidas de amplio espectro (como el Paraquat) luego de la siembra y antes de la emergencia de las plantas del cultivo; de esta manera se eliminan las poblaciones iniciales de malezas. Esta práctica depende de la evaluación de la problemática, por lo tanto, no siempre será recomendada.
- a) La eliminación con azadón de las malezas en la labor de aporque (Figura 15a).
- a) El uso de herbicidas selectivos a la papa, que se aplican luego del aporque y complementan eficientemente el control de malezas en la fase crítica de crecimiento del cultivo (Figura 15b). La decisión de aplicación depende de previas evaluaciones de la población de malezas en el lote.

Controles posteriores en general no son necesarios de realizar, excepto cuando el lote está muy contaminado por malezas y que para poder cosechar se requiera eliminarlas, ya sea por medios mecánicos (guadaña) o mediante quemas con herbicida.



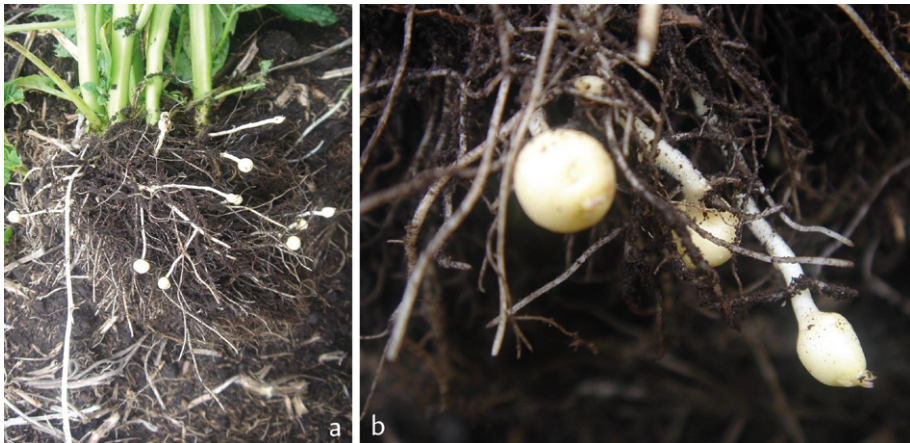
**Figura 15** a) Cultivo de papa criolla, recién realizado el aporque y el control de malezas. b) Lote aplicado con herbicida selectivo luego de aporque.

Fuente: [en su orden] Rodríguez (2018b y 2010b).

## El aporque

Esta labor se debe realizar entre los 25 y 35 días después de la emergencia del cultivo (se asocia con la altitud del lote), momento en el cual está ocurriendo la formación de estolones en la base de los tallos de la planta bajo la superficie del suelo; por ello, deben ser protegidos de la luz para que no se diferencien como tallos laterales (Figura 16a y 16b). Esta labor es muy importante para eliminar las poblaciones de malezas que estén en crecimiento; en general, se realiza en forma manual con un tipo de azadón llamado “pala” (Figura 17a) y se recomienda que este aporque sea alto para proteger bien los tubérculos (Figura 17b). En forma alterna también se realiza esta labor con surcadora de tracción animal en zonas de ladera (Figura 17c) y en los sistemas productivos de municipios de la Sabana Occidente, se realiza con tractor y surcadoras (Figura 17d, Figura 17e y 17f).

El aporque favorece la mayor aireación de la zona de raíces, promueve el crecimiento de las plantas, evita el encharcamiento y el verdeamiento de los tubérculos, protege los tubérculos del ataque de polilla y gusano blanco, conserva la humedad en la zona de las raíces, protege los tubérculos de la infección por la “gota” de la papa (*P. infestans*), en particular en la variedad Criolla Colombia que es susceptible. Es usual que previo al aporque se realicen aplicaciones fitosanitarias para el control de insectos plaga ya mencionados.



**Figura 16** a) Estolones iniciando diferenciación de tubérculos en papa criolla. b) Detalle de la diferenciación del tubérculo de papa criolla.

Fuente: [en su orden] Rodríguez (2007c y 2007b).



**Figura 17** a) Pala para realizar aporque manual. b) Labor de aporque manual. c) Aporque con tracción animal. d y e) Aporque con tractor en la sabana de Bogotá. f) Repaso con azadón en el aporque con tractor.

Fotos: [en su orden] Rodríguez (2018e; 2018c; 2016b; 2010c; 2010d y 2010e).

## Cosecha y poscosecha

En general las plantas de papa criolla se cosechan con los tallos y el follaje verde, cuando sus tubérculos están en madurez de cosecha, en razón de su ausencia de reposo. En el final de su ciclo de cultivo normalmente la floración está en su fase final, y el cultivo se observa con una ligera clorosis; si se permite que el follaje alcance mayor senescencia, la piel de los tubérculos de los cultivares amarillos se torna oscura y en el caso de cultivares como la Criolla Colombia y la Criolla Dorada la piel pierde el brillo y la calidad comercial, condición que se conoce como “papa morena”. Además, se inicia el crecimiento de los brotes en los tubérculos enterrados generando lo que se conoce como papa “rucha”, de inferior calidad para el consumo.

La madurez fisiológica de los tubérculos, necesaria para tomar la decisión de cosechar la papa, se identifica cuando al frotar fuerte su piel esta permanece adherida sin desprenderse. Este es un factor importante que indica buena calidad para el mercado.

La cosecha de papa criolla se realiza en forma manual, los cosecheros generan lo que llaman “bloques”, que consiste en reunir en un solo surco la producción de tres o más surcos, dependiendo del volumen de producción (Figura 18a).

Una vez removido el suelo que cubre los tubérculos, las plantas son extraídas de manera manual por el cosechero. Luego se sacuden en el surco donde caen los tubérculos; si quedan algunos adheridos a los estolones, el operario los retira con la mano, agrupándolos en el “bloque”. Se recomienda que los tubérculos no sean expuestos al sol y al viento por un tiempo prolongado después de su cosecha (no mayor a 4 h), ya que los tubérculos pueden perder brillo en su piel, factor cosmético que afecta su presentación para la comercialización y, por lo tanto, su precio, debido a que los comerciantes lo catalogan como pérdida de calidad.

La papa cosechada es clasificada por el operario en categoría “cero” (diámetro de tubérculo mayor a 6 cm), “gruesa” (de 4 a 6 cm), pareja (de 2 a 4 cm) y “riche” (la de menor diámetro y con daños). La unidad de empaque es de 50 kg y al cosechero se le paga por bultos cosechados. Las dos primeras categorías se empaquetan en costales de fibra blancos, las otras dos en costales de fibra rojos (Figura 19).



**Figura 18** a) Papa criolla en cosecha. b) Versión de gancho utilizado en cosecha (hay múltiples versiones). c) Tubérculos con madurez de cosecha.

Fuente: a y b) Núñez (2009a y 2017b). c) Rodríguez (2013).



**Figura 19** Papa criolla cosechada y empacada en bultos de 50 kg en campo.

Fuente: Rodríguez (2018f).

Posterior a la cosecha, clasificación, empaque y pesaje, se realiza el cargue de los bultos a vehículos para ser llevados a las centrales mayoristas (Figura 20). El mercado se realiza usualmente el mismo día de la cosecha, debido a que la papa criolla es un producto altamente perecedero considerado como una hortaliza.

Debido a la carencia de reposo de la papa criolla y su rápida brotación, no es posible su almacenamiento por largos periodos de tiempo. Por esta razón, la comercialización mayorista y la venta al detal del producto fresco se deben realizar en el menor tiempo posible en el mercado nacional.

Para el mercado externo, la forma de comercialización más frecuente es procesada; la más común: precocida congelada y encurtida. Los países de destino son Japón, Estados Unidos y los países de la Unión Europea.

En Cundinamarca, el mercado mayorista más importante es Corabastos donde la recepción de la papa no lavada empieza a las once de la noche. El proceso inicia con el muestreo del camión, donde una fracción de un bulto es lavada en baldes plásticos para determinar el brillo de la piel (una pseudo variable de calidad, que aplica el mayorista al agricultor). La papa criolla es un producto de alta volatilidad en el precio, el cual depende de variables de calidad impuestas por el mercado mayorista, que tiene en cuenta: el tamaño, la uniformidad del tubérculo en el bulto, el color amarillo intenso de la piel, el brillo de la piel (Figura 21a), que esté “despejada”, es decir limpia, sin daños por exceso de humedad (lenticelosis) (Figura 21b), o daño por *Streptomyces scabies* (Figura 27); además, influye la cantidad de producto que llegue al mercado cada día.



**Figura 20** Amarre manual del bulto (a) y cargue en camión de la cosecha (b) para su comercialización.

Fuente: [en su orden] Rodríguez (2018a y 2018d).



**Figura 21** a) Característica de brillo en la piel del tubérculo en la variedad Criolla Colombia. b) Manchado de la piel por lenticelos prominentes.

Fuente: [en su orden] Núñez (2018h y 2018f).

El proceso de lavado del tubérculo para su comercialización en esta presentación lo realizan únicamente los acopiadores o comerciantes que han construido con ello un mercado especial en la ciudad de Bogotá; es decir, el productor está excluido de esta opción de comercialización, donde con poco valor agregado se genera un incremento importante en el margen de ganancia. Fuera de Corabastos hay sitios satélites de recepción de la papa calificada “de primera” o “papa fina”, que se puede lavar y comercializar a clientes institucionales. La restante regresa a la plaza una vez lavada hacia las tres de la mañana, hora en que empieza el mercado para el público en la central mayorista.



## Enfermedades limitantes en el cultivo de papa criolla y su manejo

El cultivo de la papa criolla es afectado por diferentes enfermedades que pueden afectar sus tejidos foliares, las raíces o los tubérculos. A continuación, se presentan las que resultan más limitantes en los diversos sistemas productivos en el departamento de Cundinamarca, de las cuales es importante conocer sus síntomas y estrategias de manejo.

### “Gota” o tizón tardío

En nuestro medio la enfermedad conocida con el nombre “gota”, se conoce en el contexto internacional como tizón tardío o mildiu y es la enfermedad más devastadora de la papa en el mundo (Fry, 2008). El agente causal es *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary; el nombre del género se deriva de las palabras griegas *Phyto* (“planta”) y *Phthora* (“destructor”). Este patógeno pertenece al reino Cromista, de la clase Oomicete, que filogenéticamente está relacionado con las diatomeas y algas pardas y es distante del reino Fungy (Forster et al., 2000; Pérez y Forbes, 2008).

*P. infestans* es heterotálico con dos tipos de apareamiento, A1 y A2. Su centro de origen es Toluca (México). Se considera que hasta el año 1980 el tipo A2 se encontraba únicamente en México y el tipo A1 era el causante del tizón tardío en el resto del mundo (Goodwin et al., 1994). Reportes de la distribución del tipo A2 se hicieron partir de 1981 en países de Europa, Oriente Medio, Asia y Suramérica (Fry y Goodwin, 1995).

Para que la “gota” se desarrolle y progrese las condiciones climáticas son determinantes. La temperatura óptima para su crecimiento y la formación de esporangios está entre los 18 y los 20 °C, por un rango de 8 a 10 h. A menor temperatura (entre los 12 y los 16 °C) se producen y liberan zoosporas (de 8 a 10 por esporangio). Estas zoosporas se enquistan, forman el tubo germinativo e ingresan a la hoja por las estomas o por la cutícula (Smart et al., 2000). El desarrollo de la enfermedad se favorece por alta humedad relativa (mayor del 95 %), alta precipitación, el rocío o el riego elevado (Andrade-Piedra et al., 2005). Bajo condiciones ambientales favorables y en variedades susceptibles los primeros síntomas, que corresponden a pequeñas manchas, se pueden apreciar en hojas y tallos luego de 72 h de la infección; luego, las lesiones se van extendiendo y, si no se hace un adecuado manejo, pueden devastar el cultivo en corto tiempo (Smart et al., 2000).

Silva et al. (2009) estudiaron poblaciones de *P. infestans* de los departamentos de Antioquia, Boyacá, Cundinamarca y Norte de Santander y reportaron la presencia de un solo haplotipo mitocondrial (IIa) y el tipo de apareamiento A1 en todos los aislamientos. Estas poblaciones fueron clonales y sin evidencia de reproducción sexual. De otro lado, Chaves et al. (2019), en un estudio de variabilidad genética que se realizó utilizando la combinación de doce marcadores microsatélites (SSR) en 279 aislamientos de *P. infestans*, colectados en once diferentes variedades de diferentes municipios del departamento de Cundinamarca, dentro del marco del Subproyecto Papa, reportaron la existencia de un solo linaje clonal (EC-1), con un total de 76 genotipos, es decir, alta variación genética dentro del linaje clonal con genotipos estrechamente relacionados. También se reportó que todos los aislamientos fueron A1; es decir, con ausencia de reproducción sexual.

En el estudio de diagnóstico que se realizó en los municipios de influencia del Subproyecto Papa en el departamento de Cundinamarca, los agricultores la destacaron como la enfermedad más limitante del sistema productivo, situación que se replica en las restantes zonas productoras del país.

Desde el punto de vista del cultivo, el patógeno afecta hojas y tallos principalmente (Figura 22) y, en el caso de la papa criolla, también se puede encontrar en los tubérculos, especialmente cuando el aporque es bajo. Cuando no se realiza un adecuado manejo, el patógeno puede causar graves daños a los cultivos (Figura 23); en consecuencia, causa pérdidas significativas en la productividad y, por lo tanto, importantes pérdidas económicas para los agricultores.

Por lo anterior, cuando se utilizan variedades susceptibles es necesario establecer estrategias de manejo químico, que deben considerar las variables climáticas (precipitación, humedad relativa y temperatura), con el propósito de decidir de la mejor manera sobre las moléculas a utilizar, su combinación y la frecuencia de aplicación. Bajo este escenario, el manejo químico se debe planear desde el comienzo del crecimiento del cultivo (siempre se deben considerar las condiciones ambientales) para prevenir la infección y el desarrollo de la enfermedad.



**Figura 22** a) Síntoma y esporulación de la “gota” (*P. infestans*) en el envés de la hoja de papa. b) Lesión de la “gota” en tallo de papa.

Fuente: [en su orden] Núñez (2019d y 2009b).

## Recomendaciones de manejo

La principal variedad de papa criolla que se cultiva en Cundinamarca, Criolla Colombia, es susceptible a la “gota” y requiere de un manejo adecuado basado en control químico. Es importante resaltar que cuando se establece este tipo de manejo, una importante recomendación es que se realice rotación de moléculas en las diferentes aplicaciones; de no ser así, se aumenta la probabilidad del desarrollo de resistencia del patógeno a las moléculas y el escenario de manejo en el mediano plazo puede llegar a ser de mayor complejidad. Este es un componente relevante para tener en cuenta en los procesos de transferencia para los agricultores, dado que el desarrollo de moléculas nuevas en el mundo es lento y muy costoso.

Cuando se utilizan variedades que tienen respuesta de resistencia a la enfermedad, como es el caso de las variedades Paola, Violeta, Paysandú y Criolla Ocarina (ver el capítulo “Contexto general de la papa criolla”), es muy importante tener en cuenta las variables ambientales prevalentes en el plan de manejo. Estas variedades pueden ser manejadas con base en moléculas protectantes como Clorotalonil, Mancozeb y Propineb, entre otras, con frecuencias de aplicación que dependen de la evolución de la enfermedad en el campo.



**Figura 23** Cultivo de papa con alta incidencia y severidad de “gota” (*P. infestans*). Fuente: Núñez (2008a).

En todos los casos es muy importante tener en cuenta las recomendaciones de uso seguro de pesticidas, al igual que las buenas condiciones en los equipos de fumigación. Cuando se utilizan los fungicidas protectantes, el resultado del control depende en gran medida de la calidad del agua que se utilice y de la calidad de la aplicación; en esta última incide el tamaño de gota y la cobertura que se realice del follaje. La situación es similar cuando se utilizan moléculas translaminares o sistémicas; sin embargo, resulta más crítico con las moléculas protectantes.

Dependiendo de las condiciones del ambiente, también es recomendable el uso de coadyuvantes, de los cuales se tiene una amplia oferta en el mercado. Estos productos contribuyen con la permanencia del producto aplicado en las hojas. Como norma general, es importante aplicar el fungicida adecuado (sea protectante, sistémico o su mezcla) en el momento oportuno y en forma correcta. Para ello, se recomienda consultar con un técnico o profesional conocedor del tema.

Otras medidas que se deben tener en cuenta para el adecuado manejo de la enfermedad son: usar semilla sana, en lo posible certificada; eliminar las plantas espontáneas o “guachas”, que vienen de tubérculos que quedaron en el campo de cultivos anteriores; realizar rotación de cultivos y evaluar los cultivos en desarrollo para detectar los focos de la enfermedad y controlarlos antes de su propagación (Acuña, 2019).

Bajo condiciones de cultivo en ladera, otra recomendación importante es trazar los surcos con algún grado de pendiente, con el propósito de que no se presenten encharcamientos que favorezcan una mayor humedad relativa; de presentarse, se deben drenar estos puntos inmediatamente. En el mismo sentido preventivo, es importante evitar altas densidades de siembra. En la variedad Criolla Colombia, susceptible a la enfermedad, la densidad adecuada es de 1 m entre surcos por 0,30 m entre sitios de siembra, ello favorece la aireación dentro del cultivo y, por lo tanto, menor humedad relativa en el follaje. También es muy importante realizar una adecuada fertilización, en lo posible basada en un análisis de suelo, en especial para evitar el exceso de nitrógeno.

## Sarna polvosa y camanduleo

Esta enfermedad es causada por el protozoario *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea*, parásito obligado que pertenece al orden Plasmodiophorales, el cual es un grupo monofilético (Braselton, 2007). Es uno de los patógenos de suelo más importantes en Cundinamarca, pues disminuye los rendimientos y limita la siembra de variedades de papa susceptibles en lotes contaminados, como Parda Pastusa, Diacol Capiro y Criolla Colombia (Núñez, 2011a). Es un patógeno de alta persistencia en los suelos; en efecto, los agricultores han reportado lesiones en las raíces y tubérculos de papa en lotes que han estado en descanso hasta por 20 años. Cuando se presenta en las raíces, los agricultores en el país la llaman “camanduleo” y cuando está en el tubérculo la denominan “espora” o también, con su otro nombre común en el mundo, “roña de la papa”.

Los síntomas de la enfermedad en la raíz inician con la aparición de manchas que se transforman en ampollas blancas y toman un aspecto de camándula; cuando maduran toman un color marrón oscuro y causan pudrición o necrosis de la raíz, generan su desintegración y se mezclan con el suelo (Zapata, 2009) (Figura 24). Posteriormente, en variedades susceptibles se forman pústulas en los tubérculos con un diámetro de entre 2 y 15 mm, que contienen una masa polvorienta de esporas (Jaramillo y Botero, 2007).

La infección primaria ocurre cuando el patógeno se reproduce a través de soros, los cuales albergan zoosporangios agregados; estos liberan las zoosporas, que finalmente son las encargadas de infectar las células de las raíces y, posteriormente, los tubérculos a través de las lenticelas (Boer, 2000). Las zoosporas, al infectar las raíces, eventualmente generan zoosporangios, los cuales producen zoosporas secundarias o plasmodios esporangiales. La aparición de estos últimos se asocia con la formación de agallas (Van de Graff et al., 2007). Cuando las agallas o las pústulas de los tubérculos maduran (Figura 25), se forman masas polvorientas de estructuras de resistencia llamadas esporosoros o quistosoros, que son nueva fuente de inóculo de alta persistencia y que pueden sobrevivir en el suelo por décadas, razón por la cual esta enfermedad es compleja de controlar (Boer, 2000).

El inóculo se disemina mediante el agua o el suelo que contenga las zoosporas y prospera en suelos con pH entre 4,7 y 7,6 (Bittara et al., 2009). La sarna polvosa se distribuye en las diferentes regiones productoras en el mundo y origina pérdidas significativas en los tubérculos para consumo y semilla (Wale, 2000). Durante un largo periodo de tiempo se pensó que solo las zoosporas secundarias podían infectar los tubérculos; sin embargo, Diriwaechter y Parbery (1991) demostraron que también puede ocurrir a partir de zoosporas primarias.

El quistosoro es la estructura en la cual *S. subterranea* basa su sobrevivencia y es biológicamente el estado menos susceptible, razón por la cual no es un objetivo sencillo para biorregular. Las zoosporas tampoco lo son, ya que ellas también pueden enquistarse. Cuando las condiciones ambientales no son favorables los plasmodios primarios son la tercera estructura que se enquista. El enquistamiento es para *S. subterranea* un mecanismo de defensa que le permite perdurar en el suelo o en los tejidos del huésped, lo que lo convierte en estructuras de difícil control (Hoyos et al., 2009).



**Figura 24** Síntoma de la sarna polvosa (*S. subterranea* f. sp. *subterranea*) en raíces (“camanduleo”) de papa criolla variedad Criolla Colombia.

Fuente: a) Núñez (2009c). b) Rodríguez (2011b).



**Figura 25** Síntoma de roña o sarna polvosa (*Spongospora subterranea*) en tubérculo de papa criolla variedad Criolla Colombia. Fuente: Nústez (2015a).

## Recomendaciones de manejo

Para el manejo de la enfermedad se recomienda tener en cuenta las siguientes prácticas:

- Utilizar semilla sana, en lo posible certificada. Este es un insumo responsable de alta diseminación del patógeno cuando está afectado por la enfermedad.
- En suelos donde se presente la enfermedad, realizar rotación de cultivos con especies que no sean hospedantes. Arcila-Aristizábal et al. (2013) reportan en un estudio realizado en Antioquia que cultivos no hospedantes

son: ajo (*Allium sativum*), remolacha (*Beta vulgaris*) y la forrajera trébol blanco (*Trifolium repens*). Los mismos autores reportaron que especies cultivadas como arveja, zanahoria, apio, tomate, uchuva, repollo, rábano y maíz, permiten la multiplicación del patógeno en sus raíces; por lo tanto, no son recomendados para rotación. No obstante, se debe aclarar que no es descartable que exista en estos cultivos una respuesta de interacción con el genotipo, es decir que no se puede generalizar para toda la especie, similar a lo que se encuentra dentro de la papa cultivada.

- Realizar el control de las malezas que son hospederos alternos, entre ellas tenemos: corazón herido (*Polygonum nepalense* Meisn), lengua de vaca (*Rumex crispus* L.) y Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). Según Arcila-Aristizabal et al. (2013), una maleza que no permite la multiplicación del patógeno es el nabo (*Brassica campestris*), una planta muy común en Cundinamarca. La situación más compleja se presenta con el caso del Kikuyo, que forma parte del sistema productivo papa-pastos-leche en muchas de las regiones productoras del país.
- Realizar siembra de la papa en suelos con buen drenaje o evitar que se generen zonas de encharcamiento.
- Considerar el uso de variedades resistentes. En el caso de papa criolla una alternativa es la Criolla Ocarina y, en la oferta de nuevas variedades diploides, se encuentran las variedades Paola, Paysandú, Primavera y Violeta, todas ellas con resistencia a la enfermedad en raíz y en tubérculo.
- Para evitar la diseminación de este patógeno en las fincas se recomienda el lavado y la desinfección de herramientas. La misma recomendación es pertinente para los implementos utilizados en la preparación de suelos, la maquinaria y las botas de los trabajadores.
- Si en la finca hay ganado vacuno al cual se le alimenta con papa, se debe evitar darle para su consumo tubérculos afectados por la enfermedad, pues el patógeno se disemina en su estiércol en los potreros.

- No es recomendable el uso de gallinaza en los planes de abono, en especial si no está adecuadamente compostada, como es frecuente.
- Hasta el momento, en el país se carece de productos agroquímicos o bioplásticos registrados para su control.

## Rizoctoniasis y costra negra

La enfermedad es ocasionada por el hongo *Rhizoctonia solani* Kuhn, que permanece en el suelo en forma de esclerocio o de micelio y muestra un alto potencial saprófito, que le permite sobrevivir por varios años a expensas de la materia orgánica. Su actividad inicia con una temperatura del suelo superior a los 15 °C, luego se desarrolla en la superficie de las raíces y libera enzimas que disuelven las paredes celulares para lograr penetrar al interior del tejido vegetal (Guédez et al., 2009). La temperatura óptima para que se desarrolle la enfermedad está entre los 15 y los 18 °C, y se presenta en suelos muy húmedos y ácidos (Villa y León, 2009). Guerrero (1994) indicó que el principal medio de diseminación es la semilla (esclerocios adheridos), seguido por el transporte de suelo contaminado en las herramientas utilizadas durante las labores del cultivo.

En los brotes subterráneos el patógeno puede causar su muerte, retardar o inhibir su emergencia (Figura 26a). La enfermedad se hace evidente con la presencia de chancros de color café en las raíces, brotes y/o estolones, también se pueden observar depresiones profundas en la base de los tallos que ocasionan el estrangulamiento de la planta. En las raíces los chancros dificultan el transporte de los fotoasimilados estimulando la producción de tubérculos aéreos, la formación de rosetas apicales con proliferación de yemas y enrollamiento de folíolos (Guerrero, 1994; Montesdeoca et al., 2006) (Figura 26b).

La costra negra ocurre cuando se forman esclerocios sobre la piel del tubérculo (Lahlali y Hijri, 2010) y en muchos casos no se considera una enfermedad de importancia económica, debido a que el daño superficial se elimina al pelar la papa, tras lo cual queda apta para el consumo. La enfermedad es considerada de importancia cuando el destino de la papa es la semilla, en razón del inóculo que tiene en el tubérculo (Keiser et al., 2012).



**Figura 26** Brotes subterráneos con presencia de chancros (a) y síntomas de enrollamiento de foliolos apicales en la planta de papa criolla (b) causados por *Rhizoctonia solani*.

Fuente: a) Rodríguez (2007a). b) Núñez (2019e).

## Recomendaciones de manejo

- Utilizar semilla sana, en lo posible certificada. De acuerdo con la norma de certificación de semilla de papa en el país, se permite que la semilla presente hasta 5 % de *Rhizoctonia* moderada y 10 % de *Rhizoctonia* leve; ambos casos calificados de acuerdo con la presencia de esclerocios en la superficie del tubérculo.
- Realizar rotación de cultivos por varios años (3 a 4), con cultivos no susceptibles como los cereales (Acuña y Tejada, 2015b). En nuestro medio pueden ser: cebada, avena y maíz. También se podría considerar los pastos por ser de la misma familia.
- Realizar un adecuado control de malezas, su alta población aumenta la humedad del suelo en la base de las plantas y ello favorece la enfermedad.
- Sembrar en lotes con buen drenaje o localizar los surcos con algún grado de pendiente para evitar encharcamientos, de presentarse esta situación, se deben realizar los drenajes en las partes afectadas.

- En los campos donde se produce semilla de papa es recomendable, como manejo preventivo, que se realice la aplicación de moléculas fungicidas con registro ICA para el patógeno. Esta aplicación se debe realizar sobre el surco en el momento de la siembra, antes de tapar la semilla. El control se puede complementar con otra aplicación previa al aporque dirigida a la base de la planta. Se recomienda que se roten los ingredientes activos de los fungicidas, esta consulta se debe realizar con el técnico o profesional de la región.

## Sarna común

Esta enfermedad es causada por la bacteria filamentosa *Streptomyces scabies* y otras especies del género *Streptomyces* (Mun et al., 2007). Este patógeno sobrevive indefinidamente como saprófito en suelos infestados, y se disemina a partir de suelo infestado y tubérculos semilla infectados. La infección ocurre por las lenticelas o heridas cuando inicia la formación del tubérculo y los síntomas se desarrollan en el corto plazo. En general los tubérculos maduros no son susceptibles al ataque, pero las lesiones presentes se expanden con su crecimiento, aumentando la severidad (Figura 27a y 27b). La temperatura óptima para su desarrollo es de 20 a 22 °C y a temperaturas menores, entre los 11 y los 13 °C, se desarrolla lentamente (Acuña y Tejeda, 2015a), como es el caso de las condiciones de crecimiento de la papa en Colombia.

El patógeno secreta una sustancia que estimula a las células vivas que rodean la lesión a producir varias capas de células corchosas que la aíslan, desarrollando lesiones superficiales o reticulares que pueden ser cóncavas, profundas o protuberantes (Centro Internacional de la Papa [CIP] y Ministerio de Agricultura-Servicio Nacional de Sanidad Agraria [MA-SENASA], 1996). De esta manera, causa lesiones superficiales en los tubérculos (Figura 27c y 27d), tallos y raíces fibrosas, sin presentar síntomas en el follaje (Zapata et al., 2006).



**Figura 27** Lesiones en tubérculos de papa criolla causadas por *Streptomyces scabies*: leves (a), de alta severidad (b), y detalles del ataque superficial (c y d).

Fuentes: a y b) Rodríguez (2011e y 2011f). c y d) Núñez (2018j y 2018a).

En el sistema productivo de papa criolla en Cundinamarca y a nivel nacional, el síntoma que causa *Streptomyces* spp. es un daño cosmético que afecta la presentación del tubérculo; así que en el mercado, donde se aceptan daños leves en el tubérculo, se termina castigando fuertemente su precio por bulto (por lo menos en un 50 %), lo que representa un impacto muy grave para el agricultor. La incidencia y severidad de la enfermedad se incrementan cuando se decide repetir un campo de producción, ya que el inóculo se incrementa en el suelo de un ciclo a otro.

## Recomendaciones de manejo

Los principales métodos de manejo para esta enfermedad son de tipo cultural, entre ellos se incluyen:

- Utilizar semilla sana, en lo posible certificada. De acuerdo con la norma de certificación de semilla de papa en el país, se acepta que la semilla certificada presente hasta un 2 % de tubérculos afectados por *Streptomyces* spp.
- Realizar rotación de cultivo en los campos de producción con especies que no sean hospedantes del patógeno, lo que permite disminuir el inóculo presente en el suelo.
- Se desaconseja sembrar papa criolla en un lote que haya sido sembrado con cualquier otra variedad de papa en su ciclo inmediatamente anterior.
- La aplicación de abonos orgánicos como gallinaza favorecen la enfermedad; por lo tanto, teniendo en cuenta lo crítico que es para el mercado de papa criolla la piel limpia, se debe evitar su utilización.

## Carbón de la papa

Es una enfermedad compleja y severa causada por el hongo *Thecaphora solani* B., que afecta el cultivo de papa. Sus esporas persisten por muchos años en el suelo y puede afectar tanto la producción, como la calidad del cultivo, hasta en un 90 %. La principal vía de transmisión de la enfermedad es mediante el tubérculo semilla; una vez producidas las agallas, por descomposición, estas liberan las esporas que contaminan el suelo (Muñoz y Andrade, 2008).

Los síntomas de la enfermedad no se observan en la parte aérea de la planta, lo que dificulta su detección temprana; la enfermedad se evidencia solo en la cosecha. En el cuello del tallo (bajo la superficie del suelo) se observan tumores (hipertrofias), que en un comienzo son pequeños abultamientos sobre la superficie del tallo (2 mm) de color grisáceo y apariencia rugosa e irregular. En su interior se observa gran cantidad de puntos de color café oscuro que corresponden a los soros locales, las esporas del patógeno. Los tumores de los tallos en general son de mayor tamaño que los producidos en los estolones y tubérculos (Acuña y Tejada, 2015b) (Figura 28a y 28 b).

Los tumores en los tubérculos se pueden observar como crecimiento secundario unido al tubérculo o cubriendo gran parte de este. También se pueden observar pequeños levantamientos en la superficie de los tubérculos, cuyo desarrollo depende de la variedad de papa. Al interior de esta zona afectada del tubérculo se observa tejido necrótico de color café oscuro a negro, con aspecto granular (Acuña y Tejeda, 2015b) (Figura 28 c).

La contaminación de suelos sanos con carbón de la papa ocurre principalmente por el tubérculo semilla; se considera que esta es la principal vía de dispersión de la enfermedad. El patógeno también se disemina a través de maquinaria, herramientas, sacos usados y suelo infestado en calzados; también puede ser diseminado por el agua y el viento, pero en menor grado. En una planta hospedera, el hongo penetra el córtex, se mueve hacia el floema y el parénquima, y cuando alcanza el cambium estimula la proliferación de células y genera la hipertrofia en tallos y tubérculos (Acuña y Tejeda, 2015b).

El carbón de la papa está presente en campos de producción de municipios de la sabana de Bogotá (como Mosquera, Bojacá y Madrid, entre otros) y, hasta el momento, es una enfermedad emergente a la cual no se le ha prestado la atención adecuada para establecer estrategias de manejo regional, de tal manera que se limite su diseminación. En nuestro país es mínima la investigación de este patógeno y es necesario que se genere información bajo las condiciones de los sistemas productivos locales. En una parcela demostrativa que se realizó en el municipio de Bojacá, dentro del marco del Subproyecto Papa, se evidenció en un lote contaminado con este hongo una reacción de susceptibilidad a la enfermedad en las variedades diploides: Criolla Colombia, Criolla Dorada, Criolla Ocarina, Paola y Violeta.

## Recomendaciones de manejo

Este problema fitosanitario requiere el establecimiento de diferentes prácticas de manejo, bajo el contexto de manejo integrado, para lo cual se recomiendan las siguientes acciones:



**Figura 28** a y b) Tumores y agallas causados por *Thecaphora solani* B. en la variedad Criolla Colombia. c) Corte interno de las agallas con estrías y puntos de color negro de apariencia carbonosa.

Fuente: a y b) Rodríguez (2017e). c) Rodríguez (2017a).

- Para evitar la contaminación de nuevos suelos y detener el avance de la enfermedad se recomienda el uso de semilla certificada (Acuña y Tejada, 2015b). En el caso de utilizar semilla seleccionada, muy frecuente en el sistema productivo del país, es importante que provenga de una zona libre de la enfermedad; por ello, se sugiere que el agricultor visite el lote fuente de la semilla en la cosecha.
- En campos infestados por el patógeno, todo el material que entre en contacto con suelo, como ruedas de maquinaria, botas e implementos de los trabajadores, debe ser lavado con un desinfectante (folmaldehído, hipoclorito de sodio, ácido peracético, peróxido de hidrógeno, etc.).

Asimismo, los empaques usados o en contacto con suelo o tubérculos no pueden volver a ser utilizados y deben incinerarse. En Chile se recomienda que estos lotes se reporten ante las autoridades de sanidad y se llega a aplicar cuarentena sobre ellos (Consortio Papachile, 2016). En el país, la misma recomendación aplica para los animales que se utilicen en labores de cultivo y de cosecha en los lotes infestados. De igual manera, se debe proponer que se avance en el control legal, que hasta el momento no se aplica.

- Se recomienda la rotación de cultivos, al menos cinco años entre un cultivo y el siguiente de papa (Muñoz y Andrade, 2008). Sin embargo, por falta de investigación en el tema, se desconoce cuáles cultivos no son hospederos alternos en Colombia.
- En lotes donde se presenten tubérculos infectados, estos deben ser acopiados y destruidos (preferiblemente mediante fuego). Este material no debe ser transportado ni tampoco utilizado para alimento de animales, ya que se favorece la dispersión del patógeno.
- Con respecto al control químico, se reportan diferentes moléculas útiles como desinfectantes de semilla; Sañudo y Betancourth (2001) reportaron una buena acción de control usando como desinfectante de semilla las moléculas carbendazim y thiabenazol en lotes infestados del departamento de Nariño. Por su parte, el Consortio Papachile (2016) reportó flutriafol, fencubonazole y benomilo.
- El uso de variedades resistentes puede representar una buena solución al problema del carbón de la papa. En Chile hay reportes de resistencia en algunas variedades que se cultivan (Muñoz y Andrade, 2008; Sepúlveda et al., 2000). En Colombia no existen estudios de evaluación de la respuesta de las variedades existentes a este patógeno y, hasta el presente, no se realiza investigación en mejoramiento genético para esta enfermedad. Lo que se conoce son las respuestas observadas en las variedades diploides mencionadas antes, al igual que la presencia de la enfermedad en las variedades Diacol Capiro y Pastusa Suprema en lotes del municipio de Mosquera (Cundinamarca).

## Pierna negra y pudrición blanda

Esta enfermedad es de distribución mundial y su importancia está dada por las pérdidas que causa en la producción. Se origina por bacterias anaeróbicas facultativas del género *Pectobacterium* principalmente *P. carotovorum* subsp. *carotovorum* y *P. atrosepticum*. (Acuña y Tejeda, 2015a), si bien se han señalado otras especies del género también involucradas (Duarte et al., 2004). El tubérculo semilla es la principal fuente de inóculo; cuando este se pudre multiplica las bacterias en el suelo y el nuevo inóculo puede infectar nuevos tejidos y plantas. La bacteria ingresa por las lenticelas del tubérculo y también lo puede hacer por heridas provocadas por labores de cultivo (aporque y cosecha) (Acuña y Tejeda, 2015a).

Con respecto a los síntomas, se presenta en la base de los tallos una coloración negra de consistencia blanda y húmeda. La planta afectada presenta clorosis y marchitez y en los tejidos afectados se presenta olor fétido. En campo la enfermedad es favorecida por bajas temperaturas y alta humedad relativa (ICA, 2011) (Figura 29a y 29b). En los tubérculos (pudrición blanda), la enfermedad se manifiesta como decoloración vascular cerca al estolón y/o pudrición a lo largo del tubérculo. Para el desarrollo de la enfermedad en los tubérculos almacenados se requiere alto inóculo, la existencia de una película de agua, poca aireación y presencia de heridas. (Acuña y Tejeda, 2015a).



**Figura 29** Pierna negra en la base del tallo (a) y síntoma observado en la parte aérea de la planta (b).  
Fuente: [en su orden] Núñez (2011b y 2011c).

## Recomendaciones de manejo

El manejo de esta enfermedad se enfoca en la aplicación de diversas prácticas, tanto en campo como en almacenamiento; entre ellas, las siguientes:

- Cuando se almacena semilla en la finca se deben mantener buenas condiciones de aireación en la bodega, en lo posible ubicar siempre la semilla sobre estibas y evitar que se humedezca.
- Utilizar para siembra semilla certificada o libre del patógeno.
- Los campos de cultivo se deben trazar de tal manera que se eviten las zonas de encharcamiento, para lo cual se recomienda surcar con algún grado de pendiente. En lotes planos hay que estar atentos para solucionar esta situación cuando sea necesario. De manera general se recomienda seleccionar lotes con buen drenaje natural.
- Si se presenta la enfermedad en el campo de producción, se recomienda eliminar las plantas infectadas.
- En los campos de producción se deben eliminar los residuos de la cosecha, ya que los tubérculos afectados por la enfermedad se descomponen e incrementan el inóculo en el suelo.
- Realizar rotación de cultivos en los lotes de producción con especies no hospederas, como las gramíneas (pastos o cereales).
- El control químico es limitado en razón de que no existe molécula bactericida de acción sistémica que sea altamente eficiente para su control.

## Virus del amarillamiento de las nervaduras (PYVV)

El *Potato Yellow Vein Virus* (PYVV) es un virus que pertenece al género *Crinivirus* y la familia *Closteroviridae*. Las especies del género *Crinivirus* presentan genomas segmentados (bipartitas o tripartitas) y son transmitidos por el insecto mosca blanca *T. vaporariorum* de forma semipersistente (Karasev, 2000).

El insecto vector adquiere el virus en 6 a 8 h y puede inocularlo en un tiempo mínimo de alimentación de 30 min (Arciniegas, 2003). El virus no se replica al interior del vector y tampoco ocurre transmisión trasovárica. No requiere periodo de incubación para poder ser transmitido y las hembras parecen ser los vectores más eficientes (Salazar et al., 2000).

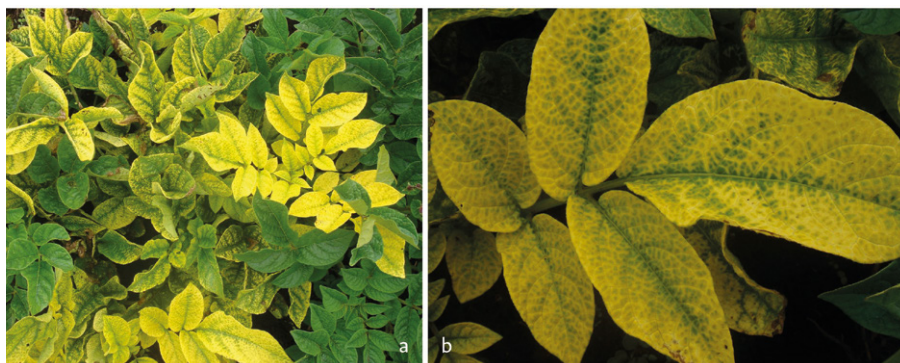
Los síntomas de PYVV pueden desarrollarse de forma primaria o secundaria. Los síntomas primarios se evidencian cuando en las nervaduras secundarias y terciarias de los folíolos se produce clorosis, que se observa en el borde de estos (Figura 30). Los síntomas secundarios se presentan al sembrar tubérculos semilla de plantas infectadas con el virus; entonces pueden ocurrir los casos de mayor severidad, que corresponden a las plantas que presentan clorosis completa, lo que afecta la tasa fotosintética y, por lo tanto, el rendimiento del tubérculo (Morales y Cardona, 2006).

De una planta madre infectada con alta carga viral se pueden generar plantas hijas con o sin síntomas, y al sembrar tubérculo semilla proveniente estas se obtiene el mismo resultado por generaciones sucesivas (Salazar et al., 2000). Hernández-Guzmán y Guzmán-Barney (2014) lograron, mediante PCR convencional y en tiempo real, la detección del virus en los diferentes órganos de la planta (foliolo, peciolo, tallo aéreo y subterráneo, pedúnculo floral, pétalo y antera); la técnica en tiempo real es 100 veces más sensible que la convencional. También reportaron que cuando la planta es asintomática el virus tiene distribución homogénea en los órganos de la planta; mientras que en plantas sintomáticas la carga viral es mayor y la distribución heterogénea, con mayor acumulación en los órganos de la parte aérea.

El virus puede estar presente en hospederos alternos de forma asintomática. Esto ocurre con el barbasco (*Polygonum segetum* H. B. K.), lengua de vaca (*Rumex obtusifolium* L.), corazón herido (*Polygonum nepalense* Meins.), yerbamora (*Solanum americanum*) y en plantas de tomate de mesa (*Solanum lycopersicon*) (Zapata et al., 2004). En consecuencia, las arvenses son una fuente adicional de inóculo.

Vargas-Berdugo (2010) en un estudio realizado sobre la diversidad del Grupo Phureja reportó que existe respuesta de resistencia al PYVV, e identificó nueve genotipos diferentes de la colección con la que se trabaja en investigación

en mejoramiento genético del Grupo Phureja y a la variedad Criolla Guaneña como materiales resistentes, los cuales son un insumo para adelantar trabajos de mejoramiento genético para esta enfermedad en papa.



**Figura 30** Síntomas de PYW que se observan en hojas de papa de la variedad Criolla Colombia.

Fuente: [en su orden] Rodríguez (2009 y 2015a).

## Recomendaciones de manejo

- Utilizar para siembra semilla certificada o libre del patógeno.
- Si se presenta la enfermedad en el campo de producción, se recomienda retirar las plantas infectadas (que muestran síntomas) que deben sacarse del lote para ser destruidas.
- Realizar control de las malezas que son hospederos alternos del virus, ello limita el inóculo potencial en el campo de producción.
- En los campos de producción se deben coleccionar y eliminar los residuos de cosecha. Los tubérculos sanos o infectados pueden generar nuevas plantas en corto plazo, en razón de la ausencia de reposo en el Grupo Phureja; así, los tubérculos infectados mantienen el inóculo disponible para el vector rápidamente.
- Se recomienda realizar rotación de cultivos en los lotes de producción con especies no hospederas, como las gramíneas (pastos o cereales) y otros cultivos.

- Realizar un adecuado plan de manejo del vector (*T. vaporariorum*), en el cual se puede incluir el uso de trampas adhesivas de color amarillo y la aplicación de moléculas insecticidas con registro ICA, para lo cual se debe consultar con el técnico o profesional agrónomo de la zona.
- Si bien el desarrollo de variedades con resistencia genética es una opción, en Colombia aún no se ha planteado un proyecto que busque obtener estos materiales.

# Principales plagas en el cultivo de papa criolla y su manejo

Los insectos plaga que se presentan en el cultivo de papa criolla (Grupo Phureja), son los mismos que atacan a la papa de año tetraploide (Grupo Andigenum), a continuación se relacionan las más limitantes.

## Gusano blanco

El gusano blanco de la papa o gorgojo de los Andes (*Premnotrypes vorax* Hustache) (Coleóptera: Curculionidae) se encuentra distribuido en las principales zonas productoras de papa del país, en alturas comprendidas entre los 2800 y los 3100 m s. n. m. (López-Ávila y Espitia, 2000).

El ciclo de vida del gusano blanco puede variar entre 95 y 280 días; esto depende de la altitud, la temperatura, la humedad del suelo, y la presencia y tipo de alimento durante su desarrollo. Pasa por los estados de huevo, larva, pupa y adulto (Herrera, 1997). Los huevos tienen forma cilíndrica, de color blanco y miden 1,2 mm de largo y 0,54 mm de ancho. Las hembras ovipositan preferentemente en el interior de tallos secos (Argüelles et al., 2012; Montesdeoca et al., 2013).

Las larvas son de color blanco con la cabeza café, su cuerpo tiene forma de 'C' y miden entre 11 y 14 mm en su último instar (Figura 31a); su desarrollo completo ocurre dentro del tubérculo (ICA, 2011; Montesdeoca et al., 2013). Cuando la larva termina su desarrollo, sale del tubérculo para transformarse en pupa dentro de una celda pupal que hace en el suelo (ICA, 2011) a una profundidad de 10

a 25 cm. Al inicio la pupa es de color blanco y posteriormente toma un color amarillento (Bastidas et al., 2005). En su estado adulto los gorgojos son de color gris oscuro y tienen una longitud de entre 5 y 7 mm y un ancho de 4 mm (ICA, 2011). El gorgojo presenta alas anteriores soldadas y alas posteriores atrofiadas; por esta razón no puede volar, pero son muy hábiles para caminar. El color del cuerpo le permite un excelente camuflaje con el suelo, lo que dificulta su detección (Gallegos et al., 1997).

Investigaciones realizadas por Valencia (1989a) reportaron la influencia del agua en el suelo sobre la emergencia de los adultos de gusano blanco (*P. vorax*): a mayor riego o lluvia, mayor emergencia. En general también reportó que las capturas del adulto son altas al comienzo del cultivo, para luego descender en forma regular, y que las larvas aparecen casi simultáneamente con el inicio de la tuberización; es decir que hay una sincronización del insecto con la fenología de la planta.

En el campo se puede presentar sobreposición de poblaciones de este insecto plaga. La situación se evidenció en un campo donde se tenían sembradas variedades con diferente ciclo de cultivo. La papa de mayor precocidad (papa criolla) presentó un pico de larvas inicial en el lote; un segundo pico ocurrió en la variedad tardía de Parda Pastusa, que emergió más tarde y tenía un crecimiento más lento. Esta información ha sido importante para desarrollar la estrategia de los cultivos trampa, dado que el gusano blanco responde al estímulo de plantas en crecimiento (Valencia, 1989b).

El adulto se alimenta principalmente de las hojas, daño que se aprecia como cortes en forma de medialuna; en ocasiones también se alimenta de los tallos (Pérez et al., 2009). El insecto tiene preferencia por consumir las hojas del tercio inferior y medio de la planta y dentro de estas hojas prefiere los folíolos de la parte apical de la hoja (Gallegos et al., 2002).

El daño de importancia económica es ocasionado por las larvas que, al alimentarse de los tubérculos, hacen galerías o túneles que pueden alcanzar una profundidad de 3 a 4 cm, con una apariencia desagradable debido a la presencia de excremento de las larvas y al endurecimiento de los tejidos afectados (Figura 31b), lo cual afecta la calidad de los tubérculos para su comercialización (Corzo et al., 2003).



**Figura 31** a) Larva de último instar de gusano banco (*P. vorax* H.). b) Daño del gusano blanco en tubérculo.  
Fuente: [en su orden] Núñez (2017a y 2019b).

## Recomendaciones de manejo

### Control cultural

En condiciones de campo se recomienda tener en cuenta las siguientes prácticas (ICA, 2011; Montesdeoca et al., 2013):

- Realizar una adecuada preparación del suelo con anticipación a la siembra. Esto permite que se descomponga gran parte del material vegetal que utiliza el adulto para la oviposición.
- Realizar recolección de los residuos de cosecha del ciclo de papa. En especial, los tubérculos que se dejan porque no se pueden comercializar o porque los cosecheros no sacaron; si están libres de patógenos de suelo pueden ser utilizados en alimentación animal, pero en su defecto deben ser destruidos.

- Realizar rotación de cultivos.
- Realizar siembra profunda y aporques altos, estos se convierten en una barrera para las larvas.
- Realizar la cosecha oportunamente para evitar la larga exposición al daño de la plaga en el campo.
- En condiciones de almacenamiento es importante que los bultos se arrumen sobre una superficie que permita capturar y destruir las larvas que puedan venir de campo en los tubérculos, si se hace sobre suelo, la larva se entierra para pupar y el foco de la plaga se incrementará para el próximo ciclo.
- Para parcelas pequeñas de producción, Torres et al. (2013) proponen como estrategia adicional el uso de barreras plásticas, con el fin de evitar la entrada de adultos de gusano blanco al lote en donde se va a sembrar, ello teniendo en cuenta que el adulto no vuela, ni tampoco puede escalar plástico. Para la instalación de las barreras se recomienda utilizar plástico de 40 a 60 cm de ancho, el cual se extiende alrededor del lote y se asegura con estacas y tachuelas; la parte inferior se debe enterrar en el suelo a una profundidad de 10 cm.

## Control etológico

Existen trampas de caída para adultos, las cuales consisten en recipientes de plástico que contienen agua con jabón, cubiertas con madera que las protege de las condiciones externas y genera oscuridad para atraer al insecto (Pérez et al., 2010). Estas trampas deben ser ubicadas en los bordes del lote sembrado, cada diez metros, con el fin de hacer conteos semanales y determinar el momento más adecuado para realizar control químico (Argüelles et al., 2012).

Otro tipo de trampa consiste en realizar un hueco de 40 cm de lado por 20 cm de profundidad. Dentro de él se ponen como cebo plantas pequeñas, hojas o brotes de papa, que luego se tapan con un cartón para generar oscuridad y evitar pérdida de humedad. En el cebo se aplica un insecticida que tenga registro para el control de la plaga;

de esta manera, el adulto que llegue allí consume y muere. El cebo se debe cambiar con frecuencia de dos semanas y se recomienda ubicar alrededor de 100 trampas/ha, entre la preparación del suelo y la emergencia del cultivo (Gallegos et al., 1997). Usando el mismo principio se pueden usar plantas cebo; en este caso, en vez de hacer un hueco se siembran tubérculos semilla o se trasplantan plantas jóvenes luego de la preparación del lote, previo a la siembra (por lo menos 30 días). Estas plantas se envenenan con insecticidas, los adultos son atraídos, consumen el follaje y mueren (Torres et al., 2013).

Otra estrategia es el uso de cultivos trampa. El propósito es atraer y concentrar los adultos del gusano blanco provenientes de otros cultivos o del mismo lote en el que se va a sembrar, es ideal que estos cultivos se siembren por lo menos 20 días antes del establecimiento del cultivo de papa principal (Peña et al., 2000). Se recomienda utilizar para el cultivo trampa papa criolla, hacer tres surcos en el contorno del lote y sobre este pequeño cultivo realizar todas las prácticas culturales del cultivo y un estricto control químico (ICA, 2011).

### Control químico

El período comprendido entre la emergencia de la planta y el aporque constituye la época crítica para la llegada del *P. vorax* a un lote de papa (Calvache, 1991). La aplicación de insecticidas debe hacerse en la planta joven dirigida al follaje de la planta y, previo al aporque, en la parte baja de la planta, que es en donde se ubican los adultos del insecto.

Con respecto a las épocas de aplicación, lo más indicado es realizar la primera aplicación cuando ocurra la emergencia completa del lote, una segunda aplicación en el momento aporque (ICA, 2011) y, de ser necesario, dependiendo de las poblaciones del insecto, una tercera aplicación 20 días después (Bastidas et al., 2005). Es importante que se utilicen productos químicos que tengan registro ICA para el control de la plaga. Para ello se debe contar con la recomendación de un profesional conocedor de la plaga y del sistema productivo.

## Polilla guatemalteca

El insecto *Tecia solanivora* (Lepidóptera: Gelechiidae) es originario de Centroamérica. Desde 1956 se reportaron los primeros daños en papa en Guatemala, de ahí su nombre, y debido al transporte de tubérculos entre los países centroamericanos, se dispersó y adaptó con facilidad. En 1970 se reportó en Costa Rica, en la zona de Cartago, causando daños de entre el 5 y el 41,5 % (Hilje-Quiroz, 1994). En 1973 se reportó en Panamá, Honduras y San Salvador; en 1983 se reportó en Venezuela, allí llegó mediante la importación de semilla de la variedad Atzimba desde Costa Rica al estado de Táchira (Torres, 1998). En Colombia se reportó en 1985 en Norte de Santander y en 1994 ya se reportaba en todos los departamentos productores del país (Herrera, 1998). En Ecuador se reportó en 1996 en la Provincia del Carchi (Pozo y Zambrano, 2001) y en 1999 fue reportada en la zona noroeste de Tenerife, Islas Canarias-España (Trujillo et al., 2004). En 2010 se reportó en Porvenir (México), localidad ubicada a 17 km de la frontera con Guatemala, atribuida su presencia al transporte de semilla entre localidades. Todos estos reportes son una evidencia de lo compleja y agresiva que es esta plaga.

En Colombia la polilla guatemalteca se encuentra presente en las diferentes zonas productoras de papa del país ubicadas entre los 1800 y los 3200 m s. n. m., con temperaturas entre los 6 y los 24 °C (Araque y García, 1999). Es considerada la plaga más importante en este cultivo; su ataque se da en condiciones de campo y de almacenamiento, y puede afectar la calidad del tubérculo hasta en un 100 % (ICA, 2011).

### Ciclo de vida

La polilla guatemalteca pasa por los estados de huevo, larva, pupa y adulto durante su ciclo de vida, el cual tiene una duración de entre 45 y 68 días, según la temperatura en la cual se desarrolla (Argüelles et al., 2012). La hembra pone los huevos en la base de la planta, cerca de los tubérculos de papa en el lote de cultivo, y cerca a los ojos de los tubérculos o sobre los costales en condiciones de almacenamiento (Carrillo y Torrado-León, 2013; Corzo et al., 2003).

Los huevos son ovalados y miden 0,5 mm de diámetro, su color es blanco al comienzo y, a medida que se desarrollan, se tornan de color amarillo (ICA, 2011). Este estado tiene una duración de entre 9 y 15 días (Argüelles et al., 2012). La larva entra al tubérculo dejando marcas imperceptibles en la piel y se alimenta de este, lo que genera galerías en su interior (Carrillo y Torrado-León, 2013). El desarrollo total de las larvas se da entre los 20 y los 30 días, y alcanzan un tamaño de 14 mm (Argüelles et al., 2012).

Una vez concluido el ciclo de larva, sale del tubérculo para empupar; esto lo hace en el suelo o sobre hojas muertas de las plantas. En el lugar de almacenamiento las pupas se pueden encontrar sobre los tubérculos, los costales, el piso y en las paredes (Carrillo y Torrado-León, 2013). Las pupas son de color café rojizo y su tamaño es diferente entre machos y hembras; la pupa hembra puede llegar a medir 8,5 mm y la macho 7,5 mm. La duración de este estado es de 15 a 23 días (López-Ávila y Espitia, 2000).

Los adultos son polillas de color pardo oscuro (Figura 32) y las hembras presentan mayor tamaño que los machos. Son de hábito nocturno y realizan vuelos cortos y erráticos; durante el día se ubican en el suelo y las zonas protegidas de la luz. En almacenamiento se encuentran en las grietas de las paredes, bajo los arrumes de papa empacada y en general sobre diferentes elementos que se encuentren en el lugar (ICA, 2011).

El estado larval del insecto es el único que causa daño al cultivo, las galerías ocasionadas por su alimentación dentro del tubérculo y los excrementos dejados en estas favorecen la presencia de hongos y bacterias (Figura 33), y todo en conjunto lleva a la pérdida de calidad del producto, tanto para semilla como para alimentación humana y animal (Carrillo y Torrado-León, 2013; López-Ávila y Espitia, 2000).



**Figura 32** Adulto de polilla guatemalteca (*Tecia solanivora* P.).  
Fuente: Plantwise (2016).

## Recomendaciones de manejo

### Control cultural

Las estrategias de manejo cultural que se proponen para reducir las infestaciones en campos de producción de la polilla de la papa incluyen:

- Realizar una buena preparación de suelos para destruir físicamente los estados inmaduros que se encuentren en el suelo o para exponerlos al ambiente de tal manera que las aves complementen su eliminación. Como en el caso anterior se recomienda que la preparación de suelos se realice con anticipación al momento de la siembra.
- Utilizar semilla certificada o seleccionada sana. Esto significa que no lleve larva viva en el tubérculo. La norma colombiana de certificación de semilla no tolera larva viva en la semilla (Resolución ICA 3168 de 2015). De presentarse infestación en almacenamiento la semilla debe ser gasificada, para lo cual se recomienda contar con el apoyo de un técnico o profesional que conozca los aspectos técnicos correctos, debido a que son productos de especial manejo por su toxicidad.



**Figura 33** Síntoma externo (a) y daño interno (b) en papa criolla causado por *T. solanivora* P. Larva en desarrollo dentro de tubérculo (c) y pupas sobre tubérculo en almacenamiento (d) de *T. solanivora* P.

Fuente: [en su orden] Núñez (2018d; 2018b; 2018c y 2012).

- Cuando el agricultor produce su propia semilla, se debe realizar una muy buena selección teniendo en cuenta los diferentes aspectos de sanidad. Para proteger la semilla se recomienda utilizar productos con base en granulovirus. También se puede utilizar talco industrial malla 400 mezclado con insecticidas en polvo que tengan registro ICA para controlar la plaga. En ambos casos la semilla debe quedar uniformemente espolvoreada para evitar que las larvas puedan ingresar en el tubérculo.

- Realizar la siembra de la semilla a por lo menos 15 cm de profundidad, e incrementar la altura del aporque; esto reduce la posibilidad de que las larvas de primer instar alcancen los tubérculos en desarrollo (ICA, 2011).
- Recolectar todos los tubérculos de descarte de la cosecha y aprovecharlos en el corto plazo en alimentación animal o, en su defecto, destruirlos para evitar que se constituyan en focos de multiplicación para la plaga en la finca.
- Realizar rotación de cultivos en los lotes. Se pueden utilizar pastos, maíz, zanahoria y avena, entre otras.
- Utilizar empaque nuevo para almacenar en bodega el tubérculo semilla o el de consumo (Carrillo y Torrado-León, 2013).
- Realizar aseo exhaustivo y desinfectar el sitio para almacenar papa, al igual que mantener condiciones de luz difusa en este ambiente (Corzo et al., 2003; ICA, 2011).

### Control etológico

Consiste en la utilización de trampas con feromona sexual para la detección y el monitoreo de la plaga, así como el potencial control del macho adulto. Se recomienda ubicar entre 4 y 16 trampas/ha, asegurándose de cubrir los bordes del lote (Corzo et al., 2003). Las trampas consisten en un recipiente plástico con dos huecos a los lados, en cuya base se adiciona agua con jabón; en la parte de arriba se ubica la feromona para atraer y capturar los machos de la polilla, los cuales quedan atrapados y mueren en el agua (Figura 34) (ICA, 2011). Los conteos de machos atrapados en la trampa se deben hacer cada semana (Argüelles et al., 2012); el umbral de capturas es de 50 adultos/trampa/semana (López-Ávila y Barreto-Triana, 2004).



**Figura 34** Captura de adultos de *T. solanivora* con trampa de feromona hecha por un agricultor.  
Fuente: Núñez (2013).

### Control químico

Si se utiliza la herramienta de manejo de las trampas de feromona, el control químico es sugerido cuando el conteo semanal en las trampas supera el umbral de captura de 50 individuos/trampa/semana (Argüelles et al., 2012). En el mercado existen diferentes moléculas químicas con registro ICA para el control de la plaga. Se recomienda contar con la asesoría de un profesional para decidir cuáles aplicar, así como usar una combinación de ingredientes activos y realizar rotación de los mismos en las diferentes aplicaciones.

Las aplicaciones deben dirigirse a la base de la planta —esto es lo que el agricultor denomina “inyectada”, “chuntauqueada” o “sondeada”— debido a los hábitos de oviposición y movimiento de la plaga en el campo. Es muy importante que el suelo tenga humedad, para que las moléculas aplicadas sean eficientes en el control; en condiciones secas la eficiencia tiende a ser baja e, independiente del número de aplicaciones, el daño en los tubérculos se incrementa significativamente, ya que no hay vehículo que disperse el producto en el suelo. Bajo esta última condición de campo, se recomienda que los productos se apliquen con alto volumen de agua.

En términos generales, en papa criolla la protección del cultivo con insecticida se debe realizar en dos oportunidades: la primera, luego de la emergencia completa del cultivo; la segunda, previo al aporque. Aplicaciones adicionales dependerán del monitoreo del insecto y en ningún caso se debe aplicar dentro del periodo de carencia de las moléculas.

Se reitera que el manejo de *T. solanivora* no se puede basar únicamente en el control químico, la integración de las otras medidas recomendadas es lo que permite éxito en el control. Biológicamente es una plaga muy voraz que en nuestro medio carece de enemigos naturales, debido a que fue una introducción. Solamente en las épocas muy húmedas su dinámica poblacional se ve afectada, pero en estas épocas se refugia eficientemente en bodegas u otros sitios, y mantiene sus población haciendo su ciclo en papas mal almacenadas o en residuos de cosecha de campo o abandonados. Este insecto plaga requiere, en lo posible, la integración de las comunidades de agricultores en las regiones (empezando por las veredas y en adelante), para realizar prácticas colectivas que permitan un adecuado control, en especial en las épocas secas en las que este insecto plaga se ve favorecido por el ambiente.

## Pulguilla de la papa

Las pulguillas (*Epitrix* spp.) [Coleoptera: Chrysomelidae] son cucarrones pequeños y deben su nombre a que es posible observarlos saltando cortas distancias entre las hojas del cultivo (Corzo et al., 2003). Es un insecto defoliador que ataca múltiples especies de la familia Solanaceae (Pérez-Otero et al., 2010). Ataca en los estados tempranos del cultivo, cuando la planta de papa tiene pocas hojas en desarrollo; por lo tanto, si las poblaciones son altas el daño ocasionado al cultivo puede ser importante (ICA, 2011).

## Ciclo de vida

*Epitrix* spp. tiene metamorfosis completa: huevo, larva, pupa y adulto. La duración de las diferentes fases no está claramente documentada. Los huevos son de forma elíptica, microscópicos (0,4 x 0,2 mm) y de color blanquecino (Pérez-Otero et al., 2010); por lo tanto, resultan imperceptibles en el campo al ojo humano. Las hembras ponen los huevos en la base del tallo y las larvas se desarrollan bajo el suelo, en el sistema radical (Cuthbertson, 2015). Las larvas son de color blanco cremoso y llegan a medir entre 2 y 3 mm de largo (Montesdeoca et al., 2013). Empupan en el suelo, de donde emergen los adultos (ICA, 2011).

Los adultos son pequeños cucarrones, con una longitud entre 2 y 3 mm de largo, y tienen color negro con un brillo metálico (ICA, 2011; Montesdeoca et al., 2013) (Figura 35a).

## Daño

Las larvas se alimentan de las raicillas de las plantas de papa, de las malezas y raramente de los tubérculos (ICA, 2011). Los adultos se alimentan de los brotes de las plantas de papa y de los folíolos no abiertos, realizando perforaciones circulares que aumentan de tamaño a medida que las hojas se expanden; no obstante, si los ataques no son severos, en general, las plantas recuperan sin problema su área foliar en la medida en que crecen y se desarrollan (Corzo et al., 2003; Montesdeoca et al., 2013) (Figura 35a y 35b).

## Recomendaciones de manejo

Como prácticas de control cultural se recomiendan:

- Realizar rotación de cultivos con especies no hospederas, el propósito es cortar el ciclo de la plaga.
- Realizar una buena preparación de suelos. Si el lote es “de repite” se deben recoger y eliminar todos los residuos de la cosecha anterior; muchos de estos tubérculos brotan y emergen antes del cultivo nuevo, lo que genera atracción para múltiples insectos plaga, en primera instancia *Epitrix* spp.

- Cuando se presentan ataques que generan daños importantes de defoliación en las plantas de papa en la fase inicial del cultivo, producto de poblaciones altas de adultos de *Epitrix* spp., es necesario intervenir con la aplicación de insecticidas que tengan registro ICA para el control de la plaga. La aplicación se dirige al follaje con el propósito de que el insecto muera por la ingestión del tejido tratado.



**Figura 35** a) Adultos de *Epitrix* spp., causando daño foliar en papa criolla. b) Daño de defoliación en plantas jóvenes.  
Fuente: [en su orden] Núñez (2019a y 2019c).

# **Costos de producción y mercados de la papa criolla**

## **Introducción**

Con el paso de los años la papa criolla pasó de ser un cultivo de pequeñas áreas —típico de la agricultura tradicional campesina, en donde los mercados eran predominantemente locales con un pequeño mercado mayorista en Bogotá—, para convertirse progresivamente, en los últimos quince años, en un cultivo donde hay una importante participación de medianos y grandes productores. Estos se ubicaron en zonas que se pueden considerar conglomerados o clúster para este cultivo en el departamento de Cundinamarca, en los municipios del occidente de la sabana de Bogotá, así como en la zona rural de Bogotá, Sibaté y Granada, entre otros.

Este cambio fue promovido por los avances en investigación que se generaron desde la Universidad Nacional de Colombia, en especial en las nuevas variedades de papa criolla, que no existían hasta el momento en este grupo diploide, y que constituyeron un hito en el contexto internacional, dado que no existían variedades mejoradas diploides en Colombia, ni tampoco en otra región del mundo. Esas primeras variedades fueron la Criolla Colombia, actualmente la más sembrada en el país, la Criolla Latina y la Criolla Paisa, liberadas en el año 2005 (Ñústez, 2011a). Luego de estas tres se registraron diez más (ver Capítulo “Contexto general de la papa criolla”), varias de ellas innovaciones reales para la papicultura nacional, que están en proceso de desarrollo comercial.

Tener variedades homogéneas, con buena adaptabilidad, comportamiento agronómico y rendimiento, significó el despegar de una nueva línea de negocio en el país: el procesamiento y la exportación de papa criolla en presentaciones de encurtida en lata, en vidrio y precocida congelada, que se mantiene hasta el presente. Otro cambio importante para este cultivo fue el cambio significativo en el contexto culinario, pues pasó de acompañar el típico y tradicional plato de la “fritanga” (una mezcla de diversos productos fritos) a las recetas de distinguidos platos de la culinaria *gourmet*, propios de la gastronomía pujante en las grandes ciudades del país.

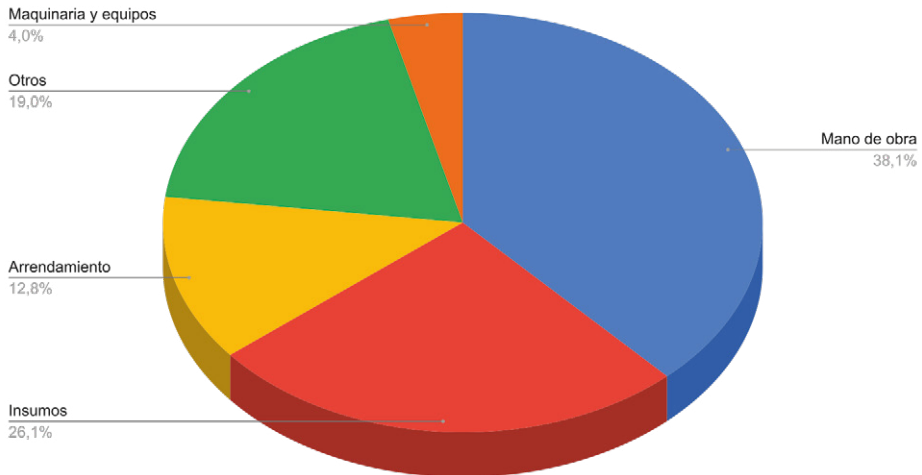
Estos cambios son un ejemplo contundente de lo que significa valorizar un recurso genético nativo, de los cuales hay muchos en el país, pero sin investigación ni desarrollo. Muchas cosas más pueden pasar en el futuro cercano con la humilde, versátil y deliciosa papa criolla, producto colombiano por excelencia.

En la actualidad los productores de papa criolla son relativamente especializados. El desarrollo tecnológico para el cultivo ha crecido en forma significativa, tanto en la producción de semilla certificada, herramientas y equipos para las diferentes labores, como en las mejoras para el manejo agronómico del cultivo, en aspectos como densidades y fertilización, entre otras, donde la creatividad de los agricultores y la investigación han realizado sus aportes.

## Costos de producción en el cultivo

Los costos de producción en el sistema productivo de papa criolla varían de acuerdo con la localidad y el nivel de tecnología empleado, semejante a lo que ocurre en el cultivo de papa de año. De acuerdo con estimaciones realizadas en el año 2017 en lotes del municipio de Subachoque (Cundinamarca), en el marco del Subproyecto Papa, se encontró que para la variedad Criolla Colombia el costo promedio de producción fue de \$ 15 613 110 para un rendimiento promedio de 25 t/ha.

El rubro con mayor peso en los costos de producción fue el de mano de obra, con un 38 %, seguido de los insumos, con un 26 %; por su parte, el arrendamiento representó el 12,8 %, un peso alto en la estructura de costos, debido al valor elevado de la tierra en la Sabana Occidente (Figura 36).



**Figura 36** Distribución porcentual de los costos promedio de producción por rubros, en la variedad Criolla Colombia, en el municipio de Subachoque (Cundinamarca) para 2017.

Fuente: Equipo CTA-2, Subproyecto Papa (2018).

En el rubro de mano de obra, la labor de mayor participación corresponde a la cosecha (63 %) (Figura 37a). Esta labor se realiza por contrato, se pacta en el momento de iniciarla y se paga por bulto cosechado (50 kg). La duración de la cosecha depende del rendimiento potencial del cultivo y de su calidad sanitaria, ya que esta última influye en los tiempos de selección y empaque de la papa para el cosechero. El valor que se paga por bulto cosechado de papa criolla es mucho mayor que el de papa de año, ya que la cantidad de bultos que recolecta un cosechero por jornada diaria es mucho menor, debido al tamaño promedio del tubérculo. El siguiente subrubro correspondió a la mano de obra que se requiere para realizar las actividades relacionadas con el manejo fitosanitario (aplicaciones), con un 21 % (Figura 37a).

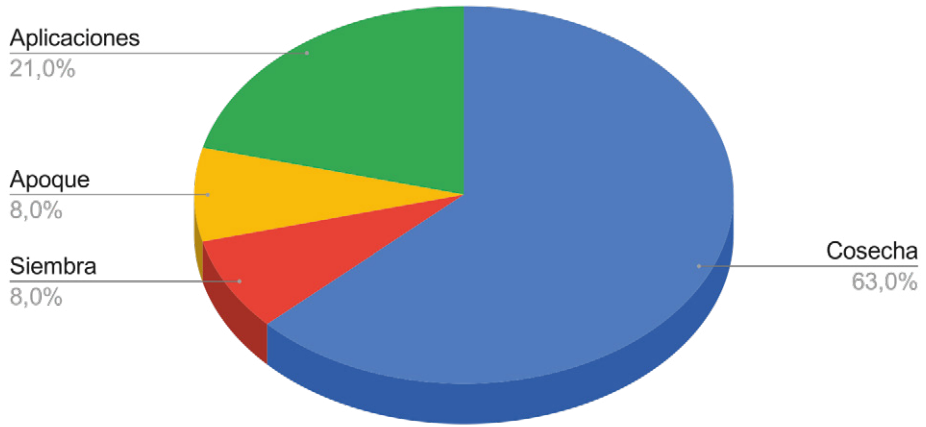
En el rubro de insumos se encontró que el mayor peso fue para los fertilizantes (36 %), al que le siguieron los subrubros de semillas y agroquímicos (Figura 37b). El peso de los fertilizantes en la estructura de costos del cultivo destaca la importancia que tiene la investigación en este tópico y, más allá de eso, el trabajo que se debe realizar en cuanto a la transferencia de los resultados que ya se tienen sobre la material, en especial con la estrategia de parcelas demostrativas en las regiones productoras.

En general, la experiencia demuestra que el agricultor no le cree a lo que no ve; participa en las charlas técnicas por múltiples motivaciones, pero de ello le queda muy poco, o nada; es decir, el agricultor no aprende cuando se le “cuenta el cuento”. Este es uno de los factores de análisis para las entidades que tienen como responsabilidad la financiación y ejecución de la transferencia; ya que esta solo es exitosa cuando hay continuo acompañamiento.

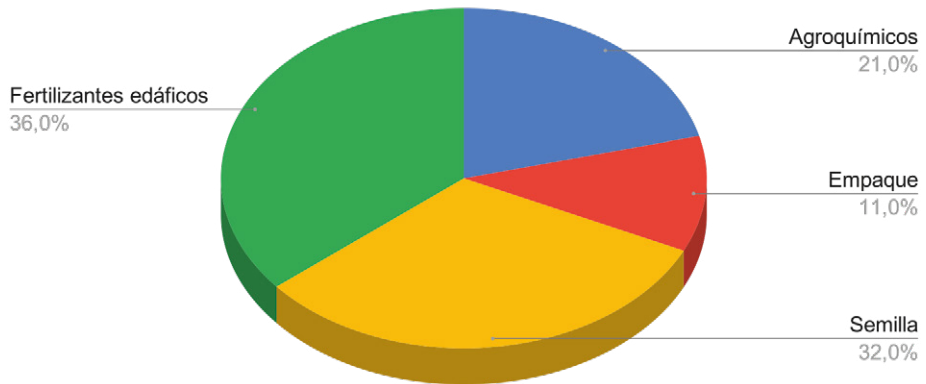
Hay que tener en cuenta que los procesos de enseñanza-aprendizaje no son sencillos, en especial cuando la comunidad a la que se quiere enseñar tiene bajos niveles de formación, como en el caso de los productores de papa en su gran mayoría. Hay que pensar mucho más en los procesos de formación para las nuevas generaciones de agricultores, debido a que las presiones por competitividad son cada vez mayores y para enfrentarlas, es necesaria tanto la innovación como la transferencia eficiente y eficaz.

Como resultado del Proyecto Implementación y Transferencia de Tecnologías mediante Extensión Rural en el Sector Papa [ITPA] de Fedepapa y el Fondo Nacional de Fomento de la Papa [FNFP] (Barragán, 2019) se determinó que, para el año 2018, los costos de producción para papa criolla en Cundinamarca alcanzaron un valor de \$ 21 724 585, un 39,1 % más alto que el que se encontró para el 2017 en el Subproyecto Papa. Esta diferencia es alta y se explica principalmente por un mayor valor en la estimación de los rubros de mano de obra y, especialmente, en el rubro de insumos, que bajo esta estructura de costos representó el 39% de los costos totales. Con estos costos presentados y la producción comercial reportada de 22,4 t, el valor unitario por kilogramo es de \$ 970. Por lo tanto, un agricultor tiene un punto de equilibrio para su producto de \$ 97 000 por carga de 100 kg, valor que en el mercado corresponde a un precio relativamente alto para papa.

Estos ejercicios de estimación de costos tienen esta dificultad práctica, ya que dependen de las unidades utilizadas como escenario muestral. Es importante que el agricultor considere siempre su estructura de costos, ello le permite conocer el valor unitario de su producto y el margen de utilidad o pérdida de su actividad en cada lote cultivado; con esta información, en el tiempo conocerá si ha ganado o no competitividad.



a



**Figura 37** Distribución porcentual de los costos de producción dentro de los subrubros “Mano de obra” (a) e “Insumos” (b), en la variedad Criolla Colombia en el municipio de Subachoque (Cundinamarca) para 2017.  
Fuente: Equipo CTA-2, Subproyecto Papa (2018).

## Precio de la papa criolla en el mercado fresco

La papa criolla, al igual que la papa de año, presenta alta inestabilidad en sus precios, y esta es una de las limitantes importantes en el sistema productivo, independientemente de la región. La papa criolla tiene dos particularidades importantes: a) un periodo vegetativo corto, alrededor de 120 a 130 días en las condiciones de la sabana de Bogotá, que se amplía hasta en 30 días en las zonas productoras con cota superior a los 3000 m s. n. m.; b) ausencia de reposo en el tubérculo, lo que obliga a que la cosecha se realice de manera oportuna y que el tiempo de mercadeo sea muy corto. Si se pasa del tiempo de cosecha el tubérculo se brota enterrado y el costo de la labor aumenta porque el cosechero debe destallar (quitar el brote). Esto también permite que el agricultor pueda tomar la decisión de volver a sembrar en el corto plazo, luego de la cosecha.

Estas particularidades hacen que en el contexto nacional y del departamento de Cundinamarca las épocas de siembra sean muy distribuidas en el año, a diferencia del comportamiento más concentrado en las épocas de siembra de la papa tetraploide (papa blanca o de año). Para esta, según el FNFP (2016), se ha propuesto que exista “desestacionalización” de la producción, con el propósito de romper su componente cíclico y favorecer la oferta planificada durante el año.

La evidencia de que en papa criolla no se presenta marcada concentración en las épocas de siembra, la constituye el hecho de que en el mercado se consigue fresca todos los días, considerando además que es altamente perecible, que no se puede almacenar, ni enterrada, ni en bodegas para su posterior comercialización. Diferente a la papa de año en ciertas regiones y con diversas variedades, debido al periodo largo de reposo del tubérculo.

Si bien el precio de la papa criolla en la central mayorista de Corabastos en Bogotá se configura, como en todos los productos que llegan al mercado, por las fuerzas oferta y demanda, se presentan particularidades que vale la pena mencionar:

- a) El tamaño de la papa y la uniformidad de los tubérculos dentro del bulbo es un factor importante. Se considera papa gruesa o “primera” si tiene un diámetro mayor o igual a 4 cm; estas tienen la posibilidad de obtener el precio alto del día. Los tamaños inferiores (de 2,5 a 3,8 cm) son de la papa llamada “pareja”, y el precio que puede alcanzar al por mayor está en alrededor del 50 % de la

papa “primera”, así cumpla con parámetros de buena calidad de presentación y sanidad. Los tamaños más pequeños (menores a 2,5 cm) se conocen como “terceras” o “riche”; también se comercializan, pero su valor es el más bajo al por mayor, razón por la cual el agricultor solo las lleva al mercado cuando la papa criolla está costosa. Sin embargo, estas diferencias de precio tan marcadas en el mercado mayorista no se reflejan de manera proporcional en el mercado minorista, donde las compra el consumidor corriente.

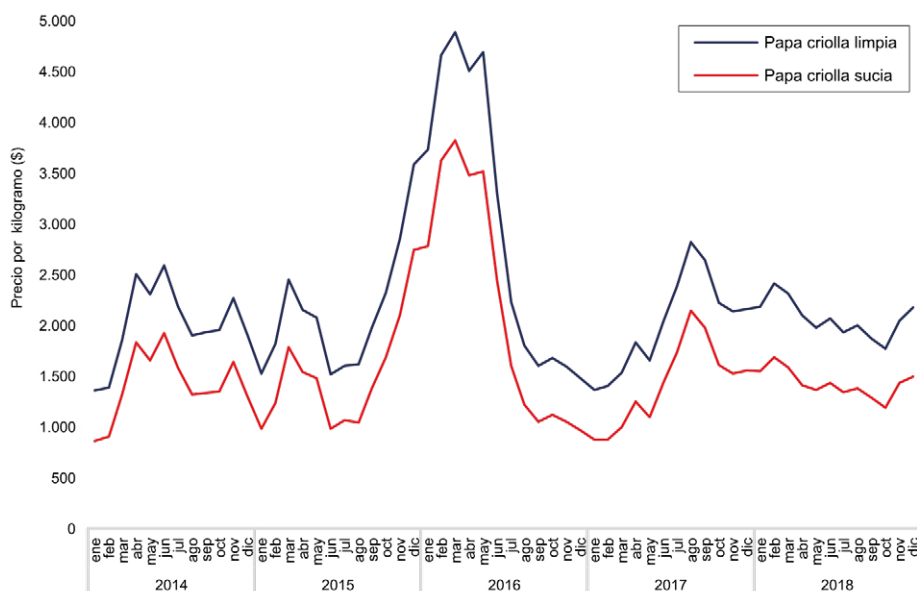
- a) Para obtener un buen precio en el mercado, la papa criolla debe llegar “des-  
a) pejada” —término del comerciante—; esto significa que no tenga presencia de lesiones en la piel, las cuales pueden ser causadas por *Streptomyces* spp., por la presencia de lenticelas prominentes (cuando vienen de lotes con alta humedad previa a la cosecha), o también por daños de insectos del suelo que raspan la piel.
- a) En el mercado mayorista se estableció un criterio discriminatorio para calificar la papa criolla, asociado a una característica que tiene la variedad Criolla Colombia, el brillo de la piel cuando se lava (Figura 21). De esta manera, el comerciante lava una muestra de la papa y califica si “lava” o “no lava”; en el primer caso, se denomina en las estadísticas como “papa lavada” o papa fina, y en el segundo, como “papa sucia”. La papa gruesa que lava (fina) se paga al mayor precio del mercado, lo que se conoce como la “punta” y, con base en el precio de esta, los comerciantes deciden cuánto pagan por las restantes “calidades” de papa que llegan al mercado en el día. En general todas se compran, porque la demanda es suficiente para todas las llamadas diferentes “calidades”.

En la realidad, en el día a día en el mercado mayorista de papa criolla se genera una alta dispersión de precios pagados al agricultor, desde muy bajos hasta muy altos, lo que se conoce en el lenguaje del mercado como “reguero de precios”; todo depende de lo que el comerciante mayorista considera “calidad” para configurar el precio. En época de poca oferta de producto, los criterios de “calidad” disminuyen.

Las entidades que capturan la información de los precios diarios en la central mayorista, toman la información de lo que se conoce como las “puntas”. Este

es un indicador importante de buen o mal abastecimiento del producto en el mercado: alto precio significa poca oferta, y lo contrario, mucha oferta. En la Figura 38 se presentan los precios promedio por mes para papa criolla, para el periodo comprendido entre los años 2014 y 2018, reportados por la base de datos del Sistema de Información de Precios ([SIPSA], 2019).

De acuerdo con esta figura, durante los últimos cinco años (2014-2018), los precios de la papa criolla han mostrado los tradicionales máximos y mínimos que denotan la inestabilidad de la producción nacional. El precio de la “papa lavada” siempre es mayor que el de la “papa sucia” y, como es de esperar, tienen alta correlación, por ello las curvas entre las dos varían en paralelo. Es de destacar que este valor agregado (lavar la papa) solo lo puede dar el mayorista; al agricultor no le aceptan que llegue con la papa lavada para su comercialización, siempre se la compran “sucia”, es decir, como se cosechó en el campo.



**Figura 38** Evolución de los precios mayoristas de la papa criolla “sucia” y “lavada”, durante el periodo 2014-2018 en Corabastos (Bogotá).

Nota: Los valores monetarios están dados en pesos colombianos (COP).

Fuente: elaborada a partir de información de SIPSA (2019).

En el periodo de tiempo que se presenta en la Figura 38 es de resaltar lo que se presentó entre el último trimestre de 2015 y el primer semestre de 2016, donde hubo precios muy altos y sostenidos. Ello estimuló mayores siembras en el 2016 (como se aprecia en la Tabla 5), lo que a su vez determinó una caída abrupta en los precios para el segundo semestre de ese año, que se mantuvo hasta mediados del 2017. Esta situación es un ejemplo claro de la volatilidad de las áreas y volúmenes de oferta del producto en el mercado nacional, un factor limitante para construir opciones de procesamiento en dicho mercado. En el año 2018 los precios se mantuvieron más regulares.

En el mercado de papa criolla existe una importante variación en las épocas (meses) para los picos de precios altos (Figura 38). Ello significa que ni el productor, ni los diferentes eslabones de la cadena productiva, tienen elementos que les permitan predecir con alguna certeza cuándo se pueden presentar esos picos para tomar decisiones de siembra. La variabilidad climática que se ha presentado en los últimos años, y que afecta a todos los sistemas productivos, le ha sumado incertidumbre. En las encuestas realizadas por el Subproyecto Papa a los agricultores de papa en Cundinamarca, durante 2016, se evidenció que en su gran mayoría (97 %) tenían clara la percepción de la variabilidad climática en las últimas décadas, y destacaron como sus principales indicadores el cambio de frecuencia en las lluvias, la variación de la temperatura, la radiación, la ocurrencia de heladas y la incidencia de los vientos.

Esta situación, compleja en su integralidad, determina que el agricultor tome el riesgo y siembre en cualquier época, mientras tenga la semilla; además, le apuesta a que en el ciclo llueva para que el cultivo se desarrolle, porque en la realidad tampoco se tienen elementos de predicción para la ocurrencia de lluvias en el año con relativa precisión, algo propio de la condición de país ecuatorial y de los cultivos de altura con topografía y ecosistemas altamente heterogéneos.

## La exportación de papa criolla

La exportación de papa criolla se refleja principalmente en la partida arancelaria 0710100000, correspondiente a “*papas aunque estén cocidas en agua o vapor, congeladas*”. El procesamiento que se realiza en papa criolla para exportación es principalmente la precocida congelada y la encurtida en lata o vidrio. Esta desagregación no es posible conocerla, pues no se realiza en las cifras que se entregan por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural; tampoco es claro si se exporta algo de papa criolla por otra partida arancelaria, que contemple papa procesada.

Las estadísticas compiladas por la Secretaría Técnica del Consejo Nacional de la Papa (2019), cuya fuente es la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales (DIAN), reportan que las exportaciones de papa criolla correspondientes con la partida arancelaria 0710100000, en el periodo 2011-2019 (hasta julio 31 de 2019), han variado entre 127,6 y 769,3 t, con importantes variaciones entre los diferentes años (Tabla 6).

**Tabla 6** Exportación de papa criolla procesada y participación de los países de destino, en el periodo 2011-2017.

Año	Volumen exportado (t)	FOB (U\$)	Porcentaje de exportación por país de destino (%)						
			EE. UU.	Japón	Rusia	Reino Unido	España	Canadá	Otros
2011	128,0	U\$ 359 815	44	20	13	6			17
2012	127,6	U\$ 336 772	68			7	9	7	9
2013	207,8	U\$ 551 305	73	8	2	2	10	5	0
2014	387,9	U\$ 986 980	86			2	4	5	3
2015	636,3	U\$ 1 614 156	74	16		2	2	3	3
2016	624,9	U\$ 1 656 730	61	27		1	6	3	2
2017	769,3	U\$ 2 052 764	51	39			5	2	3
2018	681,2	U\$ 1 783 291	63	24			6	3	4
2019*	401,1	U\$ 1 018 200	68	15		1	8	3	5

Nota: Información al 31 de julio de 2019.

Precio FOB: sigla del inglés *Freight On Board* (“flete o carga a bordo”), representa el costo de la mercancía a exportar hasta el embarque o envío, el cual es asumido por el vendedor.

Fuente: Secretaría Técnica del Consejo Nacional de la Papa (2019).

A partir del año 2015, es clara la tendencia a un mercado de exportación relativamente estable en las cantidades, por encima de las 600 t; ello a pesar de que los precios en el mercado de papa criolla fresca han presentado importantes variaciones (Figura 38), factor que seguramente es uno de los limitantes para el crecimiento en este renglón de exportación.

Los países de destino de estas exportaciones también se han mantenido estables en el tiempo. El principal destino son los Estados Unidos, seguidos por Japón, España, Canadá y el Reino Unido (Tabla 6). Desde 2015 el precio FOB de estas exportaciones es superior a los U\$ 1,6 millones, lo que significa, en una operación sencilla, no exacta, que el valor promedio por kilogramo es un poco superior a los U\$ 2,5, una cifra bastante atractiva en el contexto de un dólar alto, como el que se ha venido presentando en los últimos años. La expectativa es que la exportación de papa criolla crezca y siga en proceso de consolidación, lo que puede mejorar el nivel de ingreso de los agricultores.



## Referencias bibliográficas

- Acuña, I. (2019). Manejo integrado del tizón tardío de la papa. En I. Acuña y R. Bravo (Eds.), *Tizón tardío de la papa: Estrategias de manejo integrado con alertas tempranas* (pp. 46-57) [Boletín n.º 399]. Osorno, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).
- Acuña, I. y Tejada, P. (2015a). *Enfermedades causadas por bacterias*. Manual interactivo de la papa, Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Remehue. Recuperado de <https://manualinia.papachile.cl/?page=manejo&ctn=219>.
- Acuña, I. y Tejada, P. (2015b). *Enfermedades causadas por hongos*. Manual interactivo de la papa, Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Remehue. Recuperado de <https://manualinia.papachile.cl/?page=manejo&ctn=215>.
- Agronet (2018). *Reporte: área, producción y rendimiento nacional por cultivo. Papa criolla*. Recuperado de <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>.
- Agronet (2019). *Reporte: comparativo de área, producción, rendimiento y participación departamental por cultivo*. Recuperado de <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=3>.
- Allison, F., Fowler, J. y Allen, E. (2001). Effects of Soil and Foliar Applied Phosphorus Fertilizers on the Potato (*Solanum tuberosum* L.) Crop. *The Journal of Agricultural Science*, 137(1), 376-395.
- Andrade-Piedra, J. L., Hijmans, R. J., Forbes, G. A., Fry, W. E. y Nelson, R. J. (2005). Simulation of Potato Late Blight in the Andes. I: Modification and Parameterization of the Lateblight Model. *Phytopathology*, 95(10), 1191-1199. doi.org/10.1094/PHYTO-95-1191.
- Anyia, A. y Herzog, H. (2004). Water-Use Efficiency, Leaf Area and Leaf Gas Exchange of Cowpeas Under Mid-Season Drought. *European Journal of Agronomy*, 20(4), 327-339.
- Araque, C. y García, J. (1999). *Manual integrado de la polilla guatemalteca de la papa Teciá Solanivora* (Polvony). Pamplona, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Arcila-Aristizabal, I. M., González-Jaimes, E. P., Zuluaga-Amaya, C. M. y Cotes-Torres, J. M. (2013).

- Alternate Hosts of *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea* Identification in Colombia by Bioassay. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 66(2), 6987-6998.
- Argüelles, J. H., Pérez, M. R., Barreto, N. y Espitia, E. M. (2012). La vigilancia de las poblaciones de gusano blanco (*Premnotypes vorax*) y polilla guatemalteca (*Tecia solanivora*): una herramienta útil para su manejo en el cultivo de la papa. Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) y Asociación Hortifrutícola de Colombia (Asohofrucol).
- Arias, V., Bustos, P. y Núñez, C. E. (1996). Evaluación del rendimiento en papa criolla (*Solanum phureja* Juz. Et. Buk) variedad "Yema de huevo", bajo diferentes densidades de siembra en la Sabana de Bogotá. *Agronomía Colombiana*, 13(2), 152-161.
- Ariza, W. A. (2017). Respuestas fisiológicas, bioquímicas y rendimiento en tres variedades de papa criolla (*Solanum tuberosum* L. Grupo Phureja) en déficit hídrico [Tesis inédita de Maestría]. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Barragán, J. M. (2019). Costos de producción (ha) del subsector papa 2018. *Revista Papa* (48), 48-52. Federación Colombiana de Productores de Papa (Fedepapa) y Fondo Nacional de Fomento de la Papa (FNFP).
- Bastidas, S., Morales, P., Pumisacho, M., Gallegos, P., Heredia, G. y Benítez, J. (2005). *El catzo o adulto del gusano blanco de la papa y alternativas de manejo. Guía de aprendizaje para pequeños agricultores*. Quito, Ecuador: Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).
- Bauw, P., Van Asten, P., Jassogne, R. y Merckx, R. (2016). Soil Fertility Gradients and Production Constraints for Coffee and Banana on Volcanic Mountain Slopes in the East African Rift: A Case Study of Mt. Elgon. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 231(1), 166-175.
- Becerra-Sanabria, L. S., Navia de Mosquera y Núñez-López, C. (2007). Efecto de niveles de fósforo y potasio sobre el rendimiento del cultivar 'Criolla Guaneña' en el departamento de Nariño. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 14(1), 51-60.
- Biddulph, O., Nakayama, F. y Cory, R. (1961). Transpiration Stream and Ascension of Calcium. *Plant Physiology*, 36(4), 429-436.
- Bittara, F., Rodríguez, D., Sanabria, M., Monroy, J. y Rodríguez, J. (2009). Evaluación de fungicidas y productos vegetales en el combate de la sarna polvorienta de la papa. *Interciencia*, 34(4), 265-269.
- Boer, R. F. de (2000). Research Into the Biology and Control of Powdery Scab of Potatoes in Austra-

- lia. En U. Merz y A. K. Lees (Eds.), *Proceedings of the First European Powdery Scab Workshop* (pp. 79-83). Aberdeen, Escocia: Scottish Crop Research Institute.
- Bonilla, I. (2013). Introducción a la nutrición mineral de las plantas. Los elementos minerales. En J. Azcón-Bieto y M. Talon (Eds.), *Fundamentos de fisiología vegetal* (2ª ed., pp. 103-122). Barcelona, España: McGraw-Hill.
- Braselton, J. P. (2007). *Generalized Plasmodiophorid Life Cycle Based on Several Sources*. Recuperado de <http://oak.cats.ohiou.edu/~braselto/plasmos/>.
- Cabezas, M. (2002). *Estimación de la interceptación de la radiación solar en papa criolla Solanum phureja (Juz et Buk) en tres localidades colombianas* [Tesis inédita de Maestría]. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Calvache, H. (1991). Efectos de barreras vegetales y químicas en el control del gusano blanco de la papa (*Premnotyphes vorax* Hustache). *Revista Latinoamericana de la Papa*, (4), 22-35.
- Carrillo, D. y Torrado-León, E. (2013). *Tecia solanivora* Povolny (Lepidoptera: Gelechiidae), an Invasive Pest of Potatoes *Solanum tuberosum* L. in the Northern Andes. En J. Peña (Ed.). *Potential Invasive Pests of Agricultural Crops* (pp. 126-136). Wallingford, Oxfordshire, Reino Unido: CAB International.
- Chaves, S. C., Rodríguez, M. C., Mideros, M. F., Lucca, F., Núñez, C. E. y Restrepo, S. (2019). Determining Whether Geographic Origin and Potato Genotypes Shape the Population Structure of *Phytophthora infestans* in the Central Region of Colombia. *Phytopathology*, 109(1), 145-154. doi.org/10.1094/PHYTO-05-18-0157-R.
- Centro de Investigación y Extensión Rural [CIER], Facultad de Ciencias Agrarias, equipo de audiovisuales (2016). (Fotógrafo). *Tubérculos de las variedades Criolla Colombia, Criolla Dorada, Criolla Ocarina, Milagros y Violeta* [Fotografías]. Bogotá, Colombia.
- Centro Internacional de la Papa [CIP] y Ministerio de Agricultura-Servicio Nacional de Sanidad Agraria [MA-SENASA] (1996). *Principales enfermedades, nematodos e insectos de la papa*. Lima, Perú: Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Consorcio Papachile. (2016). *El carbón de la papa*. Recuperado de <https://www.papachile.cl/el-carbon-de-la-papa/>
- Corzo, P., Moreno, J. D., Franco, B. y Fierro, L. H. (2003). *Manual de papa para productores*. Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).

- Cuthbertson, A. (2015). Chemical and Ecological Control Methods for *Epitrix* spp. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 1 (1), 95-97. doi.org/10.7508/gjesm.2015.01.008.
- Daoui, K., Mrabet, R., Benbouaza, A. y Achbani, E. (2014). Responsiveness of Different Potato (*Solanum tuberosum* L.) Varieties to Phosphorus Fertilizer. *Procedia Engineering*, 83(1), 344-347.
- Daryanto, S., Wang, L. y Jacinthe, P. (2017). Global Synthesis of Drought Effects on Cereal, Legume, Tuber and Root Crops Production: A Review. *Agricultural Water Management*, 179(1), 18-33.
- Diriwaechter, G. y Parbery, D. G. (1991). Infection of Potato by *Spongospora subterranea*. *Mycological Research*, 95(6), 762-764.
- Duarte, V., Boer, S. H. de, Ward, L. J., Oliveira, A. M. de (2004). Characterization of Atypical *Erwinia carotovora* Strains Causing Blackleg of Potato in Brazil. *Journal Applied Microbiology*, 96(3), 535-545.
- Fageria, N., Barbosa, M. P., Moreira, A. y Guimarães, C. (2009). Foliar Fertilization of Crop Plants. *Journal of Plant Nutrition*, 32(6), 1044-1064.
- Fernandes, A., Soratto, R., Souza, E. y Job, A. (2017). Nutrient Uptake and Removal by Potato Cultivars as Affected by Phosphate Fertilization of Soils With Different Levels of Phosphorus Availability. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 41(1), 81-104.
- Fernández, V. y Brown, P. (2013). Review: From Plant Surface to Plant Metabolism: The Uncertain Fate of Foliar-Applied Nutrients. *Frontiers in Plant Science*, 4(289), 2-6.
- Fondo Nacional de Fomento de la Papa [FNFP] (2016). *Informe de gestión 2016*. Recuperado de <https://fedepapa.com/LEY%20DE%20TRANSPARENCIA/INFORMES%20DE%20GESTION/INFORME%20DE%20GESTI%20N%20FNFP%20ANUAL%202016.pdf>.
- Forster, H., Cummings, M. P. y Coffey, M. D. (2000). Phylogenetic Relationships of *Phytophthora* Species Based on Ribosomal ITS, DNA Sequence Analysis With Emphasis on Waterhouse Groups V and VI. *Mycological Research*, 104(9), 1055-1061.
- Fry, W. E. (2008). *Phytophthora infestans*: The Plant (and R Gene) Destroyer. *Molecular Plant Pathology*, 9(3), 385-402.
- Fry, W. E. y Goodwin, S. B. (1995). Recent migrations of *Phytophthora infestans*. En L. J. Dowley, E. Bannon, R. L. Cooke, T. Keane y E. Andosullivan (Eds.), *Phytophthora infestans* (pp. 89-95). Dublin, Irlanda: Boole Press.

- Gallegos, P., Asaquibay, C., Freire, M. y Williams, R. (2002). *Conozca la forma de alimentación y control del adulto del gusano blanco (Premnotrypes vorax) en el cultivo de papa*. Quito, Ecuador: Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).
- Gallegos, P., Ávalos, G. y Castillo, C. (1997). *Gusano blanco (Premnotrypes vorax) en el Ecuador: comportamiento y control*. Quito, Ecuador: Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).
- Geary, B., Clark, J., Hopkins, B. G. y Jolley, V. D. (2015). Deficient, Adequate and Excess Nitrogen Levels Established in Hydroponics for Biotic and Abiotic Stress-Interaction Studies in Potato. *Journal of Plant Nutrition*, 38(1), 41-50.
- Ghislain, M., Andrade, D., Rodríguez, F., Hijmans, R. y Spooner, D. (2006). Genetic Analysis of the Cultivated Potato *Solanum tuberosum* L. Phureja Group Using RAPDs and Nuclear SSRs. *Theoretical and Applied Genetics*, 113(8), 1515-1527.
- Gómez, M., Magnitskiy, S., Rodríguez, L. E. y Darghan, E. (2017). Accumulation of N, P, and K in the Tubers of Potato (*Solanum tuberosum* L. subsp. andigena) Under Contrasting Soils of the Andean Region of Colombia. *Agronomía Colombiana*, 35(1), 59-67.
- Gómez, M. y Torres, P. (2012). Absorción, extracción y manejo nutricional del cultivo de papa. *Revista Papa*, (26), 20-25.
- Goodwin, S. B., Cohen, B. A. y Fry, W. E. (1994). Pan Global Distribution of a Single Clonal Lineage of the Irish Potato Famine Fungus. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 91(24), 11591-11595. EE. UU.
- Guédez, C., Cañizales, L., Castillo, C. y Olivar, R. (2009). Microflora asociada a dos sustratos orgánicos y su efecto en el control de *Rhizoctonia solani* Kuhn. *Agronomía Colombiana*, 27(3), 395-399.
- Guerra, M., Fullen, M., Jorge, J., Rodríguez, J., Bezerra, P. y Shokr, S. (2017). Slope Processes, Mass Movement and Soil Erosion: Review. *Pedosphere*, 27(1), 27-41.
- Guerrero, O. (1994). *Principales enfermedades del cultivo de la papa. Manejo y control* [Boletín Técnico n.º 228]. Corpoica, Centro de Investigación Obonuco, Pasto, Colombia.
- Hawkes, J. G. (1990). *The Potato Evolution, Biodiversity and Genetic Resource*. Washington, EE. UU.: Smithsonian Institution Press.

- Hernández-Guzmán, A. K. y Guzmán-Barney, M. (2014). Detección del virus del amarillamiento de las nervaduras de la hoja de la papa en diferentes órganos de *Solanum tuberosum* Grupo Phureja cv Criolla Colombia utilizando RT-PCR convencional y en tiempo real. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 16(1), 74-85. doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v16n1.44226
- Herrera, A., y Rodríguez, L. E. (2012). *Tecnologías de producción y transformación de papa criolla*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Herrera, F. (1997). *El gusano blanco de la papa. Biología, comportamiento y prácticas de manejo integrado* [Cartilla divulgativa]. Mosquera, Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) y Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Herrera, F. (1998). *La polilla guatemalteca de la papa. Biología, comportamiento y prácticas de manejo integrado* (2ª Ed). Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y Fedepapa.
- Hilje-Quiroz, L. (1994). Caracterización del daño de las polillas de la papa, *Tecia solanivora* y *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae) en Cartago, Costa Rica. *Manejo Integrado de Plagas*, (31), 43-46.
- Hirschi, K. D. (2004). The Calcium Conundrum. Both Versatile Nutrient and Specific Signal. *Plant Physiology*, 136(1), 2438-2442. doi.org/10.1104/pp.104.046490.
- Hoyos, L., Villegas, M. y González, E. P. (2009). Observaciones histológicas de estructuras celulares asociadas a *Spongospora subterranea* f sp. subterranea en papa. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 62(2), 5039-5045.
- Huamán, Z. (1986). *Botánica sistemática y morfología de la papa* [Boletín de Información Técnica n.º 6]. Lima, Perú: Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Huamán, Z. (2008). *Descriptor morfológicos de la papa (Solanum tuberosum L.)*. Cabildo de Tenerife, España: Centro de Conservación de la Biodiversidad Agrícola (CCBAT).
- Huamán, Z. y Spooner, D. (2002). Reclassification of landrace populations of cultivated potatoes (*Solanum* sect. *Petota*). *American Journal of Botany*, 89(6), 947-965.
- Inostroza, P. y Méndez, P. (2009). Preparación del suelo. En J. Inostroza (Ed.), *Manual de papa para la araucanía: manejo y plantación*. Temuco, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Ministerio de Agricultura.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA] (1992). *Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación. Manual de Asistencia Técnica n.º 25*. Bogotá, Colombia: Autor.

- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA] (2011). *Manejo fitosanitario del cultivo de la papa (Solanum tuberosum subsp. andigena y S. phureja). Medidas para la temporada invernal*. Bogotá, Colombia: Produmedios. Recuperado de <https://www.ica.gov.co/getattachment/b2645c33-d4b4-4d9d-84ac-197c55e7d3d0/Manejofitosanitario-del-cultivo-de-la-papa-nbsp;-.aspx>.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC] (2000). *Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Cundinamarca* (pp. 441-443). Bogotá, Colombia: Color Press.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC] (2017). *Guía de muestreo. Laboratorio de suelos*. Recuperado de <https://www.igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/guiademuestreo.pdf>.
- Jaramillo, S. y Botero, J. (2007). Respuesta de diferentes poblaciones de *Spongopora subterranea* f. sp. *subterranea* a la rotación entre dos variedades de papa (*Solanum tuberosum* subsp. *andigena*). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 60(2), 3859-3876.
- Keiser, A., Häberli, M. y Stamp, P. (2012). Quality Deficiencies on Potato (*Solanum tuberosum* L.) Tubers Caused by *Rhizoctonia solani*, Wireworms (*Agriotes* spp.) and Slugs (*Deroceras reticulatum*, *Arion hortensis*) in Different Farming Systems. *Field Crops Research*, 128, 147-155. doi.org/10.1016/j.fcr.2012.01.004.
- Kaiser, D. y Rossen, C. (2018). *Symptoms of Potassium Deficiency*. Recuperado de <https://extension.umn.edu/phosphorus-and-potassium/potassium-crop-production#potato-598313>.
- Karasev, A. V. (2000). Genetic Diversity and Evolution of Closteroviruses. *Annual Reviews of Phytopathology*, 38, 293-324.
- Kavvadias, V., Paschalidis, C., Akrivos, G. y Petropoulos, D. (2012). Nitrogen and Potassium Fertilization Responses of Potato (*Solanum tuberosum*) cv. Spunta. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 43(2), 176-189.
- Ketterings, Q., Klausner, S. D. y Czymmek, K. J. (2003). *Nitrogen Guidelines for Field Crops in New York* (2ª ed.). Nueva York, EE. UU.: Department of Crop and Soil Extension Series E03-16.
- Khan, R., Khan, I., Muzammil, M., Ashraf, U., Samin, G., Anwer, A., Adnan, M. y Bashir, M. (2015). Phosphorous and Foliar Applied Nitrogen Improved Productivity and Quality of Potato, *American Journal of Plant Sciences*, 6(1), 144-149.
- Krauss, A. y Marschner, H. (1982). Influence of Nitrogen Nutrition, Daylength and Temperature on Contents of Gibberellic and Absciscic Acid and on Tuberization in Potato Plants. *Potato Research*, 25(1), 13-21.

- Lahlali, R. y Hijri, M. (2010). Screening, Identification and Evaluation of Potential Biocontrol Fungal Endophytes Against *Rhizoctonia solani* AG3 on Potato Plants. *FEMS Microbiology Letters*, 311(2), 152-159.
- López-Ávila, A. y Espitia E. (2000). *Plagas y benéficos del cultivo de la papa en Colombia* [Boletín técnico divulgativo]. Bogotá, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) y Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria (Pronatta).
- López-Ávila, A. y Barreto-Triana, N. (2004). *Generación de componentes tecnológicos para el manejo integrado de la Polilla Guatemalteca de la papa Tecia solanivora (Povolny) con base en el conocimiento de la biología, comportamiento y dinámica de población de la plaga* [Informe técnico]. Bogotá, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) y Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria (Pronatta).
- Luz, J., Queiroz, A., Borges, M., Oliveira, R., Leite, S. y Cardoso, R. (2013). Influence of phosphate fertilization on phosphorus levels in foliage and tuber yield of the potato cv. Ágata. *Semina: Ciências Agrárias*, 34(1), 649-656.
- Marin, J. (1978). *El fósforo en el suelo. Los suelos y su fertilidad*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).
- Marshner, P. (2012). *Mineral Nutrition of Higher Plants* (2ª ed.). Londres, Reino Unido: Academic Press.
- Molina, E. (2002). Cálculo de disoluciones y calidad de agua. En G. Meléndez y E. Molina (Eds.), *Memorias del Seminario de Capacitación sobre "Fertilización foliar: principios y aplicaciones"* (pp. 26-34). San José, Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS).
- Montesdeoca, F. (2005). *Guía para la producción, comercialización y uso de semilla de papa de calidad*. Quito, Ecuador: PNRT, Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Proyecto Fortipapa.
- Montesdeoca, F., Narváez, G., Mora, E. y Benítez, J. (2006). *Manual de control interno de calidad (CIC) en tubérculo - semilla de papa*. Quito, Ecuador: Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).
- Montesdeoca, F., Panchi, N., Navarrete, I., Pallo, E., Yumisaca, F., Taipe, A., Espinoza, S. y Andrade-Piedra, J. (2013). *Guía fotográfica de las principales plagas del cultivo de la papa en Ecuador*. Quito, Ecuador. Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Morales, J. M. y Cardona, C. (2006). *Manejo integrado de las enfermedades de plantas causadas por virus transmitidos por moscas blancas*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

- Moreno, D. L. (2017). *Respuesta fisiológica y bioquímica en cuatro variedades de papa criolla (Solanum tuberosum L. Grupo Phureja) a condiciones de sequía* [Tesis de Maestría]. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Mortvedt, J. J., Murphy, L. S. y Follett, R. H. (1999). *Fertilizer Technology and Application*. Ohio, EE. UU.: Meister Publishing Company.
- Mun, H. S., Oh, E. J., Kim, H. J., Lee, K. H., Kon, Y. H., Kim, C. J., Hyun, J. W. y Kin, B. J. (2007). Differentiation of *Streptomyces* spp. Which Cause Potato Scab Disease on the Basis of Partial rPoB Gene Sequences. *Systematic and Applied Microbiology*, 30(5), 401-407.
- Muñoz, G. y Andrade, O. (2008). El carbón de la papa. INIA Tierra Adentro (edición de julio-agosto, pp. 14-16). Recuperado de <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/ta/NR35005.pdf>.
- Ñústez, C. E. (2008a). (Fotógrafo). *Cultivo de papa con alta incidencia y severidad de daño por Phytophthora infestans* [Fotografía]. Villapinzón (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2008b). (Fotógrafo). *Hojas de la variedad Criolla Colombia* [Fotografía]. Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2009a). (Fotógrafo). *Cosecha de papa criolla*. [Fotografía]. Une (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2009b). (Fotógrafo). *Lesión de la "gota" en tallo de papa* [Fotografía]. Villapinzón (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2009c). (Fotógrafo). *Raíces de la variedad Criolla Colombia afectados por Spongospora subterranea (camanduleo)* [Fotografía]. Une (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2009d). (Fotógrafo). *Tubérculos sanos de la variedad Criolla Colombia* [Fotografía]. Une (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2011a). *Variedades colombianas de papa*. Bogotá, Colombia: Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia.
- Ñústez, C. E. (2011b). (Fotógrafo). *Síntoma de pierna negra causada por bacterias del género Pectobacterium spp.* [Fotografías]. Guasca (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2011c). (Fotógrafo). *Síntoma en la parte aérea de la planta de papa, causada por bacterias del género Pectobacterium spp.* [Fotografías]. Guasca (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2012). (Fotógrafo). *Pupas de Tecia solanivora P. sobre tubérculo de papa en condiciones de almacenamiento* [Fotografía]. Bogotá. D. C.

- Ñústez, C. E. (2013). (Fotógrafo). *Trampa artesanal de feromona para captura de machos de Tecia solanivora P. utilizada en campo por un agricultor* [Fotografía]. Villapinzón (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2015a). (Fotógrafo). *Síntoma de roña o sarna polvosa (Spongospora subterranea) en tubérculo de papa criolla variedad Criolla Colombia* [Fotografía]. Villapinzón (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2015b). (Fotógrafo). *Tubérculos de la variedad Criolla Colombia con afectaciones por roña (S. subterranea), no aptos para ser utilizados como semilla* [Fotografía]. Villapinzón (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2017a). (Fotógrafo). *Larva de último instar de gusano blanco (Premnotrypes vorax H.) cuando sale a pupar.* [Fotografía]. Villapinzón (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2017b). (Fotógrafo). *Versión de herramienta utilizada en cosecha a la cual se le conoce con el nombre de “gancho”.* [Fotografía]. Une (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2018a). (Fotógrafo). *Detalle de la lesión por sarna común (Streptomyces spp), en corte transversal de tubérculos de la variedad Criolla Dorada* [Fotografía]. Mosquera (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2018b). (Fotógrafo). *Galerías dentro del tubérculo por daño de Tecia solanivora P. en papa criolla* [Fotografía]. Villapinzón (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2018c). (Fotógrafo). *Larva viva en crecimiento de Tecia solanivora P. dentro de tubérculo de la variedad Paola* [Fotografía]. Bogotá, D. C.
- Ñústez, C. E. (2018d). (Fotógrafo). *Síntoma externo de presencia de galerías por daño de Tecia solanivora P. en tubérculos de papa criolla* [Fotografía]. Villapinzón (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2018e). (Fotógrafo). *Tubérculo con lenticelas prominentes por exceso de humedad* [Fotografía]. Bogotá D.C (Mercado).
- Ñústez, C. E. (2018f). (Fotógrafo). *Tubérculos con manchado por crecimiento y necrosis de lenticelas cuando el tubérculo crece con exceso de humedad* [Fotografía]. Bogotá, D. C. Mercado.
- Ñústez, C. E. (2018g). (Fotógrafo). *Tubérculos de la variedad Criolla Dorada con afectación por sarna común (Streptomyces spp), no aptos para ser utilizados como semilla* [Fotografía]. Mosquera (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2018h). (Fotógrafo). *Tubérculos de la variedad Criolla Colombia con su brillo de piel característico luego de cosecha* [Fotografía]. Bogotá, D. C. Mercado.
- Ñústez, C. E. (2018i). (Fotógrafo). *Tubérculos de la variedad Criolla Dorada con lesiones superficiales de sarna común (Streptomyces spp)* [Fotografía]. Mosquera (Cundinamarca, Colombia).

- Ñústez, C. E. (2019a). (Fotógrafo). *Adultos de pulguilla (Epirix spp.) causando daño en hojas de papa criolla* [Fotografías]. Villapinzón (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2019b). (Fotógrafo). *Daño de gusano blanco (Premnotrypes vorax H.) en tubérculo* [Fotografía]. Sibaté (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2019c). (Fotógrafo). *Defoliación en plantas jóvenes de papa causada por pulguilla (Epirix spp.)* [Fotografías]. Villapinzón (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2019d). (Fotógrafo). *Síntoma y esporulación de la "gota" (P. infestans) en el envés de la hoja de papa* [Fotografía]. Villapinzón (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2019e). (Fotógrafo). *Síntomas de enrollamiento de foliolos apicales en la planta de papa criolla causados por Rhizoctonia solani* [Fotografía]. Sibaté (Cundinamarca, Colombia).
- Ochoa, C. M. (2001). *Las Papas de Sudamérica: Bolivia*. Lima, Perú: Instituto Francés de Estudios Andinos (IFEA).
- Patiño, E., Villegas, S., Santamaría, L. y Cotes, J. (2009). Respuesta de la papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Diacol Capiro a la fertilización en un andisol del oriente antioqueño, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 62(2), 5099-5110.
- Peña, C. (2015). *Evaluación del contenido nutricional y actividad antioxidante en Solanum tuberosum Grupo Phureja* [Tesis de Maestría]. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Peña, L., Yepes, B., Bolaños, M., Mena, J. y Enríquez, J. (2000). *Hongos entomopatógenos para el manejo del gusano blanco (Premnotrypes vorax) de la papa* [Boletín técnico n.º 15]. Pasto, Colombia: Corpoica.
- Pérez, L., Rodríguez, L., Gómez, M. (2008). Efecto del fraccionamiento de la fertilización con N, P, K y Mg y la aplicación de los micronutrientes B, Mn y Zn en el rendimiento y calidad de papa criolla (*Solanum phureja*) variedad Criolla Colombia. *Agronomía Colombiana*, 26(3), 477-486.
- Pérez, P., Garza, J. y Argüelles-Cárdenas, J. (2009). Método de cría en laboratorio del gusano blanco de la papa *Premnotrypes vorax* (Coleoptera: Curculionidae). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 10 (1), 16-23.
- Pérez, R., Argüelles, J. y Aguilera, E. (2010). Distribución espacial de *Premnotrypes vorax* (Hustache) (Coleoptera: Curculionidae) en cultivos de papa. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 11(1), 11-20.
- Pérez, W. G. y Forbes, G. (2008). *Manual técnico. El tizón tardío de la papa*. Lima, Perú: Centro Internacional de la Papa (CIP), Departamento de Comunicación y Difusión.

- Pérez-Otero, R., Nicolas, R. y Mansilla, P. (2010). *Epitrix similis* Gentner, *pulguilla de la patata*. Pontevedra, España: Estación Fitopatológica do Areeiro, Deputación de Pontevedra. Recuperado de [http://www.efa-dip.org/comun/publicaciones/FTecnicas/Download/Ficha54\\_Epitrix.pdf](http://www.efa-dip.org/comun/publicaciones/FTecnicas/Download/Ficha54_Epitrix.pdf)
- Plantwise (2016). (Fotógrafo). *Adulto T. Solanivora (CIP)* [Fotografía]. Recuperada de <https://www.plantwise.org/KnowledgeBank/pmdg/20167800923>.
- Pozo, A. y Zambrano, J. (2001). *Tecia solanivora* en el Ecuador. En T. Ames y M. Palacio (Eds.), *Memorias I Taller Internacional sobre Prevención y Control de la Polilla Guatemalteca de la Papa* (pp. 11-14). SENASA-CIP, Lima, Perú.
- Reich, M. (2017). NPK Deficiency Modulates Oxidative Stress in Plants. En M. Hossain, T. Kamiya, D. Burritt, L. S. Phan y T. Fujiwara (Eds.), *Plant Macronutrient Use Efficiency* (pp. 245-265). Londres, Reino Unido: Academic Press.
- Resolución 3168 de 2015 [Instituto Colombiano Agropecuario-ICA]. Colombia. Por medio de la cual se reglamenta y controla la producción, importación y exportación de semillas producto del mejoramiento genético para la comercialización y siembra en el país, así como el registro de las unidades de evaluación agronómica y/o unidades de investigación en fitomejoramiento y se dictan otras disposiciones. Septiembre 7 de 2015. Recuperada de <https://www.ica.gov.co/getattachment/4e8c3698-8fcb-4e42-80e7-a6c7acde9bf8/2015R3168.aspx>
- Rivera, J., Herrera, A. y Rodríguez, L. E. (2006). Evaluación sensorial en productos procesados de papa criolla (*Solanum phureja* Juz. et Buk.) y su importancia para el fitomejoramiento. *Fitotecnia Colombiana*, 6(2), 9-25.
- Rodríguez, L. E. (2007a). (Fotógrafo). *Brotos subterráneos de papa criolla con presencia de chancros causados por R. solani* [Fotografía]. Subachoque (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2007b). (Fotógrafo). *Detalle de la diferenciación e inicio de crecimiento del tubérculo de papa criolla*. [Fotografías]. Subachoque (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2007c). (Fotógrafo). *Estolones iniciando diferenciación a tubérculo en papa criolla*. [Fotografías]. Subachoque (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2007d). (Fotógrafo). *Parte terminal de los estolones en variedad Criolla Dorada* [Fotografía]. Subachoque (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2007e). (Fotógrafo). *Raíces de papa criolla* [Fotografía]. Subachoque (Cundinamarca, Colombia).

- Rodríguez, L. E. (2007f). (Fotógrafo). *Semillas en la placenta del fruto de papa* [Fotografía]. Subachoque (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2007g). (Fotógrafo). *Tubérculo semilla con adecuada brotación para siembra* [Fotografía]. Subachoque (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2008a). (Fotógrafo). *Flor emasculada, huella de los estambres y gineceo receptivo previo a la polinización* [Fotografía]. Subachoque (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2008b). (Fotógrafo). *Fruto en desarrollo de papa (baya)*. [Fotografía]. Subachoque (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2009). (Fotógrafo). *Planta de papa con síntomas del virus del amarillamiento de las nervaduras de papa (PVV) variedad Criolla Colombia* [Fotografía]. Subachoque (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2010a). (Fotógrafo). *Aplicación de insecticida y fungicida al fondo del surco en el momento de la siembra* [Fotografía]. El Rosal (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2010b). (Fotógrafo). *Cultivo de papa criolla con aplicación de herbicida selectivo después del aporque* [Fotografía]. Subachoque (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2010c). (Fotógrafo). *Labor de aporque utilizando tracción mecánica* [Fotografía]. El Rosal (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2010d). (Fotógrafo). *Labor de aporque utilizando tracción mecánica* [Fotografía]. El Rosal (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2010e). (Fotógrafo). *Labor de repaso con azadón después del aporque mecánico* [Fotografía]. El Rosal (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2010f). (Fotógrafo). *Siembra mecanizada en la variedad Criolla Colombia* [Fotografía]. El Rosal (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2011a). (Fotógrafo). *Clorosis en los bordes de los folíolos por efecto de frío* [Fotografía]. Subachoque (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2011b). (Fotógrafo). *Detalle de agallas causadas por *S. subterranea* en raíces de papa criolla*. [Fotografía]. Subachoque (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2011c). (Fotógrafo). *Efecto de estrés por frío en variedad Criolla Colombia sembrada a 3300 m s. n. m.* [Fotografía]. Subachoque (Cundinamarca, Colombia).

- Rodríguez, L. E. (2011d). (Fotógrafo). *Foliolos deformes efecto de estrés por frío* [Fotografía]. Subachoque (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2011e). (Fotógrafo). *Lesiones leves en tubérculos de papa criolla causadas por Streptomyces scabies* [Fotografía]. Subachoque (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2011f). (Fotógrafo). *Lesiones severas en tubérculos de papa criolla causadas por Streptomyces scabies* [Fotografía]. Subachoque (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2011g). (Fotógrafo). *Tallo principal en desarrollo en planta de papa* [Fotografía]. Subachoque (Cundinamarca, Colombia). Fig 1b:
- Rodríguez, L. E. (2011h). (Fotógrafo). *Tapado de la semilla con azadón* [Fotografía]. Subachoque (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2011i). (Fotógrafo). *Tapado de la semilla utilizando un tablón y tracción mecánica* [Fotografías]. El Rosal (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2011j). (Fotógrafo). *Tubérculo manchado por exceso de humedad (mancha de agua) variedad Criolla Colombia* [Fotografía]. Subachoque (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2011k). (Fotógrafo). *Tubérculo semilla sano de la variedad Criolla Colombia* [Fotografía]. Subachoque (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2011l). (Fotógrafo). *Tubérculos de papa variedad Criolla Colombia con malformaciones por cambios en el régimen hídrico del cultivo* [Fotografías]. Zipacón (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2012). (Fotógrafo). *Tapado de la semilla con ganchos* [Fotografía]. Subachoque (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2013). (Fotógrafo). *Tubérculos de papa criolla con madurez de cosecha* [Fotografía]. El Rosal (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2014a). (Fotógrafo). *Cultivo en floración establecido con siembra mecanizada* [Fotografía]. El Rosal (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2014b). (Fotógrafo). *Desarrollo de nuevas hojas sin síntomas de daño por frío cuando el estrés pasa* [Fotografía]. Subachoque (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2014c). (Fotógrafo). *Inflorescencia variedad Criolla Ocarina* [Fotografía]. Subachoque (Cundinamarca, Colombia).

- Rodríguez, L. E. (2014d). (Fotógrafo). *Lote de papa criolla con siembra mecanizada utilizando semilla gruesa y tubérculo único por sitio. Emergencia uniforme*. [Fotografías]. El Rosal (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2014e). (Fotógrafo). *Tubérculos semilla calidad super élite variedad Criolla Dorada* [Fotografía]. Pasto (Nariño).
- Rodríguez, L. E. (2015a). (Fotógrafo). *Detalle de síntoma severo en hoja del virus del amarillamiento de las nervaduras de papa (PYV) variedad Criolla Colombia* [Fotografías]. Subachoque (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2015b). (Fotógrafo). *Efecto del estrés por déficit hídrico en cultivo de variedad Criolla Ocarina* [Fotografía]. Subachoque (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2015c). (Fotógrafo). *Siembra con aplicación de gallinaza sin completo compostaje al fondo del surco (práctica no recomendada)* [Fotografía]. El Rosal (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2015d). (Fotógrafo). *Siembra de varios tubérculos semilla por sitio al momento de la siembra, práctica no recomendada* [Fotografía]. El Rosal (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2016a). (Fotógrafo). *Efecto del estrés por exceso de humedad en variedad Criolla Colombia* [Fotografía]. Subachoque (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2016b). (Fotógrafo). *Labor de aporque utilizando arado y tracción animal* [Fotografía]. Subachoque (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2016c). (Fotógrafo). *Tapado de la semilla con suelo muy húmedo (Práctica no recomendada)* [Fotografía]. El Rosal (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2017a). (Fotógrafo). *Corte de agallas causadas por T. solani con la evidencia de estrias y puntos de color negro de apariencia carbonosa* [Fotografía]. Zipacón (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2017b). (Fotógrafo). *Siembra de tubérculo por sitio –variedad Criolla Colombia– al momento de la siembra* [Fotografía]. El Rosal (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2017c). (Fotógrafo). *Siembra manual con semilla única por sitio y densidad correcta variedad Criolla Colombia* [Fotografía]. Zipacón (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2017d). (Fotógrafo). *Tapado de la semilla con arado de tracción animal* [Fotografía]. Zipacón (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2017e). (Fotógrafo). *Tumores y agallas en tubérculos y en la base del tallo en papa variedad Criolla Colombia causados por Tecaphora solani* [Fotografías]. Zipacón (Cundinamarca, Colombia).

- Rodríguez, L. E. (2018a). (Fotógrafo). *Amarre manual del bulto de papa criolla*. [Fotografía]. Subachoque, Cundinamarca, Colombia.
- Rodríguez, L. E. (2018b). (Fotógrafo). *Cultivo de papa criolla recién realizado el aporque y el control de malezas*. [Fotografía]. Subachoque (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2018c). (Fotógrafo). *Labor de aporque manual* [Fotografía]. Subachoque, Cundinamarca, Colombia.
- Rodríguez, L. E. (2018d). (Fotógrafo). *Labor de cargue de la papa cosechada en campo al camión para llevarla a comercialización* [Fotografía]. Subachoque, Cundinamarca, Colombia.
- Rodríguez, L. E. (2018e). (Fotógrafo). *Pala o azadón de cabo corto, utilizado para realizar la labor de aporque manual* [Fotografía]. Subachoque (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E. (2018f). (Fotógrafo). *Papa criolla cosechada y empacada en bulto de 50 kg en campo* [Fotografía]. Subachoque (Cundinamarca, Colombia).
- Rodríguez, L. E., Núñez, C. E. y Estrada, N. (2009). *Criolla latina, Criolla Paisa y Criolla Colombia, nuevos cultivares de papa criolla para el departamento de Antioquia (Colombia)*. *Agronomía Colombiana*, 27(3), 289-303.
- Salazar, L., Müller, G., Querci, M., Zapata, J. y Owens, R. (2000). *Potato Yellow Vein Virus. Its Host Range, Distribution in South America and Identification as a Crinivirus Transmitted by Trialeurodes vaporariorum*. *Annals of Applied Biology*, (137), 7-19.
- Santos, M. (2010). *Evaluación del crecimiento, desarrollo y componentes de rendimiento de cuatro cultivares de papa criolla en dos localidades del departamento de Cundinamarca* [Tesis de Maestría]. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Sañudo, B. y Betancourth, C. (2001). *Manejo del carbón de la papa en el departamento de Nariño*. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 18(2), 62-71.
- Secretaría Técnica del Consejo Nacional de la Papa (2019). *Documentos internos de trabajo de la Cadena Productiva de Papa y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural*.
- Sepúlveda, P., López, H. y Núñez, D. (2000). *Efecto de diferentes niveles de humedad en el suelo sobre el desarrollo del carbón de la papa (*Angiosorus solani*) en dos variedades de papa (*Solanum tuberosum*) bajo condiciones de invernadero*. *Agricultura Técnica*, 60(4), 313-319. <http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072000000400001>

- Silva, B., Jaramillo, S. y Marín, M. (2009). Caracterización genética de aislamientos de *Phytophthora infestans* en las zonas productoras de papa de los departamentos de Antioquia, Boyacá, Cundinamarca y Norte de Santander (Colombia). *Actualidades Biológicas*, 31(90), 5-20.
- Sistema de Información de Precios [SIPSA] (2019). *Precios mayorista series históricas*. Recuperado de <https://www.dane.gov.co/index.php/servicios-al-ciudadano/servicios-informacion/sipsa>.
- Smart, C. D., Sandrock, R. W. y Fry, W. (2000). Molecular Techniques and Mystery of the Potato Late Blight Pathogen. En G. Tacey y N. Keen (Eds.), *Plant-Microbe Interactions*. Nueva York, EE. UU.: American Phytopathology Society (APS) Press.
- Spooner, M., Núñez, J., Trujillo, G., Herrera, M., Guzmán, F. y Ghislain, M. (2007). Extensive Simple Sequence Repeat Genotyping of Potato Landraces Supports a Major Reevaluation of Their Gene Pool Structure and Classification. *PNAS*, 104(49), 19398-19403.
- Taiz, L. y Zeiger, E. (2006). *Plant physiology* (2ª ed.). Sunderland, Massachusetts, EE. UU.: Sinauer Associates Publisher.
- Torres, F. (1998). *Biología y manejo integrado de la polilla centroamericana de la papa Tecia solanivora en Venezuela*. Maracay, Venezuela: Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias-Fundación para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología del Estado de Táchira.
- Torres, L., Gallegos, P., Castillo, C. y Asaquibay, C. (2013). *Manejo de gusano blanco*. Quito, Ecuador: Centro Internacional de la Papa (CIP) e Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Recuperado de <https://cipotato.org/es/region-quito-2/manejo-de-gusano-blanco-3/>
- Trujillo, E., Ríos, D. y Cabrera, R. (2004). Distribución de *Tecia solanivora* (Povolny) (Lepidoptera: Gelechiidae) en Tenerife, Islas Canarias, España. En A. Pollet, G. Onore, F. Chamarra y A. Barragán (Eds.), *Memorias II Taller Internacional de Polilla Guatemalteca (Tecia solanivora), Avances en investigación y manejo integrado de la plaga* (pp. 191-192). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador. Recuperado de [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers11-03/010036182.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-03/010036182.pdf).
- Universidad Nacional de Colombia (2017). *¿Cómo tomar muestras de suelos, aguas y tejido vegetal?* Recuperado de [http://www.cienciasagrarias.bogota.unal.edu.co/sites/default/files/ Docs/protocolo\\_aguas\\_y\\_suelos\\_-\\_como\\_tomar\\_muestras.pdf](http://www.cienciasagrarias.bogota.unal.edu.co/sites/default/files/Docs/protocolo_aguas_y_suelos_-_como_tomar_muestras.pdf).

- Valencia, L. (1989a). El gusano blanco de la papa. *Premnotrypes vorax* (Hustache) en Colombia. Comportamiento de adultos en el campo. *Revista Latinoamericana de la Papa*, (2), 57-70.
- Valencia, L. (1989b). El gusano blanco de la papa. *Premnotrypes vorax* (Hustache) en Colombia: Fluctuación de poblaciones de larvas en el campo. *Revista Latinoamericana de la Papa*, (2), 71-76.
- Van de Graff, P., Wale, S. J. y Lees, A. K. (2007). Factors Affecting the Incidence and Severity of *Spongospora subterranea* Infection and Galling in Potato Roots. *Plant Pathology*, 56(6), 1005-1013.
- Vargas-Berdugo, A. M. (2010). *Respuesta de la colección central colombiana de Solanum phureja de la Universidad Nacional de Colombia a la infección con Potato Yellow Vein Virus (PYVV)* [Tesis de Maestría]. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Villa, P. M. y León, R. (2009). Actividad fungicida del extracto acuoso de *Tagetes erecta* sobre el crecimiento de *Rhizoctonia solani* en el cultivo de la papa. *INIA HOY*, (4), 67-70. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA).
- Viola, R., Roberts, A. G., Haupt, S., Gazzani, S., Hancock, R. D., Marmioli, N., Machray, G. C. y Oparkab, K. J. (2001). Tuberization in Potato Involves a Switch from Apoplastic to Symplastic Phloem Unloading. *The Plant Cell*, 13(2), 385-398. <https://doi.org/10.1105/tpc.13.2.385>.
- Wale, S. J. (2000). Summary of the Session on National Potato Production and the Powdery Scab Situation. En U. Merz y A. K. Lees (Eds.), *Proceedings of the First European Powdery Scab Workshop* (pp. 3-9). Aberdeen, Escocia: Scottish Crop Research Institute.
- Westermann, D. T. (2005). Nutritional Requirements of Potatoes. *American Journal of Potato Research*, 82(4), 301-307.
- White, P. y Broadley, M. (2003). Calcium in plants. *Annals of Botany*, 92(4), 487-511.
- Zapata, J. L. (2009). Manejo Integrado de las principales enfermedades de la papa en Antioquia. En Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica] (Comp.), *Memorias Escuela Campesina de Agricultores Vereda Roblalito-B - Sonsón* (pp. 24-38). Corpoica, Centro de Investigación La Selva, Rionegro, Antioquia. Recuperado de <https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/35597/Escuelas%20campesinas%20de%20agricultores%20vereda%20roblalito%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Zapata, J. L., Navas, G., Tamayo, A. y Díaz, C. (2006). *Manejo agronómico de la papa criolla para el procesamiento industrial* [Boletín Técnico n.º 19]. Rionegro (Antioquia), Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Centro de Investigación La Selva.

- Zapata J. L., Saldarriaga, A. y Salazar, L. F. (2004). El amarillamiento de venas de la papa [Boletín Técnico 21]. Antioquia, Colombia: Corpoica, Centro de Investigación La Selva.
- Zhang, T. y Lin, X. (2016). Assessing Future Drought Impacts on Yields Based on Historical Irrigation Reaction to Drought for Four Major Crops in Kansas. *Science of the Total Environment*, (550), 851-860.

Este manual se imprimió  
por DGP Editores S.A.S  
usando tipos Ancizar  
en enero de 2024  
Bogotá (Colombia)

El Corredor Tecnológico Agroindustrial (CTA) es una estrategia de cooperación entre Estado, sector productivo y academia, en la cual participan actores directivos del sector agropecuario y agroindustrial de Cundinamarca y Bogotá, D. C., con el fin de aunar esfuerzos en actividades de desarrollo y fortalecimiento de la ciencia, la tecnología y la innovación. Sus capacidades están orientadas a la formulación y ejecución de proyectos de carácter investigativo, que permitan la transferencia tecnológica al sector agropecuario y agroindustrial.

El presente documento es resultado del Subproyecto “Contribuyendo con la sostenibilidad del cultivo de papa: de Cundinamarca para Colombia”, desarrollado en el marco del Corredor Tecnológico Agroindustrial CTA-2, Proyecto “Investigación, desarrollo y transferencia tecnológica en el sector agropecuario y agroindustrial con el fin de mejorar todo el departamento, Cundinamarca, Centro Oriente”, suscrito por la Gobernación de Cundinamarca, a través de la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación; la Alcaldía de Bogotá, a través de la Secretaría Distrital de Desarrollo Económico; la Universidad Nacional de Colombia, y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA, antes Corpoica). El Corredor Tecnológico Agroindustrial CTA-2 es financiado con recursos del Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías.

ISBN: 978-958-505-491-2



9 789585 054912