

Papa de año

(*Solanum tuberosum* Grupo Andigenum)

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



Carlos Eduardo Núñez López
EDITOR

Convenio:



Gobernación de
Cundinamarca



Papa de año

(*Solanum tuberosum* Grupo Andigenum)

Papa de año

(*Solanum tuberosum* Grupo Andigenum)

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

Carlos Eduardo Núñez López

Editor

Convenio:



Gobernación de
Cundinamarca



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Catalogación en la publicación Universidad Nacional de Colombia

Papa de año (*Solanum tuberosum* Grupo Andigenum) : manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca / Carlos Eduardo Núñez López, editor ; [autores, Carlos Eduardo Núñez López [y otros trece]]. -- Primera edición. -- Bogotá : Universidad Nacional de Colombia : Corredor Tecnológico Agroindustrial CTA-2, 2024.

1 recurso en línea (173 páginas) : ilustraciones (principalmente a color), diagramas, fotografías

Incluye referencias bibliográficas
ISBN 978-958-505-693-0 (digital)

1. Papas (Tubérculos) -- Cultivo -- Cundinamarca -- Colombia -- Manuales 2. *Solanum tuberosum* 3. Papas (Tubérculos) -- Abonos y fertilizantes -- Manuales 4. Papas (Tubérculos) -- Enfermedades y plagas -- Manuales 5. Control integrado de plagas 6. Papas (Tubérculos) -- Cosecha -- Manuales 7. Papas (Tubérculos) -- Rendimiento 8. Característica agronómica 9. Nutrición de cultivos 10. Papas (Tubérculos) -- Producción -- Manuales 11. Papas (Tubérculos) -- Comercio 12. Costos de producción 13. Hortalizas (plantas) 14. Hortalizas de raíz -- Cultivo -- Manuales 15. Planta de raíces comestibles 16. Manejo del cultivo 17. Técnicas de cultivo -- Manuales 18. Práctica agronómica 19. Agricultura -- Investigaciones -- Cundinamarca -- Colombia -- Manuales I. Núñez López, Carlos Eduardo, 1963-, editor, autor II. Título

CDD-23 635.21 / 2024

CORREDOR TECNOLÓGICO AGROINDUSTRIAL CTA-2
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, SEDE BOGOTÁ
Calle 44 N° 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

GESTOR DE CONTENIDOS:
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: Núñez-López, C. E. (Ed.). (2024). Papa de año (*Solanum tuberosum* Grupo Andigenum): 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: 978-958-505-692-3
ISBN digital: 978-958-505-693-0

CLÁUSULA DE RESPONSABILIDAD: El Corredor Tecnológico Agroindustrial - CTA-2 no es responsable de las opiniones e información contenidas en el presente documento. Los autores 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 declaran que no existe conflicto de interés con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, solo los autores 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-NoDeriv 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/g>

*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

Carolina Chica Builes

Directora de Economía Rural y Abastecimiento Alimentario

Universidad Nacional de Colombia

Vicerrectoría de Investigación

Teresa de Jesús Mosquera Vásquez

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
Astrid Milena Alarcón

Universidad Nacional de Colombia
Dirección de Investigación y Extensión – Sede Bogotá
Bethsy Támara Cárdenas Riaño
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
C. I. Tibaitatá

Directora de proyecto

Saira Maria Espinosa Sánchez

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 el de su fecha de publicación.

Contenido

Agradecimientos y colaboradores	15
Introducción	19
El cultivo de papa: revisión del contexto internacional y local.....	23
Área, producción y rendimiento	23
Exportaciones e importaciones de papa en Colombia.....	28
Variedades de papa de importancia en Cundinamarca.....	29
La semilla de calidad para el cultivo de papa.....	37
Morfología del tubérculo semilla	38
Morfología del brote	39
Componentes de calidad de la semilla de papa.....	40
Certificación de semilla de papa.....	53
Almacenamiento	60
Importancia de la semilla de calidad.....	62
Acceso a semilla de papa	63
Recomendaciones y perspectivas	65
Requerimientos y prácticas en el cultivo	67
Clima y suelos para el cultivo de papa	67
El agua en el cultivo.....	68
Preparación de suelo y siembra	69
Labores culturales en el cultivo.....	73

La fertilización en el cultivo.....	81
El sistema radicular de la papa.....	84
Nutrientes en el cultivo de la papa	85
Análisis de suelos.....	91
Recomendaciones de fertilización.....	94
Manejo integrado de enfermedades.....	105
Prácticas generales en el manejo integrado de enfermedades	106
“Gota” o tizón tardío (<i>Phytophthora infestans</i>)	107
Sarna polvosa y camanduleo (<i>Spongospora subterranea</i>)	110
Rizoctonias y costra negra (<i>Rhizoctonia solani</i>)	112
Alternaria o tizón temprano (<i>Alternaria solani</i>).....	115
Sarna común (<i>Streptomyces scabies</i>)	117
Virus del amarillamiento de las nervaduras de la papa (PYV)	118
Patanegra de la papa o pudrición negra (<i>Pectobacterium atrosepticum</i>)	119
Pudrición blanda de la papa (<i>Pectobacterium carotovorum</i>)	120
Mortaja blanca o papa salada (<i>Rosellinia</i> spp.)	121
Nematodo dorado de la papa (<i>Globodera rostochiensis</i>).....	122
Manejo integrado de plagas.....	125
Gusano blanco (<i>Premnotrypes vorax</i> H.).....	125
Minador o tostón de la papa (<i>Liriomyza</i> spp.)	128
Mosca blanca de la papa (<i>Trialeurodes vaporariorum</i> W.).....	130
Polilla guatemalteca de la papa (<i>Tecia solanivora</i> P.)	133
Pulguilla de la papa (<i>Epitrix</i> spp.).....	137
Tiroteador de la papa (<i>Naupactus</i> spp.)	138

Contexto socioeconómico del cultivo de papa en Cundinamarca	141
Introducción	141
Aproximación a algunos aspectos socioeconómica del productor de papa de Cundinamarca	142
El precio de la papa	145
Costos de producción.....	148
Canales de comercialización.....	150
Empleo en la cadena de la papa.....	153
Referencias bibliográficas	155

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:

- Wilmar Antonio Ariza Acebedo. Ingeniero agrónomo.
- David Eduardo Casallas Bautista. Ingeniero agrónomo.
- Pedro Alfonso Lizarazo Peña. Ingeniero agrónomo.
- María Margarita López Rodríguez. Ingeniera agrónoma.
- Paula Elisabeth Mesa Quijano. Ingeniera agrónoma.
- Juan Sebastián Navas Martínez. Ingeniero agrónomo.
- Germán Leonardo Ñustes Grisales. Ingeniero agrónomo.
- Manuel Alfonso Patiño Moscoso. Ingeniero agrónomo.
- Luis Daniel Pinzón Sierra. Ingeniero agrónomo.
- Sergio Manuel Rugeles Reyes. Ingeniero agrónomo.
- Christian David Vargas Baquero. Ingeniero agrónomo.
- Rafael Arley Vieda Hernández. Tecnólogo en producción agropecuaria ecológica.

La dirección del subproyecto “Contribuyendo con la sostenibilidad del cultivo de papa: de Cundinamarca para Colombia” y los directores de las propuestas de investigación y transferencia que se desarrollaron en el proyecto expresan agradecimiento especial:

A los agricultores con quienes se desarrollaron las Parcelas de Investigación Participativas Agropecuarias (PIPA):

- Sr. José Alfredo Salamanca Cortés, municipio de Subachoque.
- Sr. Noel Morales Vásquez, municipio de Subachoque.
- Sr. Héctor Augusto Figueredo, municipio de Villapinzón.
- Sr. Álvaro Gonzalo Rodríguez Arias, Bogotá, zona rural, localidad de Ciudad Bolívar.
- Sr. Javier Ramírez Moya, Bogotá, zona rural, localidades de Ciudad Bolívar y Usme.

A los agricultores con quienes se desarrollaron parcelas demostrativas:

- Sr. Guillermo Abril, municipio de Villapinzón.
- Sr. Jorge Humberto García L., municipio de Villapinzón.
- Sr. Nelson García Pinzón, municipio de Villapinzón.
- Sr. Carlos Orjuela, municipio de Villapinzón.
- Sr. Adolfo Alonso, municipio de Chocontá.
- Sr. José Tulio Murcia, municipio de Chocontá.
- Sr. Víctor Manuel Sánchez, municipio de Chocontá.
- Sr. Wilfredo Valbuena, municipio de Chocontá.
- Sr. Giovany Rodríguez, municipio de Chocontá.
- Sr. José Poveda, municipio de Bojacá.
- Sr. Nelson Montaña, municipio de Madrid.
- Sr. Leandro Silva, municipio de Madrid.
- Sr. Juvenal Carpeta, municipio de Subachoque.
- Sr. Miguel García, municipio de Subachoque.
- Sr. Ariel Salamanca, municipio de Subachoque.
- Sr. Eduardo Castañeda, municipio de Zipaquirá.

Al ingeniero Bernardo Antonio Dotor, profesional del Fondo Nacional de Fomento de la Papa (FNFP) y la Federación Colombiana de Productores de Papa (Fedepapa), municipio de Chocontá.

A la Asociación de Ganaderos y Agricultores de Bogotá, D. C. Amigos de la Naturaleza (Asogadan), por su participación en las diferentes actividades desarrolladas sobre la temática de producción de semilla de papa en el proyecto.

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

A la dirección técnica de Fedepapa y el FNFP, por participar en los talleres junto con los colegas agrónomos de su institución, y por la colaboración en el desarrollo de algunas parcelas demostrativas del proyecto.

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, la Secretaría Distrital de Desarrollo Económico de Bogotá, D. C., la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia, antes Corpoica) y la Universidad Nacional de Colombia por la cofinanciación del proyecto.

Al personal de administración 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

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es el producto alimenticio más consumido a nivel mundial después de los cereales trigo, arroz y maíz. Se cultiva en más de 140 países, en latitudes entre los 65 °N y 50 °S, y altitudes que varían desde el nivel del mar hasta los 4000 m s. n. m. (Gebhardt, 2013). Para el año 2017 la producción mundial de papa fue de 388,19 millones de toneladas (t), en un área de 19,3 millones de hectáreas (ha) y un promedio de rendimiento de 20,14 t/ha (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2017).

En Colombia se han reportado incrementos importantes en el rendimiento de tubérculo de las variedades Diacol Capiro (50-80 t/ha) y Pastusa Suprema (40-70 t/ha) cultivadas bajo sistemas de producción tecnificados, los cuales incluyen uso de semilla certificada, manejo de riego, mecanización y fertilización adecuada (Gómez y Torres, 2012). Sin embargo, el rendimiento del tubérculo en sistemas tradicionales en el departamento de Cundinamarca se encuentra por debajo del potencial productivo de las variedades, con un promedio de alrededor de 22,31 t/ha (Barragán, 2019).

Los bajos rendimientos que en promedio se obtienen en el cultivo de papa en el país evidencian la existencia de una amplia brecha tecnológica, generada por factores como la poca utilización de semilla de buena calidad y las prácticas inadecuadas de mecanización del suelo, del manejo técnico de las principales plagas y enfermedades, y del uso de fertilizantes y agroquímicos, entre otros (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2011).

Los pequeños y medianos productores de papa del departamento de Cundinamarca realizan el manejo de la fertilización de forma empírica, se basan en las experiencias de ciclos anteriores de sus propios cultivos o de productores reconocidos en la región y, en algunos casos, en las recomendaciones ofrecidas por el personal técnico de compañías comercializadoras de fertilizantes. La mayoría de los productores no tienen en cuenta la fertilidad natural del suelo ni los requerimientos nutricionales del cultivo, y no realizan análisis de suelos de sus áreas de siembra, situación que lleva a que la fertilización sea una actividad ineficiente en términos económicos y ambientales. Como resultado de esta situación el sistema productivo de papa disminuye su competitividad en el mercado, al tener altos costos de producción sin presentar un aumento significativo en el rendimiento que compense la inversión. Estas consideraciones indican que es importante brindar apoyo a los agricultores en la definición de sus planes de fertilización edáfica para el cultivo, de tal manera que se ajusten a los requerimientos de las variedades sembradas y a las diferentes condiciones medioambientales de las zonas productoras.

En este contexto, en el marco del proyecto del Corredor Tecnológico Agroindustrial CTA-2 y el subproyecto “Contribuyendo con la sostenibilidad del cultivo de papa: de Cundinamarca para Colombia” (que en adelante se denominará Subproyecto Papa), se realizó el establecimiento de Parcelas de Investigación Participativas Agrícolas (PIPA) y parcelas demostrativas, con el fin de ajustar las tecnologías desarrolladas previamente por grupos de investigación de la Universidad Nacional de Colombia y Agrosavia, y realizar la transferencia de las mismas a grupos de productores de papa de año en los municipios de Bojacá, Madrid y Subachoque (en la sabana occidental), Zipaquirá (provincia centro) y Chocontá y Villapinzón (provincia de Almeidas), mediante la oferta de recomendaciones de fertilización y estrategias de manejo para plagas limitantes y enfermedades foliares y de suelo. En la zona rural de Bogotá se fortaleció en específico una iniciativa de producción de semilla para pequeños agricultores. Todas estas actividades se desarrollaron con el propósito de mejorar las condiciones de competitividad de este sector productivo en Cundinamarca.

El desarrollo del Subproyecto Papa permitió la elaboración del presente documento, en donde se presentan generalidades del cultivo, revisión y resultados sobre los componentes técnicos de su manejo. Por su contexto, es sugerido para las condiciones productivas del departamento de Cundinamarca; sin embargo, las recomendaciones de manejo incluidas pueden llegar a ser validadas y adaptadas a otras zonas agroecológicas donde se cultiva papa de año en el país.

El cultivo de papa: revisión del contexto internacional y local

AUTOR:

Carlos Eduardo Núñez López

Área, producción y rendimiento

En el periodo comprendido entre 2013 y 2017, la producción estimada de papa en el mundo varió entre 374,07 y 388,19 millones de toneladas, en un área que osciló entre los 18,88 y los 19,3 millones de ha, con un rendimiento promedio que varió entre 19,39 y 20,14 t/ha (Tabla 1). Cuando se considera la producción en los diferentes continentes, se observa con claridad en las estadísticas que Asia y Europa son las regiones de mayor producción total, lo cual está relacionado también con las mayores áreas de producción. Le siguen en su orden América, África y Oceanía, y este último continente es el que presenta el mayor potencial de rendimiento, lo que se explica por su pequeña área de producción y su alta tecnología de producción (Tabla 1).

Tabla 1 Área, producción y rendimiento de papa en diferentes regiones del mundo, en el periodo 2013-2017.

Región	2013	2014	2015	2016	2017
Área cosechada (ha)					
Total mundial	19292920	18878755	18913868	19077480	19302642
África	1888409	1642904	1693219	1735809	1892633
América	1813466	1782092	1819115	1826401	1797479
Asia	9821430	9795507	9821664	9995224	10209139
Europa	5725810	5619152	5540384	5481868	5365045
Oceanía	43806	39100	39487	38178	38345
Producción en toneladas (t)					
Total mundial	374070106	380264734	376577033	374252074	388190674
África	28309692	24222377	25196621	23513599	25011823
América	42432211	43137439	43552328	44101823	44173458
Asia	186148561	186710475	189623927	187378416	195668682
Europa	115397381	124574321	116573050	117646237	121761565
Oceanía	1782262	1620123	1631107	1611998	1575147
Rendimiento (t/ha)					
Total mundial	19,39	20,14	19,91	19,62	20,11
África	14,99	14,74	14,88	13,55	13,22
América	23,40	24,21	23,94	24,15	24,58
Asia	18,95	19,06	19,31	18,75	19,17
Europa	20,15	22,17	21,04	21,46	22,70
Oceanía	40,69	41,44	41,31	42,22	41,08

Fuente: Elaborada con base en información de FAO (2017).

Para el año 2017, las estadísticas de la FAO reportan que los cinco principales países productores en el mundo fueron China, India, Rusia, Ucrania y Estados Unidos, en los cuales se cosechó el 56,6 % de la producción mundial. De los siguientes cinco países de mayor producción (puestos 6 al 10 de la Tabla 2), cuatro son europeos y uno asiático. En esta lista Colombia aparece en el puesto 24 de 158 países, con una participación del 0,73 % de la producción mundial, correspondiente a una producción estimada de 2 819 026 t, en un área cosechada de 149 060 ha y un rendimiento promedio de 18,91 t/ha (FAO, 2017).

Tabla 2 Los diez países de mayor producción de papa (toneladas) en 2017 en el mundo.

Puesto	País	Producción (t)
1	China (continental)	99 147 000
2	India	48 605 000
3	Federación de Rusia	29 589 976
4	Ucrania	22 208 220
5	Estados Unidos de América	20 017 350
6	Alemania	11 720 000
7	Bangladesh	10 215 957
8	Polonia	9 171 733
9	Países Bajos	7 391 881
10	Francia	7 342 203

Fuente: Elaborada con base en información de la FAO (2017).

Si se analiza la situación en el continente americano (Tabla 3), se encuentra que Suramérica es la subregión de mayor área sembrada, pero no la de mayor producción ni rendimiento total. La mayor producción y rendimiento corresponden a Norteamérica, mientras que en Centroamérica y el Caribe hay mucha menor área sembrada, pero su potencial de rendimiento es superior al que se alcanza en Suramérica.

Tabla 3 Área, producción y rendimiento de papa en América en el periodo 2016-2017.

Subregión	Área cosechada (ha)		Producción total (t)		Rendimiento (t/ha)	
	2016	2017	2016	2017	2016	2017
Total de América	1826401	1797479	44 101 823	44 173 458	24,15	24,58
Norteamérica	753 451	757 269	24 346 602	24 429 179	32,31	32,26
Centroamérica	95 171	90 562	2545190	2477606	26,74	27,36
Caribe	11 440	14 050	233 083	287 508	20,38	20,46
Suramérica	966 339	935 598	16 976 949	16 979 165	17,57	18,15

Fuente: Elaborada con base en información de la FAO (2017).

En Suramérica, para los años 2016 y 2017, las estadísticas de la FAO reportan que el país que más siembra y produce papa es Perú, seguido en área sembrada por Bolivia, Colombia y Brasil; mientras que en producción es seguido por Brasil, Colombia y Argentina (Tabla 4). Bolivia pasa a ser el sexto país en producción, al ser

el de menor potencial de rendimiento (t/ha) de la región. Los países de mejor potencial de rendimiento son Argentina, Brasil, Chile y Uruguay, seguidos por Venezuela y Colombia. Estas cifras en general reflejan estimaciones promedio de los rendimientos, y es claro que en la mayoría de los países existen rangos amplios para esta variable, dado que existen diversos sistemas productivos con diferentes niveles de tecnificación, en donde, por lo general, los de menor potencial son los de la agricultura tradicional.

Tabla 4 Área, producción y rendimiento de papa en países de Suramérica en el periodo 2016-2017.

País	Área cosechada		Producción (t)		Rendimiento (t/ha)	
	2016	2017	2016	2017	2016	2017
Argentina	75 500	75 975	2430866	2454001	32,20	32,30
Bolivia	181 708	182 675	1073744	1174744	5,91	6,43
Brasil	129 842	118 030	3851396	3656846	29,66	30,98
Chile	53 485	54 082	1166025	1426479	21,80	26,38
Colombia	160 595	149 060	3034031	2819026	18,89	18,91
Ecuador	29 635	29 532	422 589	377 243	14,26	12,77
Paraguay	250	260	3625	3760	14,50	14,46
Perú	310 698	310 400	4514239	4776294	14,53	15,39
Uruguay	4424	4584	89 000	90 772	20,12	19,80
Venezuela	20 202	11 000	391 433	200 000	19,38	18,18

Fuente: Elaborada con base en información de la FAO (2017).

En el caso de Colombia, las estadísticas de las organizaciones internas de la papa reportan cifras diferentes de área, producción anual y rendimiento frente a las de FAO (Tabla 5). Estas cifras son una aproximación a la situación real, y ello es así porque para el sistema productivo de la papa en el país no se han implementado las herramientas modernas satelitales para estimar las áreas de siembra y tampoco se monitorea por regiones la producción ni la productividad en los diferentes sistemas productivos.

Tabla 5 Área, producción y rendimiento de papa en Colombia en el periodo 2014-2018.

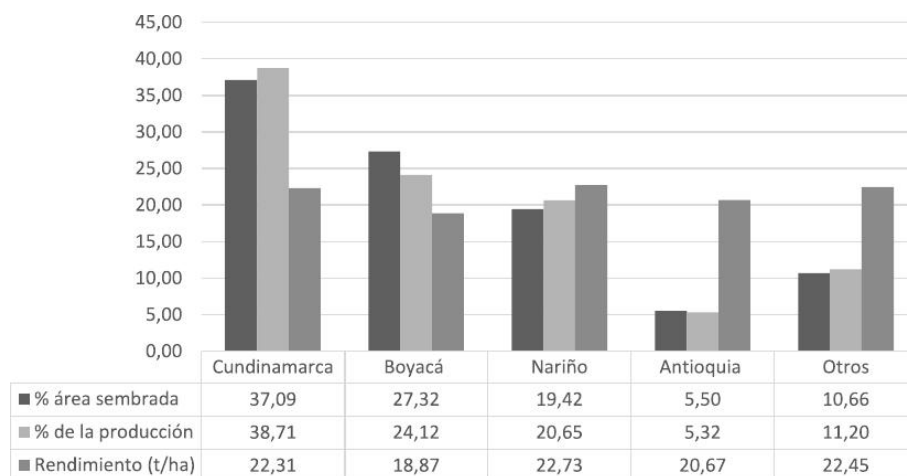
Ítem	2014	2015	2016	2017	2018
Área (ha)	122 300	125 600	126 100	132 161	130 176
Producción (t)	2 490 800	2 696 660	2 423 700	2 751 837	2 782 676
Rendimiento (t/ha)	20,37	21,47	19,22	20,82	21,38

Fuente: Barragán (2019).

En términos generales la producción comercial de papa en Colombia se realiza en las montañas y valles interandinos a lo largo de las tres cordilleras, en altitudes que varían entre los 2000 y los 3500 m s. n. m., con zonas óptimas de producción localizadas entre los 2500 y los 3000 m s. n. m. Según la Federación Colombiana de Productores de Papa [Fedepapa] y el Fondo Nacional de Fomento de la papa [FNFP] (2019), la producción de papa se realiza principalmente en cuatro departamentos (Cundinamarca, Boyacá, Nariño y Antioquia). En los dos primeros, en el año 2018 se concentró el 62,83 % de la producción nacional, y los cuatro en conjunto aportaron el 88,8 % del total (Figura 1). Estas cifras demuestran la alta concentración de la producción nacional y se destaca a Cundinamarca como el departamento de mayor participación.

En los promedios estimados que se reportan para el rendimiento de papa en los diferentes departamentos no se aprecian mayores diferencias, sin embargo, estas sí son notables entre los departamentos y dentro de ellos, donde existen diversos sistemas de producción. Las mayores diferencias se presentan entre los sistemas que se destinan a producir papa para procesamiento (en hojuela y en bastón) y aquellos destinados para el consumo en fresco. En el primer caso existe alta dependencia de una sola variedad (Diacol Capiro, también llamada R12), cuyo manejo implica altos costos de producción; por lo tanto, el rendimiento esperado para este sistema productivo de papa de industria, en general, no puede ser inferior a 40 t/ha y puede llegar hasta 60 t/ha, o un poco más, en la sabana occidental de Cundinamarca, dependiendo de las condiciones ambientales del ciclo de producción. En los sistemas de producción de papa para consumo fresco la diversidad es mayor, porque hay mayor oferta de variedades y las condiciones de producción son muy diversas. Se resaltan las variables de oferta ambiental, área por lote, topografía del lote, calidad de la semilla y prácticas de manejo de cultivo.

Figura 1 Distribución porcentual del área y de la producción y rendimiento estimado de papa (t/ha) por departamento en el 2018.

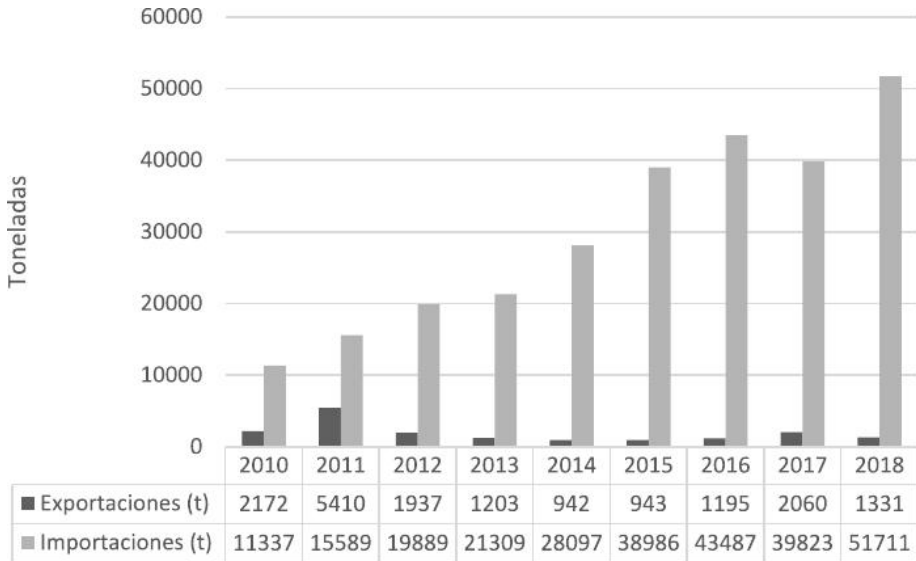


Fuente: Adaptada de Fedepapa y FNFP (2019).

Exportaciones e importaciones de papa en Colombia

En los años 2017 y 2018 Colombia exportó 2060 y 1331 t de papa respectivamente, que corresponden a papa con alguna forma de procesamiento, no a papa entera fresca. De otro lado, el país importó en los mismos años 39 823 y 51 711 t (Figura 2), en su mayoría congeladas, lo cual evidencia un importante desbalance comercial para este producto (Fedepapa y FNFP, 2019). En la misma fuente se reporta que los países a los que Colombia exporta son principalmente Estados Unidos, Curazao, Japón, Panamá y España, y aquellos de los que importa son Bélgica, Países Bajos, Estados Unidos y Canadá. Las importaciones han crecido significativamente en los últimos años (Figura 2), y sin duda ello genera preocupación para el mercado nacional porque influye negativamente en los precios del mercado interno, en especial el de la papa procesada en bastón, lo que en forma indirecta también puede afectar el mercado de papa fresca, dependiendo de los volúmenes de papa disponibles a lo largo del año.

Figura 2 Exportaciones e importaciones de papa (t) en Colombia en el año 2018.



Fuente: Adaptada de Fedepapa y FNFP (2019).

Variedades de papa de importancia en Cundinamarca

La papa de año (*S. tuberosum* L.) es una planta herbácea perteneciente a la familia Solanaceae. Es de crecimiento erecto o semierecto, sus tubérculos son tallos modificados y constituyen los órganos de reserva de la planta; su tamaño, forma, color de la piel y carne varía de acuerdo con la variedad. Las hojas son compuestas y la inflorescencia es una cima terminal con flores completas. El fruto es una baya bilocular de color verde donde se encuentran las semillas botánicas (Huamán, 1986). Los agricultores en Colombia llaman a estos frutos “mamones”.

En Colombia, hasta el año 2009 se tenían registradas oficialmente ante el ICA 38 variedades de papa de año (tetraploides), y cinco de papa criolla (diploides) (Ñústez, 2011). Entre 2010 y 2018 se han registrado nueve variedades diploides más (Criolla Dorada, Criolla Ocarina, Criolla Sua Pa, Milagros, Paola, Paysandú, Primavera, Violeta y Sol Andina) y una variedad tetraploide (Perla Negra). En adi-

ción, se incrementó en las áreas de cultivo del centro del país un clon de papa de año —sin registro como variedad— que se conoce con el nombre de Superior.

En el estudio de diagnóstico realizado en el departamento de Cundinamarca dentro del Subproyecto Papa del Corredor Tecnológico Agroindustrial CTA-2, se identificó que las variedades de año que principalmente se siembran son: Diacol Capiro, Parda Pastusa, Pastusa Suprema y el clon Superior. También se encontraron las variedades Esmeralda, ICA Única, Betina, Rubí y Punto Azul con menores áreas sembradas (Figura 3).

Diacol Capiro

Es la principal variedad utilizada para procesamiento industrial en Colombia, tanto para hojuelas como para bastones (Figura 3a). Se registró en Colombia como variedad por el programa de mejoramiento de papa del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Las plantas de este material presentan follaje verde oscuro, floración media y porte intermedio. Tiene una amplia adaptabilidad (entre los 1800 y los 3200 m s. n. m.), con un ciclo de cultivo de 165 días a 2600 m s. n. m. Su principal desventaja es la alta susceptibilidad que presenta a la “gota” de la papa (*Phytophthora infestans*), lo que dificulta el manejo del cultivo en ciclos muy húmedos. También es susceptible en raíz y tubérculo a la roña de la papa (*Spongospora subterranea*) y al virus del amarillamiento de las nervaduras PYVV (Ñústez, 2011). Recientemente se ha evidenciado en campos de la sabana de Bogotá (región occidente) su susceptibilidad al carbón de la papa (*Tecaphora solani*) y a la marchitez temprana causada por *Verticillium spp.*

Parda Pastusa

Es una variedad antigua, registrada por el programa de mejoramiento de papa del ICA, muy apreciada en el consumo en fresco. Fue la principal variedad cultivada en el país hasta el año 2006-2007, cuando fue relevada en alta proporción por la variedad Pastusa Suprema. Según Ñústez (2011a) la planta presenta follaje verde

ligeramente claro, alta floración y forma abundantes frutos. Es tardía (más de 180 días), con adaptación entre 2900 y 3400 m s. n. m. y un potencial de rendimiento –en condiciones óptimas– de entre 20 y 30 t/ha. El tubérculo es de excelente calidad culinaria, de textura harinosa, tiene entre 21 y 24 % de materia seca, sin aptitud para frito y un periodo de reposo de tres meses (Figura 3b). La variedad es susceptible a la “gota” o tizón tardío (*Phytophthora infestans*), al hongo *Rhizoctonia solani*, a la roya (*Puccinia* sp.) y a la roña polvosa (*S. subterranea*) tanto en tubérculo como en raíz.

Pastusa Suprema

Esta variedad fue registrada por el Programa de Mejoramiento Genético de Papa de la Universidad Nacional de Colombia (PMGP-UN). La planta tiene porte alto, follaje verde ligeramente claro, floración moderada y alta androesterilidad. Crece bien entre los 2500 y los 3200 m s. n. m., es relativamente tardía (165 días a 2600 m s. n. m.). Su potencial de rendimiento en condiciones óptimas es superior a 45 t/ha. El tubérculo presenta materia seca alta (entre 22 y 25 %), su periodo de reposo es de dos meses y presenta aptitud para frito en un periodo corto de poscosecha. Los tubérculos tienen excelente calidad culinaria y son aptos para el consumo fresco en las preparaciones tradicionales: cocida en sopa, papa salada u otras similares (Figura 3c). La variedad presenta buena resistencia a la “gota” (*P. infestans*), tolera bien la roña polvosa (*S. subterranea*) en raíz, aunque se observa con baja severidad en el tubérculo. Es susceptible al virus PVV (Ñústez, 2011), también se le ha identificado en campo susceptibilidad a la pudrición blanda (*Pectobacterium* spp.) y al carbón en el tubérculo (*Tecaphora solani*).

Esmeralda

Variedad registrada por el PMGP-UN. La planta presenta porte intermedio, follaje verde ligeramente claro, abundante floración y muy pocos frutos (Figura 3d). Crece bien entre 2450 y 2800 m s. n. m., es relativamente tardía (165 días a 2600 m s. n. m.) y el periodo de reposo del tubérculo es de 3,5 meses. Su rendimiento

potencial en condiciones óptimas de cultivo es superior a 35 t/ha, tiene excelente calidad culinaria y es versátil para diferentes platos (caldo, sopa, cocida o similares). En condición de cultivo la variedad es sensible a la deficiencia de calcio y boro, y los tubérculos gruesos (mayores a 9 cm de diámetro) tienden a presentar corazón hueco. Es moderadamente resistente a la “gota” (*P. infestans*) y susceptible al virus PYVV. Los tubérculos presentan entre 20 y 23 % de materia seca y buena aptitud para frito en hojuela (Ñústez, 2011). En el mercado mayorista esta variedad también se conoce como “Marengo” o “Marengo pequeña”, material que existió en años anteriores y que se originó a partir de un clon fugado del programa de variedades del ICA; actualmente no existe en los campos de producción ya que fue reemplazado por esta variedad.

ICA Única

Variedad registrada por el programa de mejoramiento del ICA. La planta es alta con follaje verde oscuro, floración media y pocos frutos. Su periodo vegetativo es de 165 días a 2600 m s. n. m., con amplia adaptación de siembra (entre 2000 y 3500 m s. n. m.) y un potencial de rendimiento superior a 40 t/ha en buenas condiciones de cultivo. El tubérculo presenta entre 20 y 23 % de materia seca y un periodo de reposo corto (1,5 meses). Es de buena calidad culinaria para consumo en fresco, adecuada para sopas, caldos y, por su forma oblonga, tiene aptitud para ser procesada en bastón (Figura 3e). Es susceptible al virus PYVV, tiene moderada resistencia a la “gota” (*P. infestans*) y por su color de piel es sensible al verdeamiento, lo cual implica manejo de la luz en almacenamiento (Ñústez, 2011).

Betina

Variedad registrada por el PMGP-UN. Presenta planta alta, follaje verde ligeramente claro, abundante floración y muy pocos frutos. Es relativamente precoz (145 días a 2600 m s. n. m.), con amplia adaptación de siembra (entre 2300 y 3400 m s. n. m.) y un potencial de rendimiento superior a 40 t/ha. El tubérculo tiene

entre 19 y 21 % de materia seca y su periodo de reposo es corto (1,5 meses). Tiene buena calidad culinaria para consumo en fresco y una textura semicompacta al cocinar, adecuada para sopas y caldos (Figura 3f). Debido a su color de piel amarillo-ocre es relativamente sensible al verdeamiento, lo cual implica un manejo en almacenamiento. Es una variedad moderadamente resistente a la “gota” (*P. infestans*), susceptible al virus PVV y susceptible en tubérculo a la roña polvosa (*S. subterranea*). Los agricultores le reconocen rusticidad y la cultivan con menor fertilizante que las variedades tradicionales (Ñústez, 2011). En los últimos años los agricultores de Boyacá han reportado la tolerancia que tiene esta variedad al estrés hídrico, comparada con las variedades más tradicionales, además de su buena tolerancia a la manipulación poscosecha, razón por la cual soporta viajes a larga distancia en el país.

Rubí

Variety registered by the PMGP-UN. The plant has a tall stature, dark green foliage, large leaves, a high number of interrupted leaflets, medium flowering and good fruit formation. It has specific adaptation to high zones (from 2800 to 3400 m s. n. m.), is late (180-210 days) and its potential yield in optimal conditions is superior to 50 t/ha, with a high proportion of tubers in category zero (diameter greater than 9 cm) and category one (diameter between 7 and 9 cm). The dry matter of the tuber varies between 21 and 23 % and its rest period is 2.5 months (Figure 3g). The variety is mainly cultivated in the north zone of Cundinamarca, especially in the second semester. This variety is moderately resistant to the “gota” (*P. infestans*) and susceptible to the powdery scab (*S. subterranea*) in the tuber. The tuber is of good culinary quality for fresh consumption, has excellent flavor and semicompact texture when cooked, is suitable for soups and stews and has no aptitude for frying in a hojuela (Ñústez, 2011).

Punto Azul

Esta variedad fue registrada por el PMGP-UN. La planta es alta; presenta follaje verde opaco, pocas inflorescencias y flores androestériles. Su adaptabilidad es amplia (entre 2500 y 3200 m s. n. m.) y es relativamente tardía (165 días, a 2600 m s. n. m.). Su producción de tubérculos en condiciones óptimas es superior a las 40 t/ha, tiene entre 21 y 23 % de materia seca, y una piel delgada con textura escamosa (tipo Russet), por lo cual es delicada en poscosecha (Figura 3h). Su periodo de reposo es de 2,5 meses y es sensible a la deficiencia de boro en el suelo. Tiene excelente calidad culinaria, es versátil para diferentes platos (cocida y para puré casero, en especial). La variedad tiene buena resistencia a la “gota” (*P. infestans*), es susceptible a la roña polvosa (*S. subterranea*) en tubérculo, al PYV, y a la roya (*Puccinia* spp.) en zonas altas (Ñústez, 2011). En general es una variedad rústica.

Superior

Este nombre corresponde a un clon que se ha incrementado en área de cultivo en el departamento de Cundinamarca a partir del año 2015. Su origen no es claro, por ello no se ha registrado como variedad en el país. Por la misma razón, carece de caracterización y no se conocen evaluaciones técnicas apropiadas para ella. Lo que se conoce por las observaciones de campo es que es susceptible a la “gota” (*P. infestans*), tiene buen potencial de rendimiento, y amplia adaptación en la altitud de siembra. Tiene sólidos totales de bajos a intermedios, es una papa de textura harinosa, blanda, que tiene adecuada aceptación en el mercado mayorista de papa fresca y que carece de aptitud para fritura en hojuela (Figura 3i).



Figura 3 Principales variedades de papa de año cultivadas en el departamento de Cundinamarca:
a) Diacol Capiro (año de registro: 1961). b) Parda Pastusa (año de registro: 1955). c) Pastusa Suprema (año de registro: 2002). d) Esmeralda (año de registro: 2005). e) ICA única (año de registro: 1995).
f) Betina (año de registro: 2002). g) Rubí (año de registro: 2005). h) Punto Azul (año de registro: 2005).
i) Superior (Genotipo sin registro como variedad).

Fuente: [en su orden] Nústez (2009, 2010d, 2004b, 2005b, 2010c, 2010b, 2005d, 2005c y 2019c).

La semilla de calidad para el cultivo de papa

AUTORES:

María Cecilia Delgado Niño

Andrés Felipe Alba Chacón

Luis Daniel Duque Puentes

Teresa Mosquera Vásquez

En la mayoría de las plantas la semilla es el órgano reproductivo más importante. Tiene la función de garantizar su permanencia mediante la multiplicación generación tras generación. Adicionalmente, por medio de las semillas y sus diferentes mecanismos de dispersión las plantas tienen la posibilidad de establecerse en diferentes espacios. Las semillas, además de ser un factor importante para la preservación de las diferentes especies de plantas, se convierten en fuente de alimento de muchos animales, incluidos los humanos, que se ven beneficiados por medio de la producción agrícola (Doria, 2010).

En el contexto agronómico una semilla se define en dos ámbitos: 1) la semilla sexual que corresponde al óvulo fecundado que es capaz de germinar; y 2) la semilla asexual que se da por la propagación de cualquier parte vegetativa de la planta (Resolución 3168 del ICA). La finalidad de la multiplicación de cualquier tipo de semilla es la producción comercial de cualquier cultivo.

El material de siembra que se utiliza en el cultivo de la papa es el tubérculo semilla (Andrade-Piedra et al., 2015) (Figura 4). El tubérculo es un tallo modificado que se convierte en un órgano de almacenamiento (Huamán, 1986), que bajo condiciones adecuadas va a generar plantas con la misma información genética.



Figura 4 Tubérculo semilla de papa de la variedad Pastusa Suprema.
Fuente: Equipo CTA-2 Subproyecto Papa (2018).

Morfología del tubérculo semilla

La morfología de los tubérculos de papa los define como tallos modificados y son el principal órgano de almacenamiento de la planta de papa. Cada tubérculo consta de yemas —comúnmente llamados ojos— y cejas (cicatriz de hoja). Estas últimas pueden ser pronunciadas, superficiales o profundas, dependiendo de la variedad; los ojos en los tubérculos están ubicados en forma de espiral y están debajo de las cejas. La forma varía dependiendo de la variedad, en algunos

genotipos nativos esta forma es irregular, pero independientemente de la forma, los tubérculos tienen dos extremos: la parte basal que es donde se inserta el estolón y el opuesto a este que se llama extremo apical; normalmente en este último hay mayor número de ojos (Figura 5) (Huamán, 1986).

En la fase de cultivo, cuando el tubérculo está maduro las yemas no se pueden desarrollar, se encuentran en reposo. Luego de un tiempo los primeros ojos empiezan a brotar en el extremo apical, a lo que se le conoce como dominancia apical (Huamán, 1986). En la piel del tubérculo se encuentran las lenticelas, que son poros por los cuales respira el tubérculo, y en condiciones de alta humedad incrementan su tamaño. En la parte interna del tubérculo se encuentra el sistema vascular, el parénquima de reserva y la médula (Huamán, 1986).

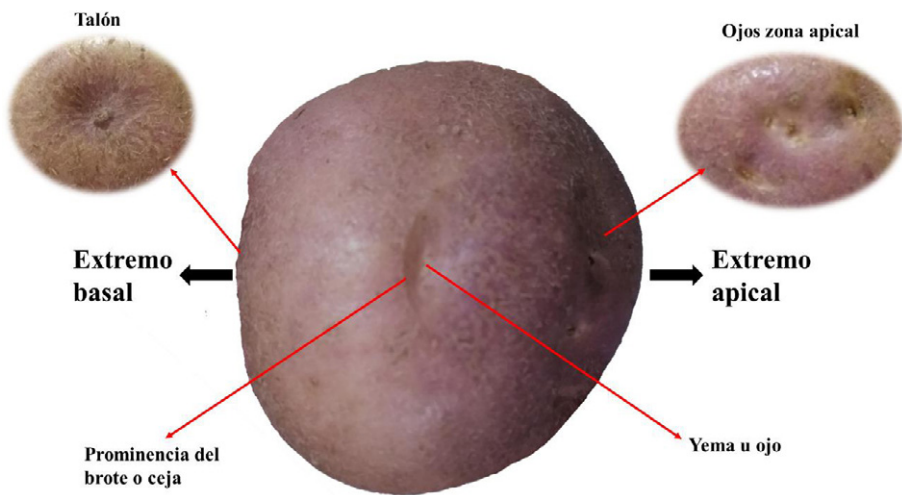


Figura 5 Morfología del tubérculo en papa.
Fuente: Adaptado de Huamán (1986).

Morfología del brote

A partir de las yemas que están en los ojos de los tubérculos se generan los brotes; el color de ellos cambia dependiendo de la variedad y este es un descriptor varietal importante. Del extremo apical del brote se forman las hojas y el tallo principal.

Después de la siembra, de la parte basal del brote rápidamente se generan las raíces, luego los estolones y tallos laterales. El extremo apical de los estolones se diferencia y se forman los tubérculos, que son tallos subterráneos (Huamán, 1986).

La apariencia y el tamaño del brote cambian, dependiendo de la variedad y de las condiciones en que se almacena el tubérculo. Los brotes están conformados por lenticelas, pelos, yema apical, yema lateral, nudos y primordios radicales (Figura 6) (Egusquiza, 2000).

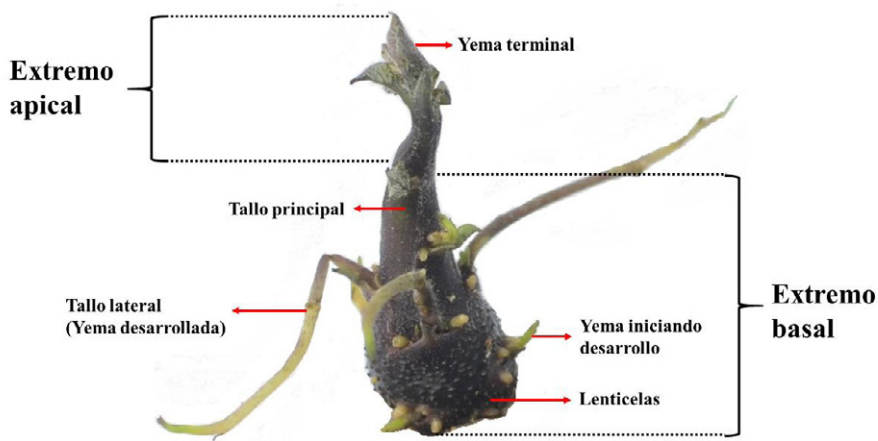


Figura 6 Morfología del brote de papa.
Fuente: Adaptado de Huamán (1986).

Componentes de calidad de la semilla de papa

La semilla de calidad es indispensable para el desarrollo óptimo de cualquier cultivo. Es el punto de partida del ciclo de producción y cuando se trata de papa es aún más importante, debido a que su producción se realiza por medio de propagación clonal o vegetativa (Méndez e Inostroza, 2009), por lo que el riesgo de diseminación de plagas y enfermedades es alta. La semilla debe tener las características para que se adapte a las condiciones de campo y produzca plantas vigorosas que expresen el máximo potencial de rendimiento del cultivo (Montesdeoca, 2005).

En Colombia, la superficie cultivada de papa con semilla certificada es muy baja; los principales usuarios de este insumo son los agricultores que producen para la industria. En general, los pequeños agricultores no tienen acceso a semillas de buena calidad; en su mayoría utilizan como fuente de semilla la papa que no se pudo vender en el mercado en el ciclo anterior y que, en la mayoría de los casos, no reúne las características que debe tener un material para semilla.

La semilla de calidad está determinada por cuatro componentes básicos, los cuales están relacionados con características físicas, fisiológicas, fitosanitarias y genéticas. Cuando se cumple con las características adecuadas en estos cuatro parámetros se tiene una semilla de calidad integral, y si se siembra en condiciones óptimas, se expresará el máximo potencial de la variedad establecida (Montesdeoca, 2005).

Calidad genética

Cuando se inicia un proceso de producción de semilla certificada o de calidad, es necesario conocer la procedencia del material inicial y se debe garantizar la pureza varietal. Este es un parámetro que asegura que todas las plantas derivadas sean idénticas a la variedad original. En el mercado colombiano hay diversas variedades que se utilizan para diferentes fines, por lo que es necesario realizar un manejo adecuado de la semilla, que garantice la calidad genética y permita que las características propias de cada variedad permanezcan a través del tiempo (FAO, 2011).

Durante la producción de semilla es indispensable realizar monitoreos continuos y se deben eliminar todas las plantas que no pertenezcan a la variedad establecida (Montesdeoca, 2005). El estado fenológico más apropiado para eliminar las posibles mezclas del campo de producción es la fase de floración. Además, hay que tener presentes las diversas características morfológicas de la variedad en aras de garantizar la pureza varietal (Figura 7). Esto se debe realizar en las visitas técnicas al lote (Méndez e Inostroza, 2009).

Las variedades de papa colombianas presentan diferencias en su ciclo de desarrollo, en los requerimientos nutricionales y en la respuesta frente a diversos pro-

blemas fitosanitarios. Cuando se presenta mezcla de semilla para la siembra en un campo de cultivo, el cultivo se observará heterogéneo y, dado que crecen plantas de diversas variedades en forma aleatoria en el campo, el manejo también se verá afectado, y el potencial de rendimiento en el lote no será el esperado para la variedad principal. Un ejemplo de ello es cuando se siembran variedades con diferente nivel de resistencia a la “gota”, por ejemplo Pastusa Suprema (que tiene un buen nivel de resistencia) en mezcla con una variedad susceptible como Diacol Capiro. Sin duda el manejo de la enfermedad será de mayor complejidad, porque las plantas de mezcla se enfermarán con mayor severidad y el inóculo se hará permanente en la fase de crecimiento. Si del lote se piensa dejar semilla, con alta probabilidad la mezcla se mantendrá con su efecto negativo para el siguiente ciclo.



Figura 7 Cultivos de papa en floración. a) Cultivo de la variedad Pastusa Suprema sin mezcla varietal. b) Cultivo de la variedad Diacol Capiro con mezcla varietal.

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

Calidad fisiológica

La calidad fisiológica es la capacidad que tiene una semilla, sexual o asexual, de germinar y establecerse en un determinado suelo para formar una planta normal que se mantenga en condiciones de campo (Hasanuzzaman, 2015). Cuando se habla de fisiología del tubérculo semilla, se hace referencia al cambio que tiene el tubérculo desde el momento en que se cosecha hasta cuando genera brotes (Torres et al., 2013). Este tiempo es conocido como “periodo de reposo”, puede durar varios meses y depende de la variedad, las condiciones de cultivo, la temperatura de almacenamiento y el manejo general en poscosecha (Méndez e Inostroza, 2009).

El estado fisiológico de los tubérculos que van a ser utilizados como semilla debe ser el apropiado. De esta manera, la emergencia y el desarrollo del cultivo son los adecuados. Se recomienda sembrar tubérculos con cuatro a cinco ojos, los cuales deben tener los brotes desarrollados con un largo entre 0,5 y 1 cm; esto permitirá que se produzcan plantas vigorosas y productivas (Figura 8) (ICA, 2011).

El vigor, la brotación y la edad fisiológica del tubérculo son características que están involucradas con la calidad fisiológica de la semilla. Cuando estos parámetros son los adecuados, el desarrollo del cultivo es el óptimo y la variedad establecida puede expresar su potencial si las condiciones ambientales lo permiten.



Figura 8 Tubérculos semilla de papa en óptimo estado para siembra. Variedad Diacol Capiro.

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

El vigor de la semilla se refiere a la capacidad que tiene la semilla para emerger después de sembrada y lograr establecerse en campo. Cuando tiene un excelente vigor presenta mayor velocidad de emergencia; uniformidad y desarrollo normal de las plantas; con capacidad para establecerse en condiciones adversas, ya sean climáticas o por presencia de plagas y enfermedades (Hasanuzzaman, 2015).

La brotación inicia cuando finaliza el periodo de reposo del tubérculo. Esto se da por la síntesis de diferentes hormonas en el tubérculo, que activan el crecimiento de brotes. Las temperaturas sobre los 10 °C favorecen este proceso. Las yemas empiezan a desarrollar los brotes y, por lo general, el primer brote que se desarrolla es el de la parte apical del tubérculo; a este estado se le conoce como de dominancia apical. Algunas variedades tienen más marcada esta dominancia, y se frena el desarrollo de las yemas laterales (Méndez e Inostroza, 2009).

Cuando finaliza el estado de dominancia apical o se interrumpe mediante algún proceso, se inicia la brotación múltiple (Figura 9a); en ese momento se desarrollan los brotes laterales y es el momento óptimo para sembrar los tubérculos semilla. Este tipo de semilla permite que las plantas tengan mayor número de tallos (Méndez e Inostroza, 2009). Cuando la brotación múltiple se deja avanzar en el tiempo en almacenamiento, sin sembrar la semilla, se genera la brotación filiforme (Figura 9b). Esto se presenta por lo general en tubérculos viejos; las plantas que se generan de esta semilla serán de bajo vigor y no serán capaces de resistir condiciones adversas, ya que la semilla ya realizó un desgaste fisiológico, y en este estado de brotación se encuentra agotada (Montesdeoca, 2005).



Figura 9 Tubérculo semilla con diferentes estados de brotación: a) Brotación múltiple. b) Brotes elongados en semilla vieja.
Fuente: Equipo CTA-2 Subproyecto Papa (2018).

La edad fisiológica de la semilla se define como la etapa de desarrollo del tubérculo después de su desprendimiento del estolón, el cual cambia gradualmente de acuerdo con el incremento en la edad cronológica, que es el tiempo transcurrido desde que inició su formación en la planta. Asimismo, la edad fisiológica se ve influenciada por las condiciones de almacenamiento de la semilla (Struik y Wiersema, 2012).

La edad fisiológica de la semilla influye directamente en el desarrollo de los cultivos: los tubérculos semilla jóvenes producen mayor uniformidad y mejores rendimientos que los tubérculos con edad avanzada (Figura 10) (Méndez e Inostroza, 2009). Se recomienda sembrar tubérculos con cuatro a cinco ojos; sus brotes deben estar desarrollados y tener una longitud de 0,5 a 1 cm (ICA, 2011).



Figura 10 Desarrollo de cultivo de papa a partir de semillas en dos estados de desarrollo fisiológico: a) Cultivo establecido con semilla en óptimo estado. b) Cultivo establecido con semilla en estado fisiológico avanzado. Fuente: Equipo CTA-2 Subproyecto Papa (2018).

En la producción de semilla, la fase de precosecha y de poscosecha son igualmente importantes; un mal manejo en cualquier momento de estas fases afectará directamente la calidad fisiológica del tubérculo semilla. Se debe garantizar que este se encuentre en la madurez fisiológica apropiada, lo que permite el óptimo almacenamiento de agua y energía para generar una planta de excelente vigor (Andrade-Piedra et al., 2015).

Las condiciones ambientales en que se desarrolla el ciclo del cultivo afectan la fisiología del tubérculo semilla; factores físicos adversos de temperatura y humedad relativa pueden acelerar el desarrollo fisiológico y reducir el período de reposo. Por otra parte, el manejo agronómico también puede afectar la calidad fisiológica. Por estas razones se observan comportamientos diferentes durante el almacenamiento de la semilla producida en el mismo lote (Montesdeoca, 2005) (Strulk y Wiersema, 2012).

Un aspecto importante que influye directamente en la calidad del tubérculo es la cosecha oportuna. Esta se debe realizar cuando el tubérculo semilla llega a su madurez fisiológica, que es diferente de la madurez comercial. Para saber en qué momento cosechar se debe tener en cuenta que la planta esté totalmente seca y haya cumplido su ciclo completo. Adicionalmente, se debe verificar que la piel del tubérculo esté fija, es decir, que no se desprenda al frotar el tubérculo (Torres et al., 2013).

El aspecto inmediatamente posterior a la cosecha y que afecta la calidad de la semilla es el transporte. Este se debe realizar con bastante cuidado; los golpes recibidos durante la manipulación van a generar daños que afectan directamente la calidad del tubérculo (Torres et al., 2013). Posteriormente, se realiza la clasificación y selección de la semilla, para proceder a almacenar. Las condiciones de almacenamiento pueden afectar la calidad fisiológica de los tubérculos semilla. Los factores que influyen son la temperatura, la humedad, la aireación y la luz. El objetivo del almacenamiento es garantizar que las características de la semilla se mantengan; en ningún momento se mejora el producto ya cosechado (Strulk y Wiersema, 2012).

Calidad fitosanitaria

La calidad fitosanitaria de la semilla se refiere a la presencia o ausencia de algún tipo de enfermedad o plaga del cultivo. Las enfermedades y las plagas se pueden transferir de un ciclo a otro; los tubérculos semilla son la principal fuente de inóculo y/o de supervivencia de muchos de los patógenos que atacan el cultivo de la papa. La calidad fitosanitaria no solo afecta directamente el rendimiento del cultivo, sino que contribuye a la diseminación de este tipo de patógenos (Strulk y Wiersema, 2012).

En la Figura 11 se observa la sintomatología de las plagas y enfermedades asociadas al cultivo de papa y que afectan la calidad de la semilla.

La información relacionada con las enfermedades y los insectos plaga que afectan la calidad de la semilla se presenta en los capítulos de Manejo integrado de enfermedades y Manejo integrado de plagas de este manual.



Figura 11 Enfermedades y plagas asociadas al cultivo de papa y que se transmiten por semilla (empezando por la fotografía superior y en el sentido de las manecillas del reloj): a) Planta de papa con PYVV. b) Tubérculo con *Rhizoctonia solani* (costra negra). c) Tubérculo con *Spongospora subterranea*.

d) Tubérculo con *Rosellinia* spp. e) Tubérculo con daño de gusano blanco (*Premnotrypes vorax*).

Tubérculo con daño de polilla guatemalteca (*Tecia solanivora*).

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

La pérdida de rendimiento y de calidad en los cultivos normalmente se relaciona con lo que se conoce como la degeneración de la semilla, que es el resultado de la acumulación de problemas fitosanitarios de ciclos repetitivos establecidos con semilla de mala calidad. Para mitigar este problema se recomienda sembrar los cultivos para semilla en cotas altas (de 2900 a 3000 m s. n. m.), lo que evita la presencia principalmente de vectores de virus (Andrade-Piedra et al., 2015).

Es recomendable hacer un análisis microbiológico de suelos para ver el estado sanitario del lote donde posiblemente se establecerá la producción de semilla. Se deben revisar principalmente los patógenos que son limitantes para su producción, como *Rosellinia spp.*, *Spongospora subterranea*, *Thecaphora solani*, *Globodera spp.*, *Meloydogyne spp.* y *Verticillium spp.* Esto permite rechazar el lote o realizar un programa de manejo con moléculas registradas para el control de estos patógenos en papa. Actualmente en el país no se realiza este tipo de análisis y en ocasiones solo se tiene en cuenta el historial sanitario del lote.

La calidad fitosanitaria del tubérculo semilla se determina fundamentalmente por el manejo agronómico que se le da al cultivo durante su desarrollo, la clasificación y selección en la cosecha y las condiciones de almacenamiento del tubérculo semilla (Figura 12).



Figura 12 Aspectos fundamentales que garantizan la calidad fitosanitaria en semilla de papa: Durante el desarrollo del cultivo se deben realizar visitas técnicas que permitan la identificación de plantas atípicas y enfermas. Estas se deben eliminar, dependiendo del tipo de patógeno que las esté atacando; en algunos casos es posible realizar algún tipo de manejo. b) En la etapa de cosecha se debe hacer una selección detallada de los tubérculos, eliminando aquellos que presenten sintomatología asociada con algún tipo de plaga o enfermedad. c) Para asegurar la calidad fitosanitaria también es necesario controlar el almacenamiento. Este debe garantizar que la semilla se mantenga en buenas condiciones durante el proceso de brotación, evitando la presencia de plagas y enfermedades.

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

Calidad física

La calidad física está relacionada con cualquier factor externo del tubérculo que pueda afectar su calidad. Estos factores en general corresponden a daños mecánicos ocasionados en el momento de cosechar, transportar o manipular el producto, y que se pueden convertir en punto de entrada de diferentes patógenos, afectando también la calidad fitosanitaria (Figura 13).

El tamaño uniforme de la semilla tiene una relación directa con la emergencia y el crecimiento relativamente homogéneo del cultivo. Por esta razón, es una recomendación que la semilla se siembre con previa clasificación por tamaño. Si se siembran semillas de diferente tamaño en un mismo cultivo, lo que ocurrirá es que la emergencia no será pareja y se generará competencia intrasurco. Según Bello y Pinzón (1997), quienes estudiaron este factor en semilla diploide, el tamaño del tubérculo semilla incidió directamente en el desarrollo vegetativo; plantas provenientes de tubérculos pequeños presentaron menor producción de hojas y tallos, lo que desfavoreció el potencial de rendimiento del cultivo. En estos casos hay una menor relación entre la fuente (hojas y tallos) y el vertedero (tubérculos).

Es importante utilizar tubérculos semilla con una adecuada calidad física. El tamaño uniforme de los tubérculos en un bulto permite distribuir de manera homogénea la semilla en el lote de producción y, a su vez, optimizar el potencial del cultivo.

El tamaño del tubérculo semilla interactúa con el componente de calidad fisiológica; tubérculos más pequeños tienen una edad fisiológica menor que los grandes, son los que se diferencian al final del proceso de formación de tubérculos (Figura 14). El número de ojos también está relacionado con el tamaño y, por consiguiente, con la densidad de los tallos.



Figura 13 Tubérculo semilla con daño mecánico.
Fuente: Equipo CTA-2 Subproyecto Papa (2018).



Figura 14 Diferentes tamaños de tubérculo semilla de la variedad Pastusa Suprema.

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

Certificación de semilla de papa

En Colombia la producción de semilla certificada de papa está regulada por el ICA, mediante la Resolución 3168 de 2015. Esta normativa reglamenta y controla la producción, importación y exportación de semillas. Los requisitos mínimos exigidos para la producción de semilla de papa están contemplados en el numeral 13 del Anexo 1 de dicha norma.

El proceso de producción formal de semilla se divide en dos fases:

Fase I: es la que se realiza a nivel de laboratorio, invernaderos y casas de malla. Esta etapa es la que provee el material inicial para la Fase II; garantiza que el tubérculo semilla esté libre de virus y enfermedades, y que tenga pureza varietal.

Fase II: es la que se realiza bajo condiciones de campo y consiste en multiplicar varias veces el material proveniente de la Fase I (Figura 15).

En la Tabla 6 se presentan los tamaños de semilla contemplados en la Resolución 3168 de 2015 del ICA, en las fases I y II de producción de semilla.

Producción de semilla en la Fase I

La semilla prebásica se produce bajo condiciones controladas. Es un proceso que inicia en el laboratorio con la producción de plantas *in vitro* mediante el cultivo de meristemas, lo que garantiza la limpieza del material, principalmente de virus. El cultivo de tejidos es una técnica de propagación que es fundamental para los procesos de producción de semilla asexual de diferentes especies, pues se generan las siguientes ventajas: 1) óptimo desarrollo de los explantes, 2) crecimiento uniforme, y 3) adecuado desarrollo fisiológico y morfológico (Larios et al., 2013). La semilla prebásica se comercializa por unidades de tubérculos.

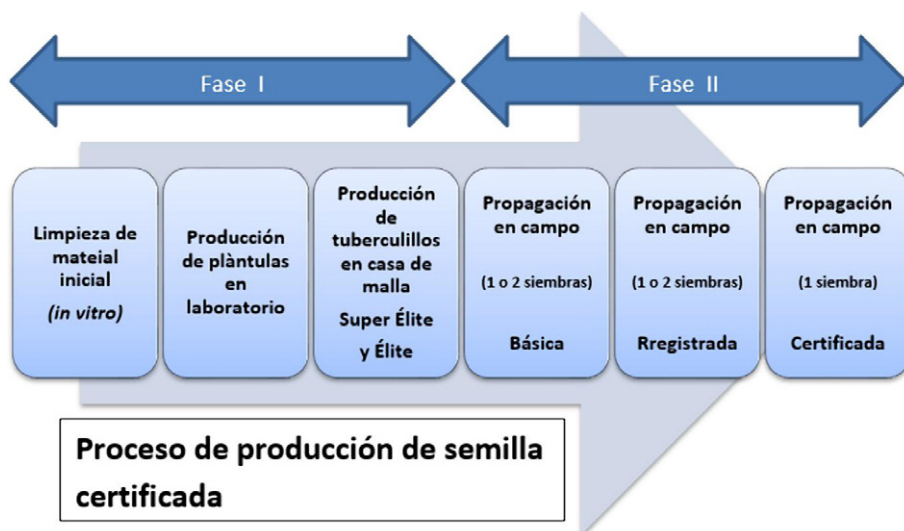


Figura 15 Esquema descriptivo del sistema formal de producción de semilla certificada en Colombia.

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

Tabla 6 Categorías por tamaño de semilla contemplados en la Fase I (Súper Élite y Élite) y en la Fase II (Básica, Registrada y Certificada).

Categorización del tubérculo semilla según norma ICA	Diámetro del tubérculo semilla	
	Fase I	Fase II
Muy grande	> 40 mm	> 90 mm
Grande	30 a 39 mm	71 a 90 mm
Mediano	21 a 29 mm	51 a 70 mm
Pequeño	11 a 20 mm	31 a 50 mm
Muy pequeño	5 a 10 mm	15 a 30 mm

Fuente: Adaptado de Resolución 3168 de 2015 del ICA.

Las plántulas producidas mediante micro propagación (*in vitro*) se establecen en invernadero o en casa de malla. Allí requieren inicialmente un periodo de adaptación en el cual las plántulas generan cutícula. El objetivo principal es producir minitubérculos; lo corriente es que se obtengan tasas de multiplicación de 10 minitubérculos por plántula. Según Strulk y Wiersema (2012), dependiendo de la metodología que se utilice, se puede llegar a alcanzar una tasa de hasta 40 minitubérculos por planta. Entre las técnicas de multiplicación rápida se destacan:

- Propagación por diferentes tipos de esquejes
- Multiplicación de mini tubérculos
- Hidroponía
- Aeroponía

En esta fase se contemplan las siguientes generaciones:

- **Super Élite:** son los mini tubérculos que se obtienen de la siembra del material inicial, plántulas producidas a través de micropropagación.
- **Élite:** son los mini tubérculos que se obtienen de la multiplicación de esquejes o minitubérculos Súper Élite, producidos en casa de malla o en invernaderos.

Producción de semilla en la Fase II

Esta fase de producción de semilla se realiza en campo y consta de tres categorías de semilla:

- **Básica:** esta semilla se obtiene a partir de la multiplicación de semilla Super Élite o Élite. En esta categoría se inicia la producción de la Fase II. De esta categoría la norma colombiana de producción de semilla permite realizar dos generaciones o ciclos de multiplicación: Básica 1 (descendientes de pre-básicas) y Básica 2 (descendientes de Básica 1); esto lo define el productor de semilla según sus necesidades.
- **Registrada:** esta semilla se obtiene a partir de la multiplicación de semilla Básica 1 o 2 y, como en la categoría anterior, la norma permite realizar dos generaciones o ciclos de multiplicación (Registrada 1 y Registrada 2).
- **Certificada:** esta semilla se obtiene a partir de la categoría registrada. Solo se permite una generación. También se puede obtener mediante la degradación de las categorías superiores.

El tiempo de producción de la semilla certificada, que es la que se comercializa a los agricultores, depende de las generaciones o ciclos de multiplicación que se contemplen dentro de la programación del responsable del programa de producción. En esta fase la semilla se comercializa por peso, normalmente en bultos de 50 kg.

Control de calidad en proceso de producción

El ICA en la Resolución 3168 de 2015 establece que para el control de calidad en la producción de semilla es necesario cumplir con los siguientes requisitos en el producto ofertado:

- El lote de producción, independientemente de la categoría en la que se encuentre, debe ser una unidad claramente definida, para permitir su aprobación o rechazo.
- Los lotes de siembra deben tener un periodo de descanso de por lo menos

dos ciclos sin cultivo de papa, diploide o tetraploide. El ICA podrá aprobar una nueva siembra para certificación en un lote, siempre que el ciclo anterior haya sido sembrado con la misma variedad y que sea de una categoría superior.

- El productor de semilla debe contar con la asistencia técnica de un especialista en el tema para realizar el manejo agronómico apropiado, de tal manera que el desarrollo del cultivo y la producción se encuentren entre las tolerancias que se describen en la Tabla 7.
- El productor es responsable de garantizar la sanidad y la pureza varietal de la semilla.

De acuerdo con la normativa nacional, un cultivo para la producción de semilla debe encontrarse dentro de los rangos de tolerancia para las diferentes plagas y enfermedades, según se presenta en la Tabla 7.

Tabla 7 Rangos de tolerancia (expresados en porcentajes) para enfermedades, insectos y otros factores en las diferentes categorías de producción de semilla en papa.

Factores	Órgano de la planta	Rangos de tolerancia (%)				
		Categoría de las semillas				
		Super Élite	Élite	Básica	Registrada	Certificada
Enfermedad o patógeno						
PLRV; PVY; PVX; PVS	Follaje *	0	0	1	2	5
Amarillamiento de venas/nervaduras	Follaje*	0	0	0	1	1
Phytophthora infestans	Tubérculo	0	0	0	1	2
Rhizoctonia solani (leve)	Tubérculo	0	0	2	5	10
Rhizoctonia solani (moderada)	Tubérculo	0	0	1	3	5
Lama o arbolado (“Mortaja blanca” o “papa salada”) (<i>Rosellinia</i> spp.)	Tubérculo	0	0	0	0	0
Roña o sarna polvosa (<i>Spongopora</i> subterránea)	Tubérculo	0	0	0	0	0
Sarna común (<i>Streptomyces scabies</i>)	Tubérculo	0	0	0	1	2
Pudrición seca (<i>Fusarium</i> spp. y <i>Phoma</i> spp.)	Tubérculo	0	0	0	1	2
Carbón (<i>Thecaphora solani</i>)	Tubérculo	0	0	0	0	0
Pudriciones blandas (<i>Pectobacterium</i> spp.)	Tubérculo	0	0	0	0	0,2
Dormidera <i>Ralstonia solanacearum</i>	Follaje y tubérculo	0	0	0	0	0
Madurez prematura (<i>Verticillium</i> spp.)	Follaje	0	0	0	1	2
Insectos						
Daños por gusanos barrenadores <i>Naupactus</i> spp., <i>Premnotrypes vorax</i> , polillas, chizas y babosas	Tubérculo**	0	0	1	3	6
Polillas (larvas vivas) (<i>Phthorimaea operculella</i> y <i>Tecia solanivora</i>)	Tubérculo	0	0	0	0	0
Nematodos (<i>Globodera</i> spp.) <i>Meloydogyne</i> spp.	Tubérculo	0	0	0	0	0
Áfidos	Tubérculo	0	0	0	0	0
Otros						
Mezcla varietal	Tubérculo	0	0	0	0	1
Daño mecánico	Tubérculo	0	0	2	2	2

Notas: (*) Pruebas de laboratorio ELISA. La presencia descarta el lote. (**) Evaluación de tubérculos en cosecha y clasificación.

Fuente: Adaptado de Resolución 3168 de 2015 (ICA).

Tratamiento de semilla poscosecha

El tratamiento de semilla poscosecha es una parte importante para su viabilidad y futuro establecimiento. Su objetivo es proteger la semilla del ataque de enfermedades y/o plagas durante el almacenamiento. Las prácticas de protección de semilla se deben realizar antes de almacenar, ya sea en campo o en bodega. Cada agricultor decide qué tratamiento aplicar, o en algunos casos no hacerlo. Sin embargo, se recomienda que el tratamiento de semillas se realice con agroquímicos o productos a base de biológicos o minerales, que combinen protección contra hongos e insectos plaga, en especial la polilla guatemalteca (*Tecia solanivora*). Algunos de estos productos se relacionan en la Tabla 8.

Tabla 8 Principales moléculas recomendadas para el control de diferentes patógenos mediante el tratamiento de semilla.

Ingrediente activo	Patógeno o plaga a controlar	Recomendación de aplicación	Modo de acción
Carbendazim	<i>Rhizoctonia</i> spp. y <i>Fusarium</i> spp.	Tratamiento por espolvoreo en prealmacenamiento	Sistémico
Mancozeb	<i>Rhizoctonia</i> spp. y <i>Fusarium</i> spp.	Tratamiento por espolvoreo en prealmacenamiento.	Contacto
Carboxin	<i>Rhizoctonia solani</i>	Tratamiento por espolvoreo en prealmacenamiento.	Sistémico
Talco industrial	<i>Tecia solanivora</i>	Tratamiento por espolvoreo en prealmacenamiento.	Barrera física
Clorpirifos	<i>Tecia solanivora</i>	Tratamiento por aspersión en prealmacenamiento.	Contacto
Baculovirus	<i>Tecia solanivora</i> y <i>Phthorimea operculella</i>	Tratamiento por espolvoreo en prealmacenamiento.	Ingestión

Fuente: Elaborado con base en el registro de productos fitosanitarios aprobados por el ICA (2019).

En las actividades que se desarrollaron en las parcelas de transferencia de producción de semilla del Subproyecto Papa, se capacitó a los agricultores en la adecuada protección de los tubérculos contra la polilla guatemalteca (*T. solanivora*) utilizando talco industrial malla 400 (Figura 16), con excelentes resultados.

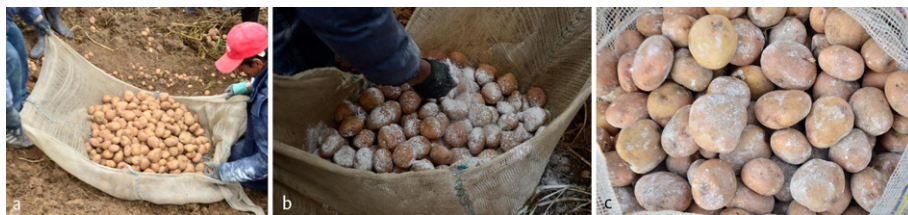


Figura 16 Tratamiento con talco industrial de los tubérculos semilla de papa cosechados (variedad Pastusa Suprema). El tratamiento se realizó directamente en campo: a) Revisión previa a la aplicación del talco. b) Aplicación del talco industrial malla 400 a la semilla seleccionada. c) Producto empacado después del tratamiento.

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

Almacenamiento

El almacenamiento es una condición necesaria hasta la adecuada brotación de los tubérculos destinados para semilla. El almacenamiento debe garantizar la calidad integral de la semilla hasta su comercialización o siembra. Si bien la norma ICA no reglamenta el almacenamiento sí menciona esta práctica como una condición importante para comercializar la semilla de papa.

Uno de los factores más relevantes en el almacenamiento de papa para semilla son las condiciones de bodega. Se recomienda una temperatura de alrededor de 10 °C, una humedad relativa de entre 80 y 85 %, una adecuada ventilación y un estímulo de luz indirecta o difusa (Figura 17). Estas condiciones llevan a una brotación múltiple, lenta y vigorosa, y permiten una deshidratación lenta del tubérculo (Porras y Herrera, 2015). Las temperaturas de 16 a 20 °C pueden acelerar el proceso de brotación y las temperaturas inferiores a 8 °C aumentan el periodo de reposo (Pumisacho y Sherwood, 2002; Huaraca et al., 2009; Montesdeoca, 2005; Strulk y Wiersema, 2012).

La semilla se puede almacenar en bultos o en canastillas. El segundo caso se recomienda para la semilla que se sembrará en la propia finca. Cuando se realiza en bulto, el arrume es determinante en la poscosecha de la semilla. Los arrumes pueden realizarse con bulto horizontal o vertical; el tamaño del arrume debe garantizar la buena ventilación de los bultos, por ello se recomienda que se ubiquen sobre estibas para mejorar la ventilación, y con una altura de arrumado

de máximo tres bultos en posición vertical (Porras y Herrera, 2015) (Figura 17). No deben ser muy largos, de tal manera que se puedan programar manejos para control de polilla, de ser necesario, por ejemplo, con gasificación.

El almacenamiento que se realiza en espacios o condiciones no adecuadas promueve una rápida y desuniforme brotación de los tubérculos semilla, con brotes delgados de color blanco, con dominancia apical y una rápida deshidratación del tubérculo (Figura 18), que conducirá a cultivos heterogéneos en su emergencia, con bajo vigor y disminución del potencial de rendimiento. El común de los productores almacena la papa en bultos sobre tierra o cemento y hacen arrumes altos (en forma horizontal o vertical), sin dejar espacios de aireación entre y por debajo de ellos; esta condición favorece el ataque de plagas, como *Tecia solanivora*, y de bacterias (pudriciones), que afectan la sanidad y calidad de la semilla.



Figura 17 Bodega de almacenamiento de semilla de papa con condiciones adecuadas (uso de estibas, ventilación y luz difusa). Tipo de arrumado: tres bultos en posición vertical.

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

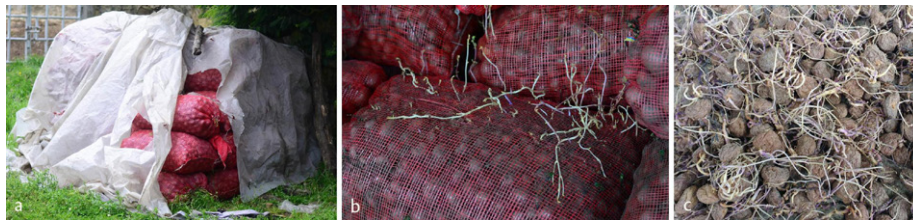


Figura 18 Almacenamiento de tubérculos semilla a) Condiciones de almacenamiento no adecuadas. b) Generación de brotes blancos y delgados entre bultos. c) Brotación bajo condiciones de almacenamiento no adecuadas.
Fuente: Equipo CTA-2 Subproyecto Papa (2018).

Importancia de la semilla de calidad

El éxito del cultivo depende directamente de la calidad de la semilla a utilizar. Además, con una semilla de calidad se reduce el riesgo del traslado de plagas y enfermedades de una región a otra (Larios et al., 2013). La semilla de calidad integral debe cumplir con los parámetros físicos, fisiológicos, genéticos y fitosanitarios para que el cultivo tenga un óptimo desarrollo y las variedades cultivadas puedan expresar su máximo potencial (Montesdeoca, 2005). En la actualidad hay variedades comerciales en el país como Pastusa Suprema y Diacol Capiro, las cuales tienen un potencial de rendimiento que supera las 35 t/ha (Núñez, 2011). Sin embargo, el promedio de rendimiento para el año 2015 solo alcanzó las 20,82 t/ha (Barragán, 2019). Esto se debe principalmente al manejo tradicional que se le da al cultivo, en el que el uso de semilla de calidad es muy bajo.

El impacto que genera el uso de papa de baja calidad convertida en semilla es negativo, pues afecta directamente la sanidad de los suelos donde se cultiva este tipo de semilla, debido a que generalmente esta papa lleva patógenos como *Rhizoctonia solani*, *Spongospora subterránea* y *Rosellinia*, que limitan la producción de la papa. Estos patógenos sobreviven en el suelo por largos periodos de tiempo, como es el caso de la *Spongospora*, donde se reporta su presencia por varios años (De Haan y Van Den Bovenkamp, 2005).

Acceso a semilla de papa

El área sembrada de papa en Colombia para 2018 fue de 130 176 ha (Barragán, 2019); la demanda de semilla es alta, debido a que se siembran entre 1,5 y 2,0 t/ha. Los pequeños productores, quienes representan un porcentaje muy alto del sistema productivo, no tienen acceso a ella. Según documento del Consejo Nacional de la Papa (2010), en el país, la tradición de los agricultores y la relación directa que existe entre el precio de la papa comercial y el precio de la semilla certificada hacen que, al presentarse épocas de bajos precios de la papa comercial, los productores dejan parte de la producción como semilla. Esta situación lleva a que la producción de papa comercial se realice con diferentes tipos de semilla, los cuales difieren principalmente en su calidad, lo que impacta directamente el óptimo desarrollo de los cultivos.

Semilla certificada

El uso de semilla certificada en el cultivo de papa en Colombia es muy bajo; se estima que únicamente el 3 % del área que se cultiva se hace con este tipo de semilla (Fondo Nacional de Fomento de la Papa [FNFP], 2016). Esta participación es principalmente de los grandes productores (quienes cultivan más de 10 ha/año), que en general trabajan con la industria. Según información suministrada por la Secretaría Técnica del Consejo Nacional de la Papa (sin publicar), en el periodo 2013-2017 el 88,20 % de la semilla certificada se concentró en la variedad Diacol Capiro, que es la variedad utilizada por la industria de papa. Los pequeños productores no acostumbran a utilizar este tipo de semilla, porque la consideran de alto costo.

Semilla informal

En Colombia se genera un importante mercado de semilla informal, debido a la baja disponibilidad de semilla certificada y a que el agricultor no dimensiona el efecto que tiene el uso de semilla de baja calidad en sus cultivos. La mayoría de

las veces esta semilla queda constituida por la papa que no se puede comercializar y que, por los procesos naturales de maduración del tubérculo, se convierte en semilla. El uso de esta papa, mal llamada semilla, de la cual no se conoce su procedencia y que por lo general no tuvo ningún proceso de selección con criterios de calidad integral, es la de uso generalizado en Colombia. El uso de este tipo de semilla repercute directamente en el desarrollo y rendimiento de los cultivos, y tiene una incidencia directa en el aumento de plagas y enfermedades, principalmente de suelo (Orrego et al., 2012).

Semilla producida en la propia finca

Los agricultores tienen la costumbre de dejar parte de su producción para ser utilizada nuevamente en sus futuras siembras. La práctica recomendada en este caso es que se seleccione un área del lote de producción (sublote) y allí se realice un manejo diferenciado de cultivo, con el propósito de que su cosecha se destine para su semilla, de esta manera se logra mayor calidad sanitaria de los tubérculos. En la cosecha, para la selección de la semilla se debe tener en cuenta la calidad física; se debe clasificar por tamaños (gruesa, pareja y pequeña), la buena forma y la sanidad de los tubérculos por patógenos del suelo. El buen manejo de poscosecha complementa la buena calidad de la semilla.

La realidad frente a la producción de semilla en la propia finca es que los agricultores, en alto porcentaje, no tienen en cuenta esta recomendación descrita anteriormente; lo que predomina es que de toda la papa que se cosecha en su campo de producción, se privilegian para semilla los tubérculos de tamaño mediano o pequeño y la buena forma del tubérculo. Cuando deciden renovarla buscan, a su criterio, buenos campos de producción de papa en lotes vecinos y, en el mejor de los casos, la compran en zonas con altitud superior a los 3000 m s. n. m. (páramos), en donde la sanidad por virus de los tubérculos es reconocida, pero en donde tampoco es criterio de selección la sanidad por enfermedades del suelo. Luego, en la finca continúan los procesos tradicionales de producción por otros años con esta semilla y se repite el ciclo.

Selección positiva

Es un proceso que consiste en reconocer, seleccionar y marcar las plantas que estén completamente sanas en el campo de cultivo propio del agricultor. Previamente a la cosecha general del lote se deben identificar fácilmente y cosechar por separado; esto permite mejorar significativamente la semilla que se va a utilizar en el ciclo posterior.

Se recomienda que el lote en donde se realiza esta práctica no venga de cultivo de papa en el ciclo anterior; preferiblemente dos años o más, y que la semilla que se utilice sea de buena calidad y tenga el manejo agronómico adecuado y oportuno (Orrego et al., 2012). Para que la selección positiva sea eficiente, se debe capacitar al agricultor en la correcta identificación de las plagas y enfermedades que limitan la producción de semilla. Adicionalmente, el proceso se completa con un buen almacenamiento.

Recomendaciones y perspectivas

La realidad de la baja disponibilidad de semilla certificada para el área cultivada de papa en el país —que en consecuencia implica un alto uso de semilla informal proveniente del excedente de producción de la propia finca, de intercambio con agricultores de la región o adquirida en mercados locales y que, en general, no reúne los criterios de calidad— tiene un impacto negativo en el sistema productivo, en especial por la diseminación de plagas y enfermedades entre las regiones.

La semilla de papa de calidad impacta positivamente la productividad del cultivo. Por lo tanto, es necesario generar iniciativas que les permitan a los pequeños y medianos productores tener un acceso real a este insumo. Se deben incentivar los negocios locales de producción de semilla, los cuales se fundamentan en el fortalecimiento de las capacidades técnicas, administrativas y organizacionales que sean sostenibles e impacten favorablemente el sistema productivo en sus territorios.

La producción de semilla de papa es un proceso especializado que difiere en importantes aspectos de la producción comercial, por lo que es necesario contar con acompañamiento técnico permanente, que garantice el adecuado manejo del proceso para generar un producto de calidad. Además, se debe tener una programación de la producción para satisfacer las necesidades a nivel local.

La producción de semilla se debe dar en zonas agroecológicamente aptas para este fin, procurando siempre el uso adecuado de los diferentes recursos disponibles. En la actualidad, parte de la producción comercial en el país se realiza en zonas sobre los 3000 m s. n. m., con un impacto negativo para el medio ambiente y con sistemas productivos ineficientes.

El establecimiento de zonas de producción de semilla en las áreas cercanas a las dedicadas a la producción comercial facilitará el acceso de los productores a semilla de calidad y mejorará el sistema productivo de papa en general. Se requiere organización y conciencia frente a la problemática, así como el concurso interinstitucional y la organización de los agricultores.

Requerimientos y prácticas en el cultivo

AUTOR:

Carlos Eduardo Núñez López

Clima y suelos para el cultivo de papa

En las condiciones de los Andes colombianos, el rango de altitud de siembra para el cultivo de papa varía entre los 2000 y los 3500 m s. n. m. En este rango de altitud el promedio de temperatura varía significativamente. Así, el periodo vegetativo del cultivo para una misma variedad con un amplio rango de adaptación se hace mayor en la medida en que se cultiva a mayor altitud —y por consiguiente hay una menor temperatura promedio—. En la zona óptima de producción (2500 a 3000 m s. n. m.), las variedades como Diacol Capiro o Pastusa Suprema presentan una diferencia en el periodo vegetativo de entre 30 y 45 días entre los límites dados, donde se pueden tener promedios de temperatura entre los 14 y los 8 °C, respectivamente; dependiendo del ciclo, los potenciales de rendimiento pueden ser similares. Según Núñez (2011a), no todas las variedades tienen amplios rangos de adaptación; por ejemplo, las variedades Parda Pastusa y Rubí presentan mayor crecimiento y rendimiento en las zonas altas (2900 a 3100 m s. n. m.), mientras que la variedad Esmeralda tiene mejor respuesta en zonas de cota inferior (2450 a 2700 m s. n. m.).

Las condiciones óptimas para el desarrollo del cultivo de papa se encuentran en suelos con un pH de entre 5 y 7, lo que evidencia la amplia diversidad de suelos en los que se puede cultivar papa. Estos deben tener una profundidad superior

a los 30 cm (Rubio et al., 2000). Los suelos más deseables son los de textura franca a franco arcillosa, con un porcentaje de carbono orgánico de entre 2,9 y 5,8 % (Castro y Gómez, 2010).

En el cultivo de papa, hablando de la parte química del suelo, es importante resaltar como factores críticos la disponibilidad de magnesio (Mg) y calcio (Ca) y su relación mutua, además de los elementos menores como boro (B), hierro (Fe), manganeso (Mn) y zinc (Zn). También es importante conocer los niveles de nitrógeno (N) y fósforo (P) en el suelo, dado que tanto la sobredosis como la subdosis de nitrógeno son nocivas para el cultivo; en el caso del fósforo la subdosis incide significativamente sobre los rendimientos del cultivo, y su exceso incide significativamente en los costos de producción. Guerrero (1998) reportó para Cundinamarca que la mayoría de muestras de suelo que se analizaban eran altas en potasio y en fósforo. Han pasado dos décadas desde ese estudio y el uso de estos elementos ha sido intensivo en el cultivo de papa; por lo tanto, lo descrito anteriormente es argumento suficiente para destacar la importancia de realizar un análisis de suelo previo al cultivo y contar con el acompañamiento técnico de un profesional, de tal manera que se tomen decisiones relevantes con criterio técnico. Más adelante se discuten otros aspectos técnicos relacionados con este tema.

El agua en el cultivo

Los requerimientos hídricos para el adecuado desarrollo del cultivo de papa se encuentran entre 500 y 700 mm por ciclo. El déficit de agua durante la formación de los estolones, el inicio de la tuberización y el crecimiento de estos, reducen la producción. El impacto es menor cuando la disponibilidad de agua se limita al inicio del crecimiento vegetativo. Del mismo modo, en el período de maduración se requiere menos agua, pues el cultivo utiliza la disponible en la zona de las raíces y, en la práctica, esta falta de agua puede acelerar la maduración y aumentar el contenido de materia seca (FAO, 2008). En general, el requerimiento de agua para el cultivo depende en gran medida de la temperatura del ambiente en el ciclo de crecimiento, la capacidad de retención del suelo

y la variedad sembrada (Rubio et al., 2000). En las condiciones de cultivo de Cundinamarca, en particular en las zonas de ladera, la fuente de agua para el desarrollo de los cultivos es fundamentalmente la precipitación. En estos casos se recomienda realizar la siembra profunda, lo que favorece la disponibilidad de agua para el crecimiento en la fase inicial vegetativa de la planta, que luego se complementa con el aporque.

Preparación de suelo y siembra

El cultivo de papa presenta pocas restricciones en cuanto a las condiciones químicas del suelo y su establecimiento, salvo donde los suelos son salinos o alcalinos (FAO, 2008). Por el contrario, el cultivo es exigente en las labores de preparación de suelo. En general se busca dejar el terreno con una estructura granular (no pulverizado), que permita el adecuado desarrollo de las raíces, facilite su penetración, favorezca la circulación de aire y la retención de agua; se busca que no ocurra la compactación del suelo. Las labores de preparación no deben superar los 28 a 30 cm de profundidad (Inostroza y Méndez, 2009).

En términos generales la preparación del suelo está directamente relacionada con el cultivo anterior, el tipo de suelo y la disponibilidad de maquinaria. Se recomienda que la preparación se realice con tiempo suficiente antes de la siembra, de esta manera se favorece la descomposición de la materia orgánica. En el caso de que el lote tenga como cultivo anterior pastos, en particular pasto Kikuyo, se recomienda primero hacer pases de rastra para romper el cespedón, luego arar (con disco o vertedera) y finalmente pulir con rastrillo. Una buena preparación facilita las labores posteriores de deshierba y aporque.

Según FAO (2002a), el uso intensivo de implementos de labranza convencional que son halados por tractores, tales como arado rotativo (o rotovator) y rastras de discos, han generado problemas ambientales debido a la degradación de los suelos, tales como la erosión (Figura 19), el daño estructural y la compactación; también son la principal causa de desertificación en muchos países en desarrollo.

En los sistemas convencionales de producción de papa, antes de la siembra se realiza la labor de surcada. Dependiendo del área del lote y la topografía del terreno, esta labor se realiza en forma manual, con tracción animal o con tractor. En Cundinamarca es frecuente surcar con caballo, usando un implemento liviano que fue diseñado para las condiciones de ladera por el ingenio local (Figura 20). Este implemento también es usado en la labor de aporque, disminuyendo el uso de mano de obra. Se recomienda que el surcado se realice en contra de la pendiente, procurando que el surco tenga una ligera pendiente que ayude con el drenaje.



Figura 19 Erosión en lotes de ladera por efecto del mal uso de maquinaria e implementos en la preparación de suelos.
Fuente: Núñez (2010a).



Figura 20 Labor de surcada con caballo en Cundinamarca.
Fuente: Nústez (2008).

La densidad de sitios de siembra (Dsi) en el cultivo de papa se define por la distancia entre surcos (Dsu) y la distancia promedio a la cual se ubican las semillas (Dse). Para definirla por hectárea se aplica la siguiente relación:

$$Dsi = \frac{10\,000\text{m}^2}{Dsu(\text{m}) \times Dse(\text{m})}$$

La primera variable (Dsu) oscila entre 90 y 120 cm, y la segunda (Dse) entre 25 y 50 cm. Esto depende de varios factores:

- El tamaño del tubérculo semilla: los tamaños pequeños se siembran a menor distancia que los tamaños grandes.
- El tamaño de la planta de la variedad. En variedades de porte inter-

medio (Diacol Capiro o Esmeralda) la distancia entre surcos debe ser menor que en variedades de porte alto (ICA Única y Rubí). La razón es que cuando las plantas están en plena floración se entrecruzan los surcos y deben poderse realizar los manejos fitosanitarios sin causar mucho daño a las plantas. Esta situación es más crítica en los sistemas convencionales en donde todas las fumigaciones son con mano de obra; es menos crítica en aquellos donde la fumigación se realiza en forma mecanizada, y en cada pase del tractor se cubre un alto número de surcos.

- El destino que se tenga previsto para la producción. Si es para mercado fresco o para papa de procesamiento en hojuela, la distancia entre los sitios de siembra no es muy amplia; en términos generales se recomienda que la distancia sea de entre 35 y 40 cm, con 1 m entre surcos, y usar semilla con un diámetro de entre 5 y 9 cm. Si el destino de la producción es procesamiento en bastón, se recomienda que la distancia de siembra entre sitios sea mayor (entre 45 y 50 cm). Con ello se busca generar menor densidad de tallos por hectárea y menor competencia intrasitio, para aumentar el tamaño promedio del tubérculo cosechado.

En papa la estimación más acertada para la densidad de plantas en un campo de producción es la dada por la densidad de tallos, que se corresponde con el número de tallos por unidad de superficie (m^2). Para esta estimación se tienen en cuenta los tallos principales (aquellos que emergen del brote de la semilla) y los laterales (que son basales a los tallos principales), que también son productivos y que emergen del suelo (Figura 21) (Wiersema, 1987). Como se puede ver, es un concepto diferente al de la densidad de sitios de siembra y técnicamente es importante tenerlo en cuenta para los objetivos de producción.

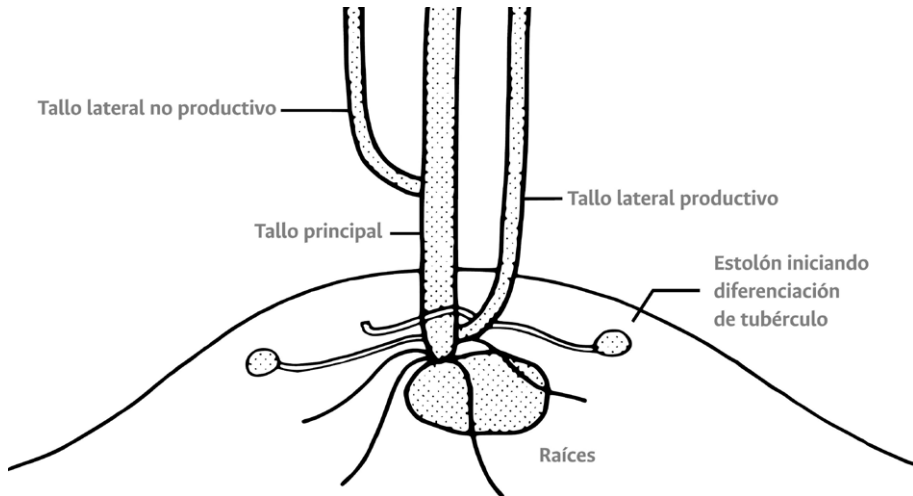


Figura 21 Esquema del sistema de tallos en una planta de papa.
Fuente: Adaptado de Wiersema (1987).

Se recomienda que la siembra de la semilla se realice a una profundidad de entre 10 y 15 cm. Es muy frecuente que luego de poner la semilla en el surco se aplique la primera parte del fertilizante químico (previa recomendación técnica). Adicionalmente se pueden aplicar productos para el manejo de *Rhizoctonia solani*, así como preventivos para el daño de insectos. Finalmente, la semilla se tapa con suelo para garantizar una adecuada emergencia de las platas y evitar la pérdida del tubérculo semilla.

Labores culturales en el cultivo

El cultivo de papa requiere de una serie de labores para lograr un adecuado desarrollo y rendimiento, entre las cuales sobresalen el control de malezas y el aporque.

Control de malezas

En términos generales, la mayor competencia que se puede dar con las malezas se presenta en la fase inicial de crecimiento del cultivo, en especial con las que crecen dentro del surco entre los sitios de siembra, ya que hay alta competencia por luz, agua y nutrientes. Una de las estrategias de manejo es el uso de herbicidas de amplio espectro (como el Paraquat), aplicado a las poblaciones que emergen del suelo en los primeros 10 días después de la siembra, puesto que las plantas de papa requieren entre 15 y 20 días para su emergencia. Esta práctica dependerá de la problemática de malezas que se tenga en el lote. De acuerdo con su evaluación, no siempre será recomendada.

Luego de la emergencia de las plantas de papa (entre los 30 y los 45 días, dependiendo de la altitud en la que se siembre), se debe realizar o complementar el control de malezas. Esta labor se denomina deshierba, se realiza en forma manual con azadón y, en la práctica, constituye el primer aporque del cultivo. Esta labor debe eliminar la competencia de las malezas, al igual que favorecer la mayor aireación en la zona de raíces de las plantas. Es común en el sistema productivo de Cundinamarca que previo a esta deshierba se realice el reabone del cultivo, distribuyendo el fertilizante alrededor de la base de las plantas, que quedará tapado inmediatamente después en la labor con este primer aporque. Esta labor en los campos de producción es predominantemente manual (Figura 22) y, para su mayor rendimiento, los agricultores suelen utilizar inicialmente las surcadoras de tracción animal indicadas anteriormente.



Figura 22 Labor tradicional de deshierba y aporque en el cultivo de papa.
Fuente: Nústez (2017c).

El aporque

El agricultor denomina así al segundo aporque que se realiza tradicionalmente en el cultivo de papa, entre los 15 y los 25 días después del primer aporque o deshierba. Esto depende del ciclo de cultivo, es decir, del crecimiento de la planta, así como de la altitud a la que se encuentre el campo de producción.

Este segundo aporque —que en el lenguaje de los agricultores también se llama la “segunda pala”— también se realiza en forma manual y, junto con el primero, cumplen los siguientes objetivos:

- Evitar que los estolones que están creciendo en el subsuelo se conviertan en tallos laterales por estímulo de la luz (Figura 23), resultado este que sería muy negativo, porque lo que iba a ser un tubérculo de buen tamaño termina convirtiéndose en un tallo, y si este genera tubérculos, tendrán tamaños muy pequeños.
- Favorecer el mantenimiento de la humedad en la zona de raíces de las plantas.

- Contribuir como barrera en la protección contra insectos plaga (gusano blanco y polilla).
- Proteger a los tubérculos del daño de la “gota” (*Phytophthora infestans*).

Cosecha

La decisión de cosecha de un cultivo de papa depende naturalmente de la madurez del tubérculo, que se determina en forma sencilla mediante una prueba que consiste en frotar fuertemente con el dedo pulgar la piel del tubérculo: este se considera maduro cuando la piel es firme y no se desprende. En el caso de que se quiera cosechar anticipadamente un cultivo por condiciones de mercado (precio), se debe realizar el corte del follaje o quema química con herbicidas de amplio espectro; luego de esta labor se debe esperar por lo menos 15 días, periodo en el cual el tubérculo madura y se afirma su piel. Cuando se realiza esta práctica lo que se está haciendo es forzar la maduración. Esto significa que la traslocación de fotoasimilados de hojas y tallos hacia los tubérculos no ocurre más; por lo tanto, este órgano de reserva queda con los sólidos que tiene hasta ese momento, lo que afecta potencialmente su calidad de consumo. En este contexto, el impacto de dicha práctica sobre la calidad del tubérculo será mayor en función del tiempo que le faltaba para alcanzar la madurez natural.



Figura 23 Ejemplo de una planta de papa con estolones que se convirtieron en tallos laterales.
Fuente: Nústez (2019b).

Dependiendo de este periodo de tiempo, el tubérculo tendrá más agua de lo esperado en madurez completa (menos sólidos); por esta razón, no es una labor recomendada cuando el cultivo es para producir semilla.

La cosecha en Cundinamarca se realiza, en su mayoría, en forma manual y se utiliza como herramienta un implemento denominado “gancho” (Figura 24), el cual favorece el rendimiento del arranque y disminuye el daño físico de los tubérculos, porque tiene menor área de corte que un azadón convencional. El operario lo manipula con facilidad y lo utiliza básicamente para remover el suelo del aporque y exponer los tubérculos para sacarlos con la mano e ir formando el surco de papa cosechada.

En términos generales, la cosecha tiene los siguientes pasos que realiza el operario o cosechero:

1. Arranque y “enchorrada” o “bloqueo” de la papa. Esta actividad consiste en reunir en un solo surco lo que se cosecha por lo general en tres surcos.
2. Selección de la papa cosechada y empaque en sacos de fibra de 50 kg, de acuerdo con sus tamaños comerciales, que se definen por el diámetro de los tubérculos: *cero* (mayor a 9 cm), *primera* (de 7 a 9 cm), *segunda* (de 4 a 7 cm), *tercera* (de 3 a 4 cm) y “riche” o desperdicio, que corresponde a papa muy pequeña y a tubérculos con algún tipo de daño.
3. Pesada en campo y, finalmente, cargue al vehículo que lo transportará al mercado o a las bodegas del productor (Figura 25).



Figura 24 Herramienta denominada “gancho” utilizada en la cosecha de papa. Esta herramienta fue desarrollada por la creatividad de los cosecheros o productores. Para su elaboración se utilizan las hojas de amortiguador desechadas de los camiones, y por ello existen de diferente longitud, entre otras variaciones. A estas secciones de hojas se les suelda el “ojo” o “anillo” de un azadón convencional, dentro del cual se empata el “palo o cabo” del implemento, que no tiene una longitud superior a los 70 cm. En los municipios productores del departamento este implemento de cosecha se encuentra para la venta en las ferreterías.

Fuente: Nústez (2005a).



Figura 25 a) Arranque de la papa. b) Bloqueo de tubérculos cosechados. c) Selección y empaque en campo. d) Cargue para el transporte de la cosecha.

Fuente: [en su orden] Núñez (2011a, 2017a, 2017e y 2017b).

La fertilización en el cultivo

AUTORES:

Carlos Eduardo Núñez López

Luis Ernesto Rodríguez Molano

El suelo es un medio natural compuesto de minerales y materia orgánica (sólidos), soluciones (líquidos) y gases, y corresponde a la capa más superficial de la tierra (Malagón et al., 1995). Su estructura se compone de horizontes diferenciados por los procesos de adiciones, pérdidas, translocaciones y transformaciones de energía y materia sobre el material parental (Buol et al., 1989), producidas por efecto ambiental o por el soporte y mantenimiento de las plantas en un ambiente natural (Malagón, 1978).

De acuerdo con Ávila (2000), la mayoría de suelos en Cundinamarca se encuentran en el paisaje de montaña, lomerío y planicie, con pendientes de entre 3 y 25 %; pobremente drenados, con reacción ácida (pH de 5 a 5,5) y fertilidad natural moderada. En las zonas altas de la Cordillera Oriental, en los páramos medios y altos, el clima actúa como factor que retarda la transformación del material parental. Las bajas temperaturas hacen que los procesos físicos sean importantes dentro de la dinámica pedogenética y que las reacciones químicas sean poco evidentes.

La alta precipitación, las bajas temperaturas y la alta nubosidad generan bajas tasas de evapotranspiración, lo que trae como consecuencia suelos escasamente desarrollados, que son poco favorables para la actividad del microbiota.

En Cundinamarca se destacan tres órdenes de suelo que comprenden el 85 % del territorio departamental: Inceptisoles (48 %), Entisoles (23 %) y Andisoles (23 %), estos últimos ubicados principalmente en las zonas de páramo (Ávila, 2000). Esta información permite inferir que, dado que la mayoría de los suelos dedicados al cultivo en el departamento no son Andisoles, entonces no son altamente fijadores de fósforo, situación muy contraria a la que se conoce y se presenta en el departamento de Nariño. A continuación, se describen las principales características de dichos órdenes (Tabla 9).

Debido a la importancia que tiene conocer la taxonomía y el tipo de suelo en el que se desarrollan los cultivos, actualmente existen herramientas que describen en detalle las características de los suelos de Colombia. Este es el caso del sistema Mapa de la Subdirección de Agrología del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), en el cual se ingresa con el municipio o ubicando en un mapa interactivo las coordenadas de un predio específico, allí se pueden consultar diferentes características relevantes del suelo (drenaje natural interno y externo, profundidad efectiva, taxonomía y grado de fertilidad, entre otras).

La fertilidad del suelo se define como su capacidad para aportar agua y nutrientes esenciales a las plantas, los cuales se encuentran presentes en la fase coloidal y en la solución del suelo (Castro y Gómez, 2010). Para mantener la fertilidad del suelo y que este tenga un nivel adecuado de nutrientes para las plantas se deben reponer los nutrientes cuando se pierdan. Esta reposición puede hacerse en forma natural (mediante la descomposición de la materia orgánica) o de forma artificial (mediante aportaciones de nutrientes con fertilizantes); por ende, un fertilizante es una mezcla química, natural o sintética, utilizada para enriquecer el suelo con nutrientes y favorecer el crecimiento vegetal (Arévalo y Castellano, 2009).

Tabla 9 Características generales de los principales órdenes de suelos encontrados en las zonas productoras de papa del departamento de Cundinamarca.

Orden Inceptisol	Orden Entisol	Orden Andisol
<p>Estos suelos son, junto a los Entisoles, los de menor grado de evolución de todos los órdenes. En Cundinamarca se encuentran distribuidos en todos los climas, en áreas planas a escarpadas (200 a 3800 m s. n. m.) y en todos los paisajes presentes en el departamento. Estos suelos tienen perfiles predominantemente A/B/C o A/C, con epipedones ócricos y endopedones cámbicos y epipedones úmbicos que no necesariamente tienen horizontes diagnósticos subsuperficiales.</p> <p>En estos suelos no hay predominancia de ningún material parental y presentan características intermedias de otros órdenes, por lo cual sus características físicoquímicas son muy amplias. No obstante, algunas generalidades encontradas en suelos pertenecientes a este orden son la alta capacidad de intercambio catiónico (CIC), el pH ácido, los bajos contenidos de fósforo, azufre y zinc y las bajas tasas de meteorización de la materia orgánica, como consecuencia de las bajas temperaturas. Cabe destacar que los suelos Inceptisoles presentan una menor capacidad de adsorción de fósforo que los suelos Andisoles (Ramírez, Rendón y Acevedo, 2011).</p>	<p>En Cundinamarca este orden se encuentra distribuido en todos los climas, paisajes y materiales. Presenta escaso desarrollo debido a tres condiciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> Áreas con continuo depósito de materiales. Alteración muy débil de los materiales parentales. Suelos en áreas inestables con procesos de degradación activos. <p>Como consecuencia, se inhibe la acción de los procesos formadores del suelo y se restringe su evolución genética. En estos suelos es común la presencia de perfiles de tipo A/C o A/R, por lo cual carecen de horizontes diagnósticos a excepción de un epipedón ócrico.</p> <p>De acuerdo con Malagón y Pulido (2000), estos suelos presentan una acidez moderada, tienen poca profundidad, e igualmente se caracterizan por sus bajos niveles de calcio y sus altos niveles de potasio y nitrógeno total. Ramírez et al. (2011) mencionan que los Entisoles son suelos con menor adsorción de fósforo en relación a los órdenes Andisol e Inceptisol.</p>	<p>Estos suelos son comunes en zonas con influencia o aportes significativos de ceniza volcánica. Tienden a ser profundos y ricos en materia orgánica, y cuentan con perfiles A/B/C. Su evolución se presenta en sectores de paisaje montañoso, en pisos térmicos muy fríos, fríos y medios.</p> <p>Cabe resaltar que los suelos Andisoles presentan características químicas particulares, como alta adsorción de fósforo, contenidos elevados de hierro y aluminio, acidez entre muy fuertemente ácida a moderadamente ácida, alto poder buffer, alta capacidad de intercambio catiónico y baja saturación de bases.</p> <p>Respecto al nitrógeno, en estos suelos se presenta una acumulación en formas orgánicas, por lo que son muy resistentes a los procesos de mineralización (Shoji y Takahashi, 2002).</p> <p>Respecto al fósforo, su disponibilidad en términos generales es baja, como consecuencia de su retención por los minerales cristalinos de hierro y aluminio.</p> <p>En relación con el potasio, es sugerido que este elemento se encuentra en concentraciones muy bajas en este tipo de suelos, ya que tanto las cenizas basálticas como las arcillas alofánicas no presentan retención preferencial por este elemento (Shoji y Takahashi, 2002).</p>

Fuente: Ávila (2000).

El sistema radicular de la papa

El sistema radicular de una planta tiene funciones claras y definidas: a) fijar la planta al sustrato, b) absorber los nutrientes, y c) absorber agua y realizar intercambio de gases; en algunas ocasiones puede almacenar sustancias de reserva (Ramírez y Goyes, 2004). El sistema radicular de la papa, en comparación con el de otros cultivos, se puede considerar como débil; puede variar de delicado superficial a fibroso y profundo, formando raíces adventicias en la base de cada brote (Figura 26) (Huamán, 1986).

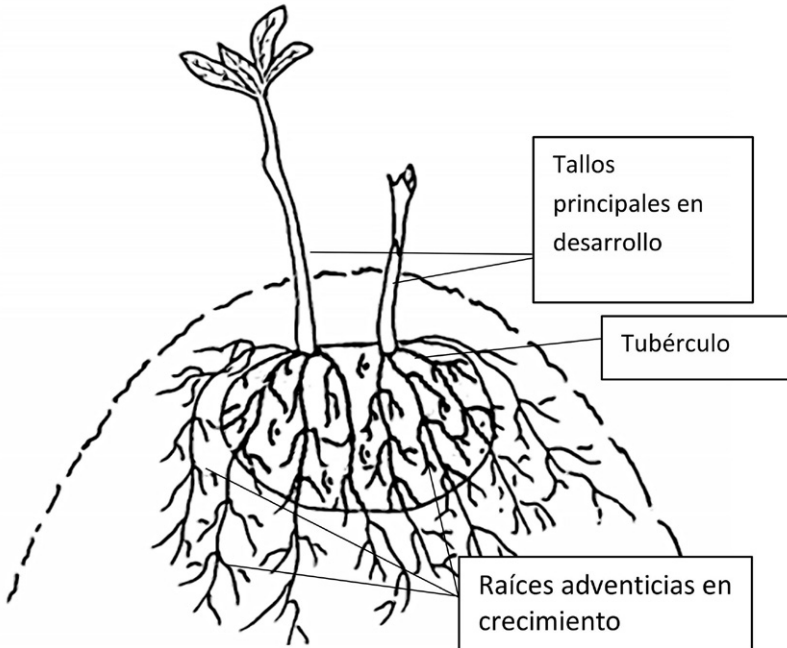


Figura 26 Sistema de raíces de la papa cuando la planta se desarrolla del tubérculo semilla.
Fuente: Adaptado de Huamán (1986).

Dado que el sistema de raíces de la papa por su origen vegetativo es adventicio, su capacidad para auscultar agua y nutrientes en el perfil del suelo es

limitado; por esta razón se recomienda que los fertilizantes edáficos para el cultivo se ubiquen en el entorno del sistema de raíces en crecimiento. De acuerdo con las observaciones de campo, es evidente que existen diferencias varietales con respecto al sistema radicular. Por ejemplo, la variedad Rubí en zonas altas y en suelos de texturas medias presenta un sistema de raíces más abundante que variedades como Diacol Capiro o Parda Pastusa. Este es un carácter poco estudiado en el germoplasma nacional y no se tiene información cuantitativa experimental.

Nutrientes en el cultivo de la papa

Los elementos químicos esenciales en la nutrición de la planta son aquellos que deben estar presentes para que ella pueda completar su ciclo de vida; su función metabólica no puede ser reemplazada por otro elemento y están directamente relacionados con los procesos metabólicos en la planta. Estos elementos son: carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), potasio (K), fósforo (P), azufre (S), calcio (Ca), magnesio (Mg), zinc (Zn), manganeso (Mn), hierro (Fe), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo), cloro (Cl) y níquel (Ni) (Westerman, 2005).

Los nutrientes se suelen agrupar de acuerdo con las cantidades acumuladas en las plantas y a la esencialidad en funciones fisiológicas. De esta manera se definen los macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg y S) como aquellos que sobrepasan concentraciones de 0,1 % con base en la masa seca (Maathuis, 2009). En este grupo se ha realizado una segunda clasificación: macronutrientes primarios y secundarios. En el primer grupo se encuentran: N, P y K, debido a que son los nutrientes que más se acumulan; y en el segundo grupo están: Ca, Mg y S (Salisbury y Ross, 2000). Los micronutrientes (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni y Zn) son definidos como los elementos esenciales que se requieren en cantidades menores a 100 µg/g de peso seco (Prado, 2008).

Para obtener buenas producciones en el cultivo de papa en cuanto a cantidad y calidad del tubérculo, se deben usar las combinaciones adecuadas de macronutrientes N, P y K, que se adicionan a la matriz del suelo para suplir las necesidades del cultivo (Lerna et al., 2011). También es importante conside-

rar los micronutrientes, en particular cuando el suelo evidencia deficiencias (White et al., 2007). Técnicamente, las cantidades a aplicar de los diferentes nutrientes deben ser definidas teniendo en cuenta el análisis de suelos, los requerimientos de la variedad y el ambiente de crecimiento del cultivo.

Los fertilizantes químicos pueden ser de tipo sólido o líquido, pero independiente de la forma en la que se encuentren, los fertilizantes reaccionan según la mineralogía del suelo y los microorganismos presentes en el mismo (Franzen y Gerwing, 1997). En el país existe una amplia oferta de fertilizantes para el cultivo de la papa. Se pueden encontrar en el mercado gran número de combinaciones y grados de fertilizantes, además de fuentes simples que permiten realizar mezclas y formar diferentes grados que no se encuentren en el mercado.

Macronutrientes primarios

Nitrógeno

El nitrógeno (N) es un nutriente esencial constituyente de compuestos vitales como aminoácidos, proteínas, amidas, ácidos nucleicos y coenzimas, entre otros (Hawkesford et al., 2012). La deficiencia de nitrógeno en papa se aprecia principalmente cuando aparece un color entre verde pálido y amarillo claro (clorosis) en la parte aérea de la planta, ubicado primero en las hojas más viejas, comenzando en las puntas. Si la deficiencia es muy fuerte causa la caída de hojas, debido a la translocación de nitrógeno desde los tejidos más viejos a los más jóvenes (Uchida, 2000). La deficiencia de nitrógeno genera reducción en el área foliar de la planta y en el tamaño del tubérculo y, como resultado final, menor rendimiento (Goffart et al., 2008). De otro lado, el exceso de fertilización con nitrógeno produce el aumento del crecimiento en la parte aérea (Figura 27), retraso en la madurez del cultivo, disminución en la producción de tubérculos y afectación de su calidad, al disminuir su tamaño y materia seca (Alva, 2004).

La principal fuente de nitrógeno en el suelo es la materia orgánica, pero debido a las bajas temperaturas su mineralización es muy lenta. Por ende, es preferible usar fuen-

tes sintéticas de rápida liberación, entre las cuales se tienen: urea (46 % N), sulfato de amonio (21 % N), nitrato de amonio (34 % N), nitrato de calcio (16 % N), fosfato diamónico DAP (18 % N) y nitrato de potasio (14 % N) (Ketterings et al., 2003).



Figura 27 Efecto del exceso de nitrógeno en el cultivo de papa: planta de 4,5 meses con longitud de tallos de 2,6 m en lote de la sabana de Bogotá.

Fuente: Núñez (2013a).

Fósforo

El fósforo (P) es un componente fundamental de las membranas vegetales (Taiz y Zeiger, 2006), donde está involucrado en funciones claves como la transferencia de energía, fotosíntesis, transformación de azúcares y almidones (Sultenfuss y Doyle, 1999). Se considera componente estructural de los fosfolípidos, ácidos nucleicos, coenzimas y fosfoproteínas; ayuda a almacenar nutrientes en las semillas como ácido fítico (Bundy et al., 2005). El fósforo afecta significativamente el índice de área foliar durante las primeras ocho semanas después de la emergencia; también incide sobre el número de tubérculos, debido a que influencia la tasa de

crecimiento de todas las partes de la planta durante varias semanas después de la emergencia (Dyson y Watson, 1971). Además, es el precursor en la formación y generación de raíces (Rosen y Bierman, 2008).

Cuando existen deficiencias de este nutriente en el cultivo de papa se observa un color verde más oscuro, hojas delgadas y los folíolos más jóvenes se curvan hacia arriba; el principal síntoma es la reducción en la expansión de la hoja, así como en el número de hojas. Después de una deficiencia prolongada las plantas se muestran pequeñas y presentan área foliar reducida (Tindall et al., 1993).

En suelos ácidos con altos contenidos de hierro y aluminio, el fósforo puede no estar disponible para las plantas, debido a que forma compuestos insolubles que se fijan con materiales alofánicos, formando complejos aluminio-humus; esto sucede en suelos con propiedades ándicas (Castro, 2005). Como se mencionó anteriormente, en los suelos de Cundinamarca predominan los órdenes Inceptisoles y Entisoles; los Andisoles se ubican principalmente en las zonas de páramo (Ávila, 2000), lo que permite inferir que la mayoría de los suelos del departamento no son altamente fijadores de fósforo. Esto es importante tenerlo en cuenta para que en forma técnica se disminuyan las dosis aplicadas al suelo de este elemento, sin que se afecte la absorción del elemento por las plantas.

En el plan de fertilización del cultivo de papa, se recomienda colocar el 100 % de fósforo en la siembra, debido a que este presenta baja movilidad en el suelo y una baja capacidad de lixiviación (Cerón y Aristizábal, 2012). Adicionalmente, el fósforo es muy importante para la temporada temprana de crecimiento de la papa (Stark et al., 2004); por lo tanto, se recomienda aplicarlo en corona alrededor de la semilla, para que la raíz pueda tomarlo y aprovecharlo durante todo el ciclo de cultivo.

Entre las fuentes simples de fósforo comúnmente usadas se encuentra el fosfato diamónico (DAP), el fosfato monoamónico (MAP) y el superfosfato triple (TSP) (Mortvedt et al., 1999). En el mercado se pueden encontrar diferentes fertilizantes de síntesis química o de mezcla física que presentan altos o bajos contenidos en fósforo para el uso en el cultivo de papa; su uso dependerá de las recomendaciones técnicas basadas en el análisis de suelos.

Potasio

El potasio (K) es el único macroelemento que no forma parte de la estructura química de las plantas, pero juega muy importantes roles en su desarrollo (Wib, 1998). Se asocia con el movimiento de agua, nutrientes y carbohidratos en el tejido vegetal; está involucrado con la activación enzimática dentro de la planta que afecta la producción de proteínas, almidón y trifosfato de adenosina (ATP); ayuda a regular la apertura y el cierre estomáticos, que regulan el intercambio de vapor de agua, oxígeno y dióxido de carbono. Si el potasio es deficiente se afecta el crecimiento de la planta y se reduce su rendimiento. Otras funciones del potasio incluyen aumentar el crecimiento de la raíz y mejorar la tolerancia a la sequía, entre otras (Kaiser y Rosen, 2018).

En el cultivo de papa, el potasio se consume en dosis mucho más altas respecto a nutrientes como el nitrógeno y el fósforo (Panagiotopoulos, 1995). Es un elemento que influye más en la calidad del tubérculo que en su rendimiento (Kavvadias et al., 2012), juega un papel importante para mantener el tono y el vigor de las plantas (Shutian et al., 2015), y es considerado esencial en el proceso de translocación de azúcares hacia los tubérculos y la síntesis de almidón (Reis y Monnerat, 2000).

Se afirma que la baja oferta edáfica en suelos arenosos, los excesos de calcio, la fijación de arcillas de tipo 2:1 y la salinidad, limitan la disponibilidad del potasio en el cultivo de papa (Kavvadias et al. 2012). Kang et al. (2014) reportaron que la biomasa de papa y el rendimiento del tubérculo alcanzaron un máximo a un cierto nivel de potasio, y no aumentaron más con un suministro adicional de potasio. Esto indicó que la sobrefertilización aumenta los bancos del nutriente en el suelo, lo que ocasiona un gasto innecesario de dinero en fertilizantes, aumenta los costos de producción del ciclo de cultivo y afecta negativamente la relación costo-beneficio. Según Espinosa y Gómez (2005) el potasio es un elemento móvil en el suelo y, al ser un elemento esencial en la translocación de asimilados al tubérculo, es recomendable fraccionarlo durante el ciclo del cultivo, procurando colocar 40 % de la dosis en siembra y 60 % en el reabone.

La deficiencia de potasio en la papa se puede observar en diferentes estados. En plantas jóvenes, la deficiencia se aprecia cuando las hojas de las plantas

son de color entre verde oscuro y azulado, y generalmente tienen un aspecto brillante. Si la deficiencia de potasio es grave, se podrá observar un bronceado en las hojas, que se tornan de un color entre marrón o amarillo en los bordes exteriores (Figura 28); eventualmente las hojas se secan y envejecen. En las hojas jóvenes se pueden desarrollar manchas de color verde claro entre las nervaduras (Figura 28) y, si la deficiencia no se corrige, las plantas son más cortas y atrofiadas debido al pobre crecimiento de la raíz, los estolones son más cortos y se producen tubérculos más pequeños y de mala calidad (Essah, 2013). Entre las principales fuentes de potasio podemos encontrar el cloruro de potasio KCl (60-62 % K), el sulfato de potasio K_2SO_4 (50 % K), el tiosulfato de potasio $K_2S_2O_3$ (17 % K) y el nitrato de potasio KNO_3 (44 % K) (Kaiser y Rosen, 2018).



Figura 28 Síntoma de deficiencia de potasio en hojas de diferentes genotipos de papa.
Fuente: [en su orden] Nústez (2013b y 2011f).

Elementos secundarios

Calcio

El calcio (Ca) es un componente clave en las membranas celulares de las plantas, pues asegura una buena estabilidad de las paredes celulares y los tejidos (White y Broadley, 2003). El calcio es importante en la papa porque incrementa la firmeza de la piel y la resistencia de los tubérculos a los impactos mecánicos, lo cual está asociado a la estabilización de la pared celular (Koch et al., 2019).

Magnesio

El magnesio (Mg) es el átomo central de la molécula de clorofila; entre el 6 y el 25 % del magnesio total de la planta está unido a esta molécula (Hawkesford et al., 2012), de ahí su importancia en la fotosíntesis. Igualmente, está involucrado en la absorción iónica, la síntesis de proteínas, la estabilidad de los ribosomas y, junto con el potasio, son los elementos más involucrados en la activación de enzimas (Senbayram et al., 2015; Marschner, 2012). Los síntomas de deficiencia de magnesio aparecen primero en las hojas más viejas, donde se observa una clorosis intervenal (Taiz y Zeiger, 2006).

Azufre

El azufre (S) es un elemento estructural de aminoácidos como la cisteína y la metionina, y de proteínas, vitaminas y coenzimas (Salisbury y Ross, 2000). Se afirma que la máxima relación que puede tener el nitrógeno y el azufre es de 15:1; superior a ella el cultivo de papa puede presentar deficiencias de azufre en la etapa de llenado de tubérculo (Westerman, 1993). Entre las fuentes más comunes de azufre encontramos el sulfato de amonio, el sulfato de potasio, el azufre elemental, el yeso y el sulfato de magnesio.

Análisis de suelos

Para saber el potencial de fertilidad del suelo y su contenido de nutrientes, es necesario utilizar una herramienta que nos permita realizar el diagnóstico de su estado. El análisis de suelo funciona como herramienta básica para conocer el potencial de este recurso en sistemas agropecuarios y forestales (Gómez, 2013). Por lo tanto, es de gran utilidad para diagnosticar la disponibilidad de nutrientes en el suelo y establecer recomendaciones de fertilización. El análisis químico del suelo presenta tres componentes: 1) toma de muestras, 2) análisis de laboratorio, y 3) su correcta interpretación. Por consiguiente, la rigurosidad en la ejecución de cada componente es de alta importancia para lograr unas recomendaciones apropiadas (Kidder y Espinoza, 2002).

La responsabilidad del agricultor está relacionada con la correcta toma de la muestra de suelo. Si esta no se realiza con las precauciones necesarias, los resultados entregados por los laboratorios pueden ser erróneos, y causar una incorrecta recomendación a la hora de realizar el plan de fertilización por parte del profesional a cargo.

En el momento de tomar una muestra para realizar el análisis de suelos, se recomienda que dicha muestra no represente más de 5 ha. Debe estar conformada por la unión de varias submuestras tomadas en el área de interés, las cuales se colectan realizando recorridos en el campo en forma de zigzag, equis o cuadrículas. Siempre se debe evitar mezclar diferentes tipos de suelos; por ejemplo, suelos de parches que muestran diferente color (Stark et al., 2004). Según la FAO (2002b), para tomar una correcta muestra de suelo es necesario contar con un barreno o, en su defecto, con elementos tales como pala, cuchillo y un balde. Antes de tomar una submuestra, se debe limpiar la parte superficial del suelo, retirando la capa vegetal que lo cubre, para evitar agentes contaminantes en la muestra. Seguidamente se realizan las siguientes actividades (Figura 29):

- a. Hacer un hoyo de 15 a 20 cm de profundidad con forma de 'V'. Posterior a esto, se toma de la pared lateral del hoyo una tajada con una pala, de aproximadamente 2 cm de espesor. Se recomienda tomar unas 20 tajadas/ha.
- b. Después de extraer la tajada de suelo con la pala, se procede a retirar los bordes inferiores y laterales, para así colocar la porción del suelo en un balde.
- c. De la misma manera se toman las otras submuestras y se depositan en el balde.
- d. Finalmente se procede a homogenizar la muestra y empacar de 0,5 a 1 kg en una bolsa plástica debidamente rotulada, con información tal como: nombre del propietario, municipio, nombre de la finca, cultivo sembrado anteriormente y cultivo a sembrar.

Para la toma de las muestras las herramientas deben limpiarse previamente. También se debe evitar tomar muestras en orillas de cercas o caminos; en lugares donde se realice la carga o descarga de ganado, fertilizantes u otros agentes químicos; en canales, zanjas o cortes de carretera, todo ello para evitar las contaminación y errores en el análisis (Gómez, 2013).

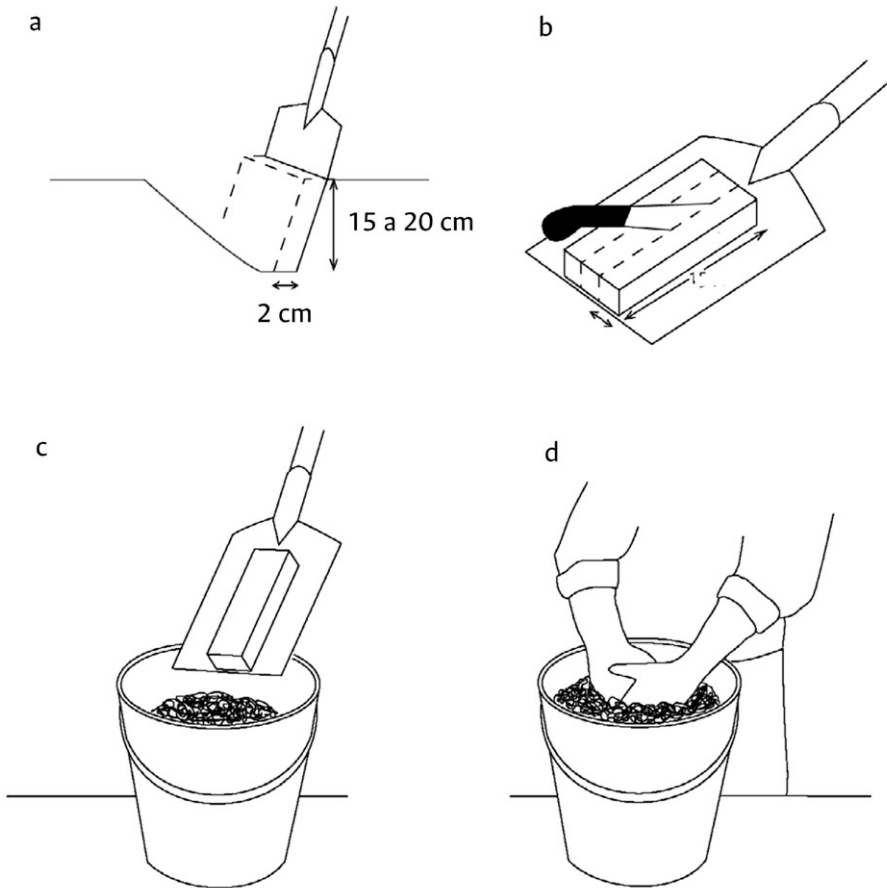


Figura 29 Toma y preparación de muestras de suelo para el diagnóstico químico de la fertilidad.

Fuente: FAO (2002b).

Recomendaciones de fertilización

Las recomendaciones de fertilización en el cultivo de papa deben tener en cuenta los contenidos de nutrientes reportados por el análisis de suelo, el tipo de suelo donde se establecerá el cultivo —en especial, si es o no altamente fijador de fósforo—, y la variedad a establecer, ya que no todas requieren las mismas cantidades de nutrientes; por lo tanto, las demandas de fertilizante para alcanzar sus potenciales de rendimiento son diferentes. Entre las variedades de menor demanda de fertilizante se pueden mencionar: Betina, ICA Única y Pastusa Suprema; mientras que entre las de mayor demanda está la variedad Diacol Capiro.

En el Subproyecto Papa se realizaron en el año 2016 dos experimentos que exploraron la respuesta en rendimiento de la variedad Diacol Capiro, en diversas localidades de la Sabana de Bogotá. En un primer experimento se evaluaron diferentes niveles de nitrógeno (150 y 200 kg/ha), fósforo (100, 200 y 300 kg/ha) y potasio (100, 200 y 300 kg/ha), para lo cual se utilizaron como fuentes urea, DAP y KCl. El fósforo se aplicó 100 % en el momento de la siembra, mientras que el nitrógeno y el potasio se fraccionaron 50 % en siembra y 50 % en reabone. Estos experimentos se realizaron en Mosquera (vereda San Francisco, coordenadas 4° 41' 3,97" N y -74° 13' 5,70" O, a una altitud de 2520 m s. n. m.) y en Subachoque (vereda Canica Alta, coordenadas 4° 55' 46,10" N y -74° 8' 48,17" O, a una altitud de 2660 m s. n. m.). De acuerdo con el estudio de suelos realizado por el IGAC (2000) en el departamento de Cundinamarca, estos suelos corresponden al orden Inceptisoles. Los análisis de suelo se presentan en la Tabla 10.

En la localidad de Subachoque se presentaron diferencias significativas para el factor P (fósforo), en las variables de peso de tubérculo comercial (Cero + primera + segunda) y total, y no se encontraron interacciones entre los factores evaluados (N-P-K). El nivel 100 kg/ha de fósforo fue igual al nivel 200 y superior al nivel 300 en estas variables (Figura 30). Es importante resaltar que este suelo tenía un nivel medio de fósforo y el potencial de rendimiento alcanzado en el experimento fue el resultado de un periodo seco en la fase de crecimiento del cultivo, que no se pudo suplementar de manera adecuada con riego. En el caso del potasio, el nivel del suelo era alto y no se presentó respuesta a los niveles aplicados en el rendimiento del tubérculo. La gravedad específica de los tubérculos para los niveles de potasio evaluados osciló entre 1,080 y 1,081 (determinada por el método de peso en agua y peso en aire) y no se presentaron diferencias entre ellos.

Tabla 10 Resultado de análisis de suelos en las localidades de Mosquera (vereda San Francisco) y Subachoque (vereda Canica Alta).

Localidad	%			meq/100g				
	pH	CO	N	Ca	K	Mg	Na	CICE
Mosquera	5,6	6,63	0,57	23,9	3,91	7,19	8,27	43,3
Subachoque	5,1	17,4	1,5	6,8	1,83	2,06	0,05	11,8

	ppm						Textura (%)
	P	Cu	Fe	Mn	Zn	B	
Mosquera	>116	1,61	254	20,7	78,5	0,38	Far
Subachoque	29	0,32	113	1,31	4,14	0,64	FarA

Notas: meq: miliequivalentes. ppm: partes por millón. CO: Carbono Orgánico. CICE: Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva. FAR: Franco arcillosa. FARa: Frano arcillo arenosa.

Fuente: Equipo CTA-2 Subproyecto Papa (2018) – (Análisis Laboratorio de Suelos, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá).

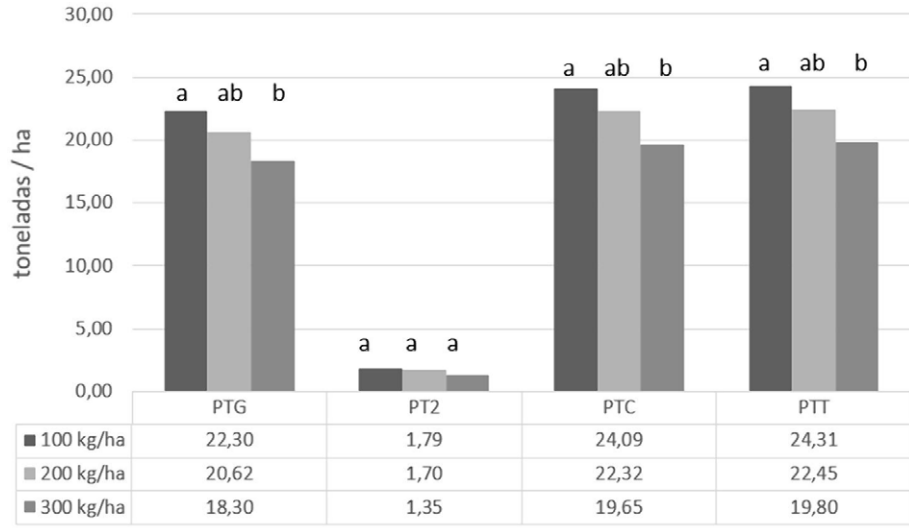


Figura 30 Respuesta del rendimiento de tubérculo en la variedad Diacol Capiro en las categorías primera (PTG), segunda (PT2), comercial (PTC) y total (PTT), en la localidad de Subachoque (vereda Canica Alta) bajo diferentes niveles de fósforo.

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

En la localidad de Mosquera no se presentaron diferencias significativas para ninguno de los factores evaluados, ni se presentaron interacciones entre los mismos. Los niveles bajos de cada factor presentaron rendimientos de tubérculo similares a los niveles altos. En este ambiente el nivel de fósforo en el suelo era alto y no se encontró respuesta al mismo, a diferencia de lo encontrado en la anterior localidad. En la Figura 31 se observan los potenciales de rendimiento alcanzados en Mosquera para los niveles de fósforo y potasio evaluados.

En el caso de Mosquera, la gravedad específica del tubérculo osciló para los niveles de potasio entre 1,074 y 1,076, de forma similar al caso de Subachoque, sin diferencias entre ellos. Estos resultados demuestran que en suelos con buen nivel de potasio no se presenta respuesta en sólidos del tubérculo a la aplicación creciente de dosis de este elemento, el cual los agricultores regularmente incrementan esperando mejorar la respuesta de la variable e incrementando innecesariamente los costos de producción.

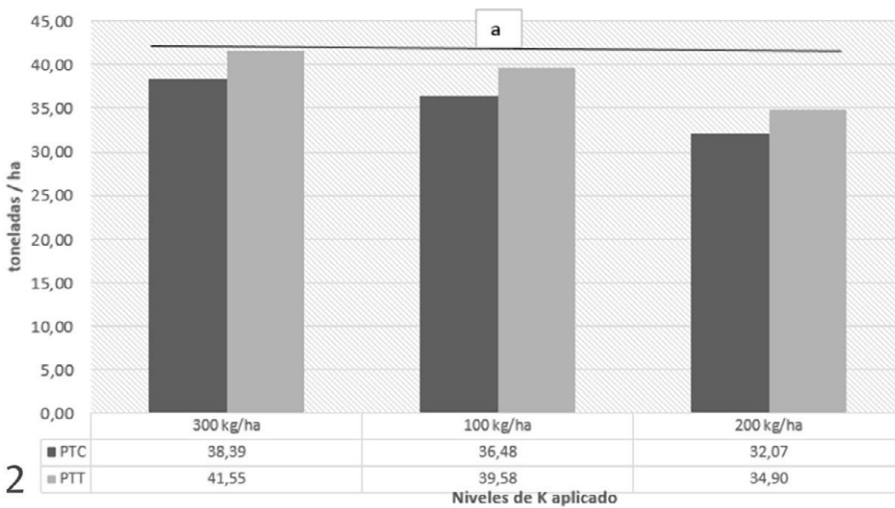
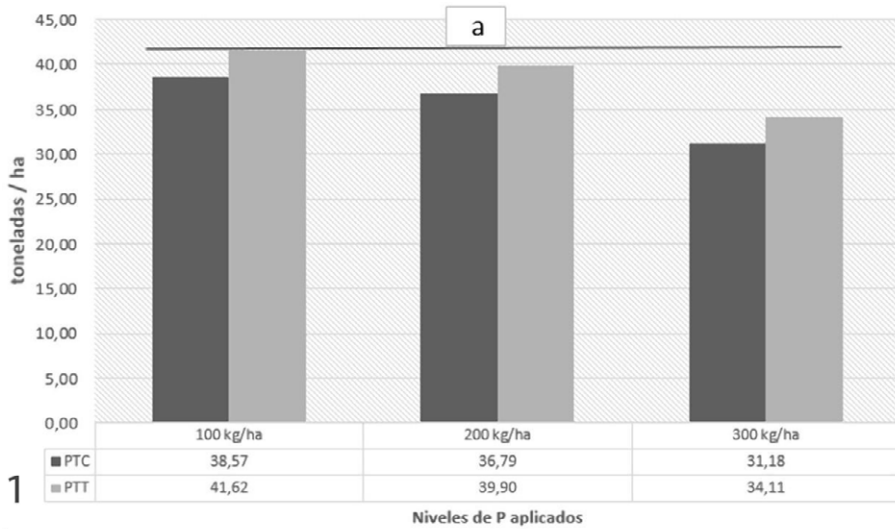


Figura 31 Respuesta del rendimiento de tubérculo en la variedad Diacol Capiro en las categorías comercial (PTC = cero + primera + segunda) y total (PTT), en la localidad de Mosquera (vereda San Francisco) bajo diferentes niveles de fósforo (1) y potasio (2) en kg/ha.

Equipo CTA-2 Subproyecto Papa (2018).

En el mismo Subproyecto Papa, en la fase de transferencia de resultados, se implementó en el municipio de El Rosal (Cundinamarca) una PIPA con la variedad Diacol Capiro, en un área total de 3159 m² (con un área efectiva de siembra en parcelas de 2916 m²). Allí se establecieron para evaluación cuatro propuestas de manejo de fertilización edáfica, una parcela con el manejo convencional del productor y una sin fertilización, para conocer la respuesta de la variedad bajo la fertilidad natural del suelo (Tabla 11). La parcela se sembró en la finca Los Cerezos (coordenadas 4°52'14,39" N y 74°14'2,13" O) a 2620 m s. n. m., en el mes de junio de 2017. El análisis de suelos de esta parcela se presenta en la Tabla 12.

La parcela se sembró bajo el diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, con parcelas de nueve surcos de 18 m de longitud, para un área de 162 m² por cada unidad experimental. Las semillas se sembraron a 40 cm entre sitio de siembra y 1 m entre surcos, para una densidad de 25 000 sitios de siembra/ha. Los tratamientos fueron propuestos con base en resultados previos; se utilizaron fuentes simples (urea, DAP y KCl), y se dosificó el fertilizante por sitio de siembra mediante taras plásticas. En siembra se aplicó en cada tratamiento el 60 % de los elementos nitrógeno y potasio, y el 100 % de fósforo se dispensó en corona con su respectiva tara. En el reabone se aplicó la dosis restante de nitrógeno y potasio.

Tabla 11 Tratamientos evaluados en la PIPA de El Rosal en el año 2017.

Tratamiento n.º	Niveles			Total fertilizante aplicado en kg/ha
	N	P	K	
1	150	200	150	840,7
2	150	200	300	1090,7
3	250	200	150	1058,1
4	250	200	300	1308,1
5	0	0	0	0
6 (agricultor)		200-309-267-86(CaO) -43(MgO)		1800

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

Tabla 12 Análisis de suelo de la PIPA establecida en la finca Los Cerezos, municipio de El Rosal (Cundinamarca), para 2017.

pH	%		meq/100g					
	CO	N	Ca	K	Mg	Na	CICE	
5,67	13,93	1,2	23,2	2,18	3,18	0,3	28,9	
Moderadamente ácido	Alto	Alto	Alto	Muy alto	Alto	Ideal		
ppm						Textura (%)		
P	Cu	Fe	Mn	Zn	B	Arena	Limo	Arcilla
22	1	6,9	15	10	0,37	12	72	16
Medio	Medio	Bajo	Medio	Alto	Medio	Franco Limoso		

Nota: meq: miliequivalentes. ppm: partes por millón. CO: Carbono Orgánico. CICE: Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva.

Fuente: Equipo CTA2 Subproyecto Papa (2018) - (Análisis laboratorio Agrilab).

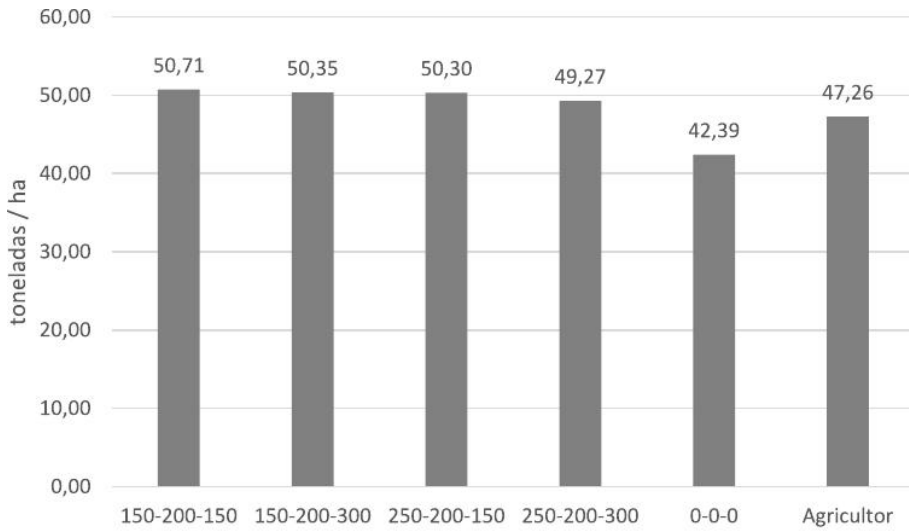
Por su parte, el tratamiento establecido por el agricultor se proyectó a 1800 kg/ha de fertilizante, utilizando la mezcla de fuentes complejas 12-24-12 y Nitrabor (15-0-0 +26 [CaO]) en relación en peso 4:1 en la siembra (60 %). El fraccionamiento, que correspondió al 40 % de los 1800 kg/ha se realizó con la fuente 10-20-30, manteniendo la relación 4:1 para la mezcla de Nitrabor y Magneserita (0-3-0+24 [MgO]). El reabone fue dosificado para 25 000 sitios de siembra por medio de

taras plásticas.

Los resultados de rendimiento en las diferentes variables evaluadas (cero, primera, segunda, tercera y total) no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. El ciclo de cultivo se desarrolló con buena humedad y excelentes condiciones de manejo fitosanitario, de tal manera que el potencial de rendimiento que se alcanzó fue alto. En la variable de papa gruesa (sumatoria de la variable cero y primera), que representó el 91 % de la producción total, se puede ver este resultado (Figura 32). El menor rendimiento se presentó en la parcela sin fertilizante, pero su valor fue alto, lo que evidenció el potencial natural de este suelo y resalta la importancia de contar con el análisis de suelos para tomar una decisión en este aspecto tan importante del cultivo y de su estructura de costos.

El resultado encontrado demuestra que en estos suelos de alta fertilidad y que son poco fijadores de fósforo no se requieren altas aplicaciones de fertilizantes. Como se aprecia en la Figura 32, el potencial de rendimiento del tratamiento del agricultor, que fue el más alto en cantidad de fertilizante y el de mayor costo (Tabla 11), no reflejó la mejor respuesta de rendimiento. Por lo tanto, en un lote de este tipo la decisión más acertada es aplicar niveles de mantenimiento de la fertilidad del suelo. Es claro que en la variedad Diacol Capiro un factor relevante para el buen resultado de rendimiento del tubérculo es la adecuada humedad durante el desarrollo del cultivo, pues ello favorece la disponibilidad de nutrientes. Por otro lado, también es muy importante el buen manejo de la “gota” de la papa (*P. infestans*) ya que, debido a la susceptibilidad de la variedad a esta enfermedad, el daño foliar que causa impacta negativamente su rendimiento.

En esta parcela demostrativa se realizó complementariamente el análisis de nutrientes en tejidos. La muestra se tomó a los 90 días después de siembra y se analizó en laboratorio. Los resultados evidencian una respuesta similar en los contenidos (%) de estos nutrientes en el tejido foliar, independientemente de los diferentes niveles de fertilizantes aplicados. La menor respuesta se observó en el tratamiento sin fertilizante (Tabla 13). Este resultado en el tejido foliar corrobora lo argumentado anteriormente. Para los niveles de potasio en porcentaje (%) resulta coincidente con lo reportado en los peciolos de papa en el estado de Mi-



Tratamientos de fertilización evaluados
 nesota (EE. UU.) por Kayser y Rosen (2018), quienes afirman que hay suficiencia en este elemento cuando su valor se encuentra entre 8 y 10 %.

Figura 32 Rendimiento de tubérculo en la categoría gruesa (PTG = cero + primera) en la PIPA del municipio de El Rosal, para 2017.

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

Tabla 13 Resultados de análisis en el tejido foliar de nutrientes mayores y secundarios para diferentes tratamientos de fertilización.

Tratamientos	% de elementos en el tejido foliar				
	N	P	K	Ca	Mg
150-200-150	3,04	0,18	9,82	1,68	0,26
150-200-300	3,23	0,17	10,92	1,73	0,38
250-200-150	2,95	0,17	9,84	1,59	0,30
250-200-300	3,49	0,18	9,94	1,56	0,36
Sin fertilizante	2,26	0,14	9,14	1,43	0,26

Agricultor	3,14	0,14	9,68	1,71	0,36
------------	------	------	------	------	------

Fuente: Equipo CTA2 Subproyecto Papa (2018) - (Análisis laboratorio Agrilab).

Los trabajos de fertilización con elementos mayores (N-P-K) en la variedad Pastusa Suprema realizados en los municipios de Tuta (Boyacá), Tenjo y Tausa (Cundinamarca), en donde se evaluaron niveles de nitrógeno (100 y 200 kg/ha), fósforo (100, 150 y 200 kg/ha) y potasio (100, 200, 300 y 400 kg/ha), evidenciaron respuestas adecuadas en el rendimiento de tubérculo y una alta gravedad específica, con niveles de 100 kg/ha de cada uno. Los sólidos en el tubérculo fueron favorecidos por los niveles bajos de nitrógeno y se corroboró que la variedad Pastusa Suprema tiene buena aptitud para el procesamiento con tubérculo recién cosechado (Ñústez et al., 2016). Este resultado demuestra la importancia de tener en cuenta la variedad que se cultiva, ya que no responden igual a la fertilización. Desafortunadamente, en nuestro medio no existen estudios específicos de ajuste de fertilización para todas las variedades comerciales, lo que lleva en la mayoría de los casos a la sobredosificación, con un impacto negativo sobre los costos de producción y la competitividad del agricultor.

Aplicación de fertilizantes

Para la aplicación de fertilizantes en el cultivo hay dos factores importantes para tener en cuenta: a) la forma de realizar la aplicación y b) la época en la que se aplica. En el primer caso hay que considerar que el sistema de raíces de la papa es adventicio y, por lo tanto, tiene poca capacidad de auscultar el suelo para tomar los nutrientes. Por esta razón, el fertilizante debe quedar ubicado en la zona donde se desarrollarán las raíces. Sin embargo, se debe evitar que quede muy cerca de la semilla, ya que se puede generar daño por quemazón de los brotes que están emergiendo, situación que genera retraso y falta de uniformidad en la emergencia, ya que la semilla tendrá que generar nuevos brotes. Para su mejor aprovechamiento por parte de la planta, el fertilizante se debe disponer en corona alrededor de la semilla (Figura 33), a una distancia de

mínimo 5 cm de esta, lo cual garantiza su toma eficiente sin afectar los brotes, con independencia de la dosis recomendada por el técnico o profesional a cargo.

Se recomienda utilizar en lo posible una medida (tara) que permita distribuir la misma cantidad de fertilizante por sitio de siembra. Si se quiere disminuir el riesgo de daño en el tubérculo semilla, se recomienda adicionar un poco de suelo al tubérculo antes de aplicar el fertilizante, aunque esta labor resulta un poco más dispendiosa. Distribuir el fertilizante al voleo en el fondo del surco no es una buena práctica, debido a que la aplicación del fertilizante por sitio de siembra es



tamaño de la mano de quien lo distribuye y el cansancio físico, entre otros.

Figura 33 Práctica recomendada para fertilizar en el cultivo de papa: a) Dosis por planta del fertilizante. b) Aplicación manual por sitio. c) Fertilización en corona.
Fuente: Equipo CTA-2 Subproyecto Papa (2018).

En cuanto a la época de aplicación, es importante tener en cuenta la movilidad de los nutrientes en el suelo. Santamaría, Rozo y Barreto (2019), en un estudio de cinética de los nutrientes nitrógeno, fósforo y potasio en experimentos de columna bajo condiciones controladas, reportan que el orden de menor a mayor movilidad en el suelo por efecto del agua es fósforo, nitrógeno y potasio, siendo significativamente bajo el movimiento del fósforo frente a los otros nutrientes. Esta información es un soporte claro de por qué el fósforo se debe aplicar 100 % en el momento de la siembra, mientras que se debe fraccionar el nitrógeno y el potasio.

En las condiciones de cultivo de Cundinamarca, el fraccionamiento indicado para nitrógeno y potasio es aplicar una parte (50 %) en el momento de la siembra

Manejo integrado de enfermedades

AUTORES:

Celsa García Domínguez

Alba Marina Cotes Prado

Camilo Rubén Beltrán Acosta

En el cultivo de papa se presentan diversas enfermedades producidas por factores bióticos como hongos, protozoos, oomycetes, bacterias, virus y nematodos, que actúan sobre diferentes tejidos de la planta como raíces, tubérculos y follaje, y atacan en distintas etapas fenológicas, lo cual afecta su desarrollo normal y causa daños que disminuyen su rendimiento y calidad (Acuña y Tejeda, 2015a). Los patógenos pueden estar presentes durante todo el ciclo del cultivo, pero hay momentos específicos en donde es más común el desarrollo de una determinada enfermedad. Varios ejemplos se ilustran en la Figura 34.

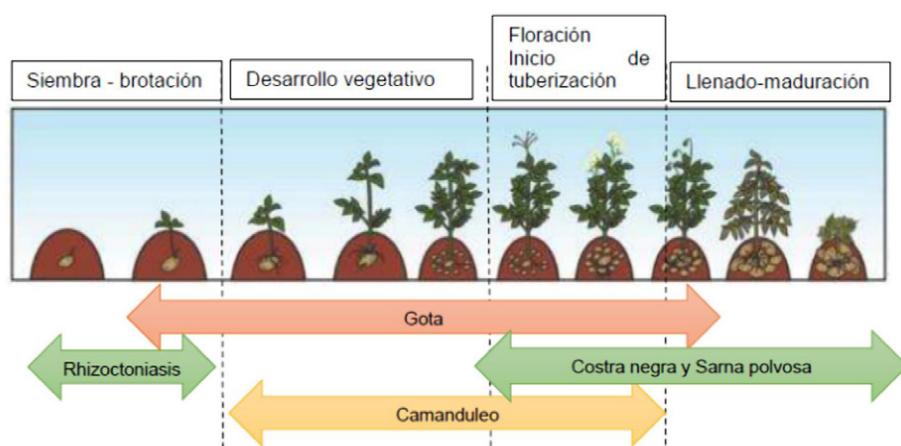


Figura 34 Ejemplos de enfermedades presentes en el cultivo de papa según su ciclo fenológico.
Fuente: Adaptada de Flores-Magdaleno, Flores-Gallardo y Ojeda-Bustamante (2014).

Prácticas generales en el manejo integrado de enfermedades

Reconocimiento y diagnóstico: el correcto reconocimiento de los síntomas de una enfermedad y de su agente causal es el primer paso para generar recomendaciones de manejo integrado de enfermedades, entre las cuales se pueden utilizar estrategias de manejo cultural, control biológico y control químico. Con la aplicación de estas recomendaciones, se busca minimizar la incidencia y la severidad de la enfermedad detectada (Acuña y Tejeda, 2015a).

La importancia de la semilla de calidad: ya sea semilla seleccionada o certificada, es un componente básico del manejo integrado, ya que varios de los problemas fitosanitarios se encuentran en la semilla y, por norma, no deben sobrepasar los niveles de tolerancia establecidos por el ICA para estas enfermedades. En general, no deben presentar síntomas o signos de enfermedades como roña o sarna polvosa (*Spongospora subterranea*), sarna común (*Streptomyces scabies*), costra negra (*Rhizoctonia solani*), “gota” (*Phytophthora infestans*) o bacteriosis (*Pectobacterium* spp.) (ICA, 2011).

Tratamiento de la semilla: esta medida busca mantener las condiciones de calidad sanitaria de la semilla y evitar su deterioro por patógenos. Se pueden usar productos biológicos a base de *Trichoderma* spp. para el control de *Rhizoctonia solani* en el almacenamiento del tubérculo semilla, al igual que productos químicos de modo preventivo, debidamente registrados para el control del patógeno por el ICA. En forma complementaria, también en almacenamiento se puede aplicar Baculovirus, un bioplaguicida a base de granulovirus de *Phthorimaea operculella*, registrado para el control de la polilla guatemalteca (*Tecia solanivora*). En el momento de la siembra, para complementar la protección de la semilla frente a *R. solani* se puede aplicar el mismo fungicida biológico ya descrito en almacenamiento, o fungicidas específicos que presenten registro para el control del patógeno ante el ICA. Su aplicación se realiza mediante fumigación en las dosis recomendadas antes de realizar el tapado de la semilla.

Protección personal y del ambiente: antes de realizar cualquier uso de agroquímicos se deben tener presentes las medidas de seguridad para su uso, tales como: uso de equipos de protección adecuados (caretas, guantes, botas, overol, etc.), leer correctamente la etiqueta del agroquímico a usar, así como tener cuidado con las fuentes de agua, la vegetación secundaria y los recursos naturales (Central Nacional de Cooperativas [Unicoop], 2015).

“Gota” o tizón tardío (*Phytophthora infestans*)

Síntomas

La “gota” es la enfermedad más limitante para la papa en Colombia y en el contexto mundial. Afecta las hojas, los tallos y también los tubérculos. Los síntomas pueden variar según el órgano afectado, la variedad y las condiciones climáticas, según se describe a continuación.

Hojas: es común que los síntomas inicialmente se visualicen en los bordes y puntas de las hojas inferiores de la planta, donde se acumula más humedad en el cultivo. Se observan pequeñas manchas de color marrón entre claro y oscuro, de forma irregular y apariencia húmeda, y presentan en algunos casos halos amarillentos o cloróticos (ICA, 2011; Acuña y Tejeda, 2015b).

En condiciones de alta humedad la lesión se expande, volviéndose de color marrón oscuro, y en el envés de la hoja se presenta un crecimiento aterciopelado de color gris blanquecino, que está compuesto por las estructuras reproductivas del patógeno denominadas esporangióforos y esporangios (Pérez y Forbes, 2008; ICA, 2011; Acuña y Tejeda, 2015b) (Figura 35).



Figura 35 “Gota” de la papa ocasionada por *Phytophthora infestans*. a) Envés de hoja afectada con crecimiento de micelio. b) Pecíolo y hojas con alta incidencia de “gota”. c) Tallo con “gota”.

Fuente: [en su orden] Beltrán (2017a, 2016 y 2010).

El tejido afectado rápidamente se necrosa y muere. A partir de unas pocas lesiones en algunos folíolos y pecíolos se pueden desarrollar rápidamente nuevas lesiones en el resto del cultivo, y su avance sin ninguna medida de control puede afectar y colapsar completamente un cultivo en una semana (Acuña y Tejeda, 2015b).

En condiciones de baja humedad, el avance de la enfermedad disminuye y la lesión es seca y quebradiza, de color marrón más claro, pero se mantiene latente hasta que se presenten condiciones favorables para su desarrollo (Acuña y Tejeda, 2015b).

Tallos: se presentan lesiones necróticas irregulares, alargadas (hasta más de 10 cm de longitud), de color marrón oscuro a negro. Cuando la lesión rodea el tallo afectado, este se puede volver quebradizo y el daño es más severo. En condiciones de alta humedad se puede observar esporulación sobre las lesiones (Pérez y Forbes, 2008; Acuña y Tejeda, 2015b).

Tubérculos: se presentan lesiones irregulares de color marrón oscuro, de apariencia seca y necrótica, que se desarrollan durante el almacenamiento del tubérculo semilla, siendo inóculo inicial del patógeno en nuevos cultivos (ICA, 2011). En el corte transversal del tubérculo se pueden observar unas prolongaciones delgadas de la lesión, que van desde la superficie externa hacia la médula. En estados avanzados se observa una pudrición de apariencia granular de color castaño o rojiza (Pérez y Forbes, 2008). En las variedades colombianas no es frecuente ver estas lesiones, porque los aporques altos en el cultivo protegen a los tubérculos de la infección y desarrollo de la enfermedad.

Manejo

La estrategia de control de esta enfermedad es la implementación de un manejo integrado. Los principales aspectos para considerar son:

- Eliminar del lote donde se establecerá el cultivo los tubérculos que son residuos de cosechas previas. Esta práctica ayuda a eliminar potenciales fuentes de inóculo inicial.
- Realizar rotación de cultivos con especies que no son hospederas del patógeno; por ejemplo: cereales, zanahoria, arveja y habas, entre otras especies.
- Considerar el uso de variedades con algún nivel de resistencia genética a la enfermedad. Para el sistema productivo colombiano se han registrado varias con este tipo de respuesta, como Pastusa Suprema, ICA Única y Punto Azul, entre otras (Ñústez, 2011).
- Examinar los cultivos con relativa frecuencia, para detectar focos de la enfermedad y controlarlos en el momento oportuno, con el fin de reducir la diseminación de la enfermedad en el lote general.

También se deben considerar estrategias de manejo cultural, para que no se favorezca el desarrollo de la enfermedad, tales como:

- Utilizar una densidad de plantación que favorezca la ventilación entre surcos. Esto significa una adecuada distancia entre surcos y no menos de 40 cm entre sitios de siembra.
- No utilizar altas dosis de fertilización con nitrógeno, ya que esto genera un alto desarrollo del follaje, lo que desfavorece el manejo de la enfermedad.
- Realizar aporque alto para evitar la infección sobre los tubérculos.

Igualmente, se deben usar fungicidas en el momento oportuno:

- Es importante aplicar el fungicida adecuado (protectante, sistémico o su mezcla), en el momento oportuno y en forma óptima. Se debe contar con la asesoría previa de un técnico o profesional conocedor del tema.

- Se debe conocer la eficiencia de control y el modo de acción del fungicida, y tener en cuenta cuándo hacer la primera aplicación y con qué frecuencia re-aplicar; esto último dependerá de la resistencia de la variedad y del ambiente de desarrollo del cultivo.
- Evitar repetir el uso de ingredientes activos sistémicos en aplicaciones consecutivas. Es decir, hay que rotar estas moléculas en las aplicaciones para control con fungicidas; es recomendable su mezcla con fungicidas de contacto.

Sarna polvosa y camanduleo (*Spongospora subterranea*)

Síntomas

Se identifican dos distintas sintomatologías de *S. subterranea* en las plantas de papa: sarna polvosa sobre los tubérculos, la disfunción de la membrana de la raíz e hiperplasia de la raíz, conocida comúnmente como camanduleo de la papa (Falloon et al., 2016).

Tubérculo: se presentan pústulas de color castaño claro (de 0,5 a 2 mm de diámetro), que se extienden lateralmente debajo de la epidermis formando lesiones levantadas. El aumento de tamaño y la división de las células parasitadas rompe el tejido, formando proyecciones con apariencia de verrugas. Bajo las lesiones se genera una depresión superficial llena de una masa pulverulenta de esporozoos aglutinados de color castaño oscuro (Bastidas, 2010) (Figura 36a).

Camanduleo: se genera en las raíces por hipertrofia e hiperplasia de las células radicales, y se manifiesta en la formación de agallas alrededor de la raíz (Van De Graaf et al., 2007) (Figura 36b). Las agallas contienen esporozoos a manera de masas pulverulentas y dentro de ellos se encuentran las estructuras de descanso (Merz et al., 2004). Las nodulaciones generadas inicialmente son de color blanco lechoso y a medida que maduran se tornan de color castaño (Ballengren et al., 2016).



Figura 36 a) Sarna polvosa de la papa (*S. subterranea*) en tubérculo. b) Agallas en raíces causadas por *S. subterranea* (“camanduleo”).

Fuente: [en su orden] Beltrán (2017c) y Nústez (2003).

Manejo

Las prácticas que se pueden incluir en el manejo integrado son: rotación de cultivos por periodos prolongados, selección de campos de siembra libres del patógeno, siembra de semilla libre del patógeno, higiene en las herramientas y maquinaria con las cuales se realizan las prácticas culturales (Falloon, 2008).

Varietades tolerantes: en Antioquia, el manejo de la sarna polvosa bajo las condiciones de las zonas productoras de papa se enfocó en la evaluación de los sistemas de rotación de variedades comerciales que tradicionalmente se han considerado altamente susceptibles a la enfermedad (como Diacol Capiro) con variedades más tolerantes al ataque del patógeno (como ICA Puracé), y se ha encontrado que efectivamente esta última variedad presenta menor susceptibilidad a la sarna polvosa (Jaramillo y Botero, 2007). En las condiciones de Cundinamarca se ha evidenciado que la variedad Pastusa Suprema es muy tolerante a la infección en raíces, pero se ha observado la presencia de la enfermedad en el tubérculo, aunque con baja severidad.

Control biológico: diversos autores han reportado que el uso de *Trichoderma asperellum* promueve el crecimiento de las plantas de papa y reduce los síntomas en las raíces (Hoyos et al., 2008). Sin embargo, su eficiencia está relacionada con las condiciones del suelo (Gilchrist et al., 2010).

Por otro lado, Restrepo et al. (2009) mencionan que la aplicación de *T. harzianum* y *Pseudomonas fluorescens*, junto a micorrizas, reducen la incidencia de la enfermedad en las raíces y los tubérculos, según la especie hospedera (*S. tuberosum* o *S. phureja*) y el aislamiento bacteriano empleado bajo condiciones de invernadero. En este campo aún falta mucho por investigar y no se tienen resultados aplicables en campo.

Control químico: en Colombia no hay agroquímicos registrados para el control de *S. subterranea*. Sin embargo, se ha evidenciado que los niveles altos de zinc y manganeso disminuyen moderadamente el desarrollo de agallas (Falloon et al., 2010). La evaluación del fungicida Mancozeb en condiciones de invernadero y de los fungicidas Fluazinam y Mancozeb en condiciones de cultivo comercial aplicados al suelo y a la semilla, permitieron disminuir la multiplicación del patógeno en el suelo, así como de la enfermedad en las raíces y tubérculos, excepto en el caso del Mancozeb aplicado al suelo (Thangavel et al., 2015).

Rizoctoniasis y costra negra (*Rhizoctonia solani*)

Síntomas

La rizoctoniasis se presenta en diferentes partes de la planta durante todo el ciclo de cultivo de la papa, mientras que la costra negra se desarrolla principalmente en los tubérculos.

Hojas: debido a la presencia de chancros en la base de los tallos, la parte aérea se debilita y se observa clorosis y encartuchado de hojas (Figura 37a). A veces, los ápices presentan una pigmentación púrpura (Acuña y Tejada, 2015).

Tallos: las lesiones características producidas en los tallos son chancros de color entre café y negro con hendiduras. Estos pueden continuar creciendo y llegar a estrangular los tallos en las plantas nuevas. Infecciones más tardías producirán chancros en los tallos principales lo que inducirá la formación de tubérculos aéreos (Figura 37c), decoloración y encartuchado de las hojas. Estas lesión es se pueden presentar en la parte del tallo que se encuentra a nivel del suelo o por

debajo de este nivel (Figura 37b). En algunos casos se puede producir una capa de micelio blanco en la base del tallo (Acuña y Tejeda, 2015).

Brotos: el hongo causa lesiones en los brotes (Figura 37d), lo que puede causar su caída, o bien retrasar o impedir su emergencia. Los brotes secundarios que se desarrollan posteriormente son menos vigorosos, emergen tardíamente y producen una población de plantas menos homogénea (Acuña y Tejeda, 2015).

Estolones: se forman lesiones similares a las producidas en los tallos, con chancros de color entre marrón y negro, que pueden llegar a formar hendiduras y estrangular los estolones (Figura 37e). Las infecciones tempranas de los estolones impiden la formación de tubérculos o afectan la formación de los tubérculos en crecimiento, induciendo su deformación (Acuña y Tejeda, 2015).

Tubérculos: se presenta formación de esclerocios de color oscuro, generalmente marrones o negros, que pueden ser confundidos con restos de suelo de consistencia dura, y que se desprenden con dificultad de la superficie del tubérculo. Los esclerocios pueden variar en tamaño, desde muy pequeños, planos e irregulares, hasta grandes masas irregulares que pueden cubrir una gran superficie del tubérculo (Figura 37f). También los tubérculos pueden presentar malformaciones o muñequo (Acuña y Tejeda, 2015).



Figura 37 Síntomas en plantas de papa ocasionados por *Rhizoctonia solani*: a) Entorchamiento de las hojas. b) Lesiones en tallos. c) Tubérculos aéreos. d) Lesiones en brotes. e) Lesiones en estolones. f) Costra negra en tubérculos.

Fuente: a, b, d y e) Beltrán (2008c, 2008b, 2008a y 2017b). c) Equipo CTA-2 Subproyecto Papa (2017). f) Equipo CTA-2 Subproyecto Papa (2019).

Manejo

Control biológico: el control biológico es una alternativa amigable con el medio ambiente y no tiene un efecto negativo sobre la salud animal o humana (Obiols y Guardino, 2001). Se ha demostrado que la aplicación de *Trichoderma* spp. en combinación con *Pseudomonas* spp. tiene potencial para el manejo de la enfermedad, disminuye su incidencia por la alta actividad parasítica contra la esclerocios de *R. solani* y por su actividad antifúngica, a la vez que promueve el crecimiento vegetal y permite aumentar el número y peso de los tubérculos (Cotes et al., 2001; Tsror et al., 2001; Beltrán, 2004; Brewer y Larkin, 2005; Chung et al., 2005; Beltrán et al., 2007; Bautista et al., 2007).

Rotación de cultivos: se han realizado trabajos para el control de la enfermedad sobre cultivos de papa utilizando la rotación con frijol-canola, frijol-cebada y

maíz-canola, que generaron una notable reducción de la incidencia y severidad de la enfermedad en tallos y estolones, y una mejor calidad del tubérculo por la disminución de esclerocios (Larkin y Honeycutt, 2006). En las condiciones de Colombia, de los cultivos indicados para rotación, la cebada y el maíz son los que se podrían considerar en esta estrategia.

Control químico: para el control de *R. solani* se encuentran registradas varias moléculas ante el ICA. En general se recomienda realizar una aplicación de fungicida al momento de la siembra, antes de tapar la semilla, y dos aplicaciones adicionales: una en la desyerba, dirigida a la base de la planta, y otra 120 días después de la siembra, cuando se presenta una alta incidencia de la enfermedad. Al igual que en el manejo de la “gota” se recomienda la rotación de ingredientes activos y contar con la asesoría de un técnico o profesional conocedor del tema.

Alternaria o tizón temprano (*Alternaria solani*)

Síntomas: esta enfermedad ataca el follaje y los tallos de la planta, pero no los tubérculos. Se presenta generalmente antes de la floración y hasta la madurez de la planta (ICA, 2011). Los síntomas en las hojas son anillos concéntricos y en el centro se observan manchas necróticas de color marrón entre claro y oscuro (Figura 38). Los síntomas iniciales se generan en las hojas basales más viejas, las cuales eventualmente constituyen la fuente de esporulación secundaria que puede desarrollar una mayor severidad de la enfermedad al finalizar el cultivo (Acuña y Tejada, 2015b).

Las condiciones apropiadas para el desarrollo de esta enfermedad son: días calurosos, alta humedad relativa, y la alternancia entre días lluviosos y secos, lo que favorece la esporulación. El hongo puede permanecer en los residuos de la cosecha, en el suelo, en plantas de papa espontáneas y en malezas de la misma familia (ICA, 2011).



Figura 38 Sintomatología de alternaria en hojas de la planta de papa.

Fuente: Beltrán (2017e).

Manejo: para evitar la propagación del inóculo en los lotes donde se repite cultivo se recomienda la eliminación de los residuos de la cosecha y de plantas espontáneas de papa o “toyas”. Es importante el manejo oportuno de las malezas y es muy deseable que se realice la rotación de cultivos. En forma complementaria, se cuenta con varias moléculas químicas registradas ante el ICA para el control de la enfermedad, las cuales requieren la recomendación de un técnico o profesional.

Sarna común (*Streptomyces scabies*)

Síntomas: en el cultivo de papa existen diferentes patógenos que producen lesiones, costras y otros tipos de daños en los tubérculos. Sin embargo, en ocasiones no se manifiestan síntomas en la parte aérea de la planta; este es el caso de la sarna común de la papa causada por la bacteria *S. scabies* (Díaz y Perera, 2011). Esta enfermedad se presenta sobre la superficie de los tubérculos y no penetra profundamente en los tejidos.

La sintomatología causada es de lesiones con apariencia de pústulas corchosas de color marrón; este tejido corchoso va agrietándose y creciendo con los tubérculos (Figura 39). La severidad está relacionada con la tolerancia o la susceptibilidad de las variedades al patógeno (Torres, 2002).

La infección ocurre por las lenticelas y/o heridas en el periodo inicial de formación del tubérculo. Cuando los tubérculos están maduros ya no son susceptibles al ataque de la bacteria; no obstante, las lesiones ya ocasionadas se expanden mientras el tamaño del tubérculo aumenta, lo cual aumenta la severidad.



Figura 39 Sintomatología de *S. scabies* en el tubérculo de papa.
Fuente: Beltrán (2017f).

Virus del amarillamiento de las nervaduras de la papa (PYVV)

Síntomas: este virus interfiere en el movimiento de nutrientes dentro de la planta. Ocasiona clorosis, que comienza en las nervaduras secundarias y terciarias, y posteriormente se disemina a las nervaduras primarias y cubre la lámina foliar parcial o totalmente (Alfaro y Franco-Lara, 2016) (Figura 40). Esta sintomatología conlleva a una reducción en la capacidad fotosintética de la planta y pérdida de vigor. El PYVV puede afectar la producción de papa hasta en un 50 % en *S. tuberosum* Grupo Andígenum cv Diacol Capiro (Salazar et al., 2000) y en más de 25 % en *S. tuberosum* Grupo Phureja cv Criolla Colombia (Guzmán et al., 2012). Este virus tiene la característica de enmascararse de un ciclo productivo a otro, en el cual se pueden presentar plantas portadoras del virus que en campo no reflejan los síntomas característicos, lo que conlleva a que se dificulte su detección y manejo.



Figura 40 Planta con síntoma del virus del amarillamiento de las nervaduras de la papa (PYVV).
Fuente: Núñez (2011e).

Manejo: la detección de plantas infectadas por el virus y su eliminación en campo es un paso importante en los programas de manejo, pues disminuye las probabili-

dades de diseminación del virus (Guzmán et al., 2012). Dentro de los métodos más efectivos se encuentra usar semilla libre de virus y el manejo integrado dirigido a su vector, la mosca blanca, lo cual debe involucrar la rotación con cultivos que no sean hospederos de este, con el fin de interrumpir su dinámica poblacional. Se recomienda la instalación de trampas amarillas adhesivas con el fin de capturar los adultos del vector, así como el control químico con insecticidas específicos. También se recomienda realizar el control de arvenses hospederas del virus, que son: corazón herido (*Polygonum nepalense* Meisn.), hierba mora (*Solanum americanum*), barbasco (*Polygonum segetum* HBK) y lengua de vaca (*Rumex obtusifolium* L.) (ICA, 2014).

Patanegra de la papa o pudrición negra (*Pectobacterium atrosepticum*)

Síntomas: esta enfermedad, también conocida como pudrición negra, ataca la base del tallo cercano al cuello de la raíz (Figura 41). La bacteria invade el parénquima en la base del tallo, el cual se torna de color negro, característico de la enfermedad (Acuña y Tejeda, 2015c); sin embargo, ocasionalmente puede extenderse hacia los tubérculos. Detiene el crecimiento de la planta y esta se vuelve clorótica. Si las condiciones ambientales son de alta humedad la planta muere.

El tubérculo semilla es la principal y más importante fuente de inóculo, y se pueden desarrollar tres posibles vías:

- a. Se puede descomponer el tubérculo semilla antes de la emergencia en campo.
- b. La bacteria puede moverse directamente por los haces vasculares y causar la enfermedad. La alta humedad favorece la enfermedad, la descomposición del tubérculo semilla y la diseminación del patógeno.
- c. Se pueden generar plantas que no se contaminan inicialmente en el cultivo (plantas asintomáticas); sin embargo, se pueden contaminar en almacenamiento por medio de tubérculos semillas infectados (De Boer y Rubio, 2004).



Figura 41 Síntomas en plantas de papa ocasionados por *Pectobacterium atrosepticum*: a) Clorosis y marchitamiento generalizado de la planta afectada. b) Lesiones de pudrición en la base de los tallos.

Fuente: [en su orden] Núñez (2011c y 2011d).

Manejo: se recomienda evitar la humedad excesiva en los tubérculos cosechados, y mantener condiciones secas y de buena aireación durante el almacenamiento del tubérculo semilla certificado o seleccionado. Igualmente, los lotes de siembra deben tener buen drenaje para manejar la humedad y los posibles encharcamientos. Eliminar las plantas infectadas y los residuos de la cosecha (ICA, 2011).

Pudrición blanda de la papa (*Pectobacterium carotovorum*)

Síntomas: las condiciones anaeróbicas favorecen el crecimiento de la bacteria; por lo tanto, la saturación de humedad en el suelo por exceso de lluvias puede favorecer esta enfermedad. La acción de las enzimas pectinolíticas del patógeno ocasiona daño en el parénquima de las plantas, y produce una pudrición húmeda y granulosa de color blanco, o en ocasiones oscura de color entre café y negro (Figura 42), la cual expele mal olor.



Figura 42 Síntomas de pudrición causada por *P. carotovorum* en tubérculo de papa.

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

Manejo: se recomienda evitar la humedad excesiva en los tubérculos durante la cosecha. El almacenamiento siempre debe ser de tubérculos secos y se debe mantener la semilla en condiciones de buena aireación (ICA, 2011).

Mortaja blanca o papa salada (*Rosellinia* spp.)

Síntomas: la sintomatología que esta enfermedad presenta comúnmente en raíces y tubérculos es un recubrimiento de micelio blanco grisáceo, a manera de telaraña, sobre la superficie. En la parte interna del tubérculo se observa un crecimiento radial de las estructuras del hongo, desde la superficie a su parte interna, que termina causando pudrición (Figura 43). El follaje de las plantas enfermas presenta clorosis y flacidez; finalmente las hojas mueren en el tallo y se detiene el crecimiento de la planta. Muy pocas plantas afectadas por *Rosellinia* spp. completan su ciclo satisfactoriamente y los tubérculos no se pueden comercializar, lo que genera pérdidas significativas en el cultivo, dependiendo de la incidencia.

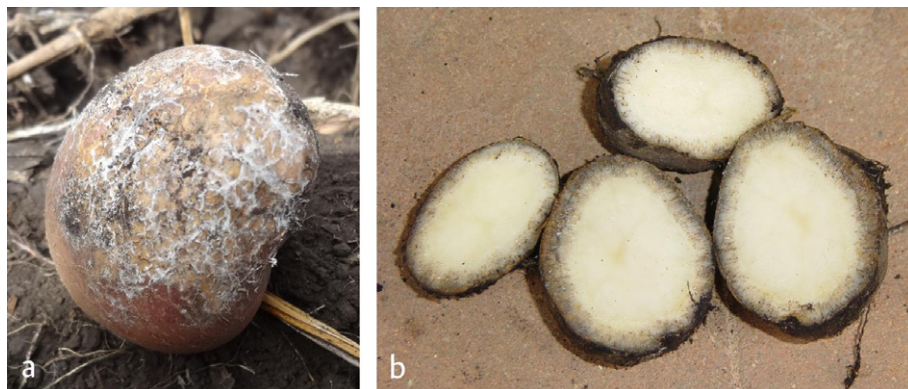


Figura 43 Síntoma de *Rosellinia* spp. en la parte externa (a) y la parte interna (b) del tubérculo de papa.
Fuente: [en su orden] Beltrán (2017d) y Núñez (2004a).

Manejo: como recomendación general, no se deben dejar para semilla los tubérculos de las partes del campo donde se ha presentado la enfermedad; es decir, estas áreas se deben aislar en el momento de recolección de la cosecha y, sin mayor duda, todos los tubérculos que se cosechen en ese sitio y su entorno, y que aparentemente estén sanos, deben ser enviados para el consumo, nunca para semillas.

Duarte (1999), encontró que la aplicación de benzimidazol en la siembra y de alcohol fosfonato en la desyerba, seguidas de la aplicación de *Trichoderma harzianum* en el aporque, contribuyeron en el control del hongo y la producción de tubérculos sanos; pero indica que esta estrategia de manejo de la enfermedad debe estar acompañada de la recolección de los residuos de la cosecha y de la rotación con un cultivo no susceptible.

Nematodo dorado de la papa (*Globodera rostochiensis*)

Síntomas: se reconocen dos especies del nematodo de quiste de la papa: *G. rostochiensis* (nematodo dorado de la papa) y *G. pallida*, con hembras que son de color blanco a crema, cuyo principal hospedante es la papa. Al observar las raíces de plantas en floración se pueden visualizar pequeños cuerpos blancos, que son

hembras en proceso de madurez; luego se pueden presenciar en las raíces y en los estolones quistes de color dorado o café (Cid del Prado, 2015) (Figura 44). En los cultivos infestados con nematodo dorado se pueden observar en focos plantas con pobre crecimiento, floración prematura, y menor tamaño y número de tubérculos cosechados. También se puede presentar clorosis, marchitez y muerte prematura (Noma et al., 2010).



Figura 44 Nemátodo de quiste en desarrollo en raíces de papa.

Fuente: Núñez (2017d).

Manejo: requiere la aplicación de estrategias de manejo integrado. Estas pueden incluir el establecimiento de zonas de cuarentena para evitar la diseminación y la rotación de cultivos con especies que no sean solanáceas, es decir, no hospedantes (por ejemplo, cebada u otro cereal). El tiempo de rotación dependerá del estado de infestación de los suelos, la solarización del suelo en las épocas de mayor radiación solar (épocas secas). También se pueden establecer cultivos trampa, estrategia que requiere especial cuidado y observación en campo y, de ser necesario, el uso de productos químicos nematocidas que tengan registro (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria de México [SENASICA], 2013). Una recomendación adicional es el uso de variedades de papa resistentes al nemátodo, varias se han reportado y desarrollado en el contexto internacional, desafortunadamente para Colombia no se conoce información al respecto, debido a que no se han realizado los estudios necesarios, y es un carácter que no se ha incluido en las estrategias de evaluación de clones en los programas de mejoramiento genético de papa.

Manejo integrado de plagas

AUTORES:

Eduardo Espitia Malagón

Nancy Barreto Triana

Liliana Cely Pardo

Wilmar Wilches Ortiz

Carlos Eduardo Ospina Parra

Gusano blanco (*Premnotrypes vorax* H.)

Descripción y daño: el gusano blanco *P. vorax* Hustache (Coleoptera: Curculionidae), conocido en Suramérica como el gorgojo de los Andes, es una de las principales plagas del cultivo de la papa, ya que deteriora el tubérculo afectando su calidad para el consumo (Figura 45). Esta plaga se encuentra distribuida en casi todas las zonas paperas del país y de otros países andinos; en Colombia se ubica en alturas comprendidas entre los 2800 y los 3500 m s. n. m. Fue por mucho tiempo la plaga que causó el mayor impacto económico en los departamentos de Boyacá, Cundinamarca, Nariño y Norte de Santander (Herrera, 1997). La larva del insecto (Figura 46) es la responsable del daño y las pérdidas al alimentarse de los tubérculos, en los que forma galerías profundas que le dan un aspecto corchoso y posteriormente el tubérculo se pudre. El adulto (gorgojo o picudo) se alimenta del follaje en horas de la noche realizando mordeduras en forma de media luna en los bordes de las hojas (Herrera, 1997; Corzo, 2000).



Figura 45 Daño en tubérculo producido por el gusano blanco de la papa (*P. vorax* H.).
Fuente: [en su orden] Nústez (2019a) y Cely-Pardo (2019g).

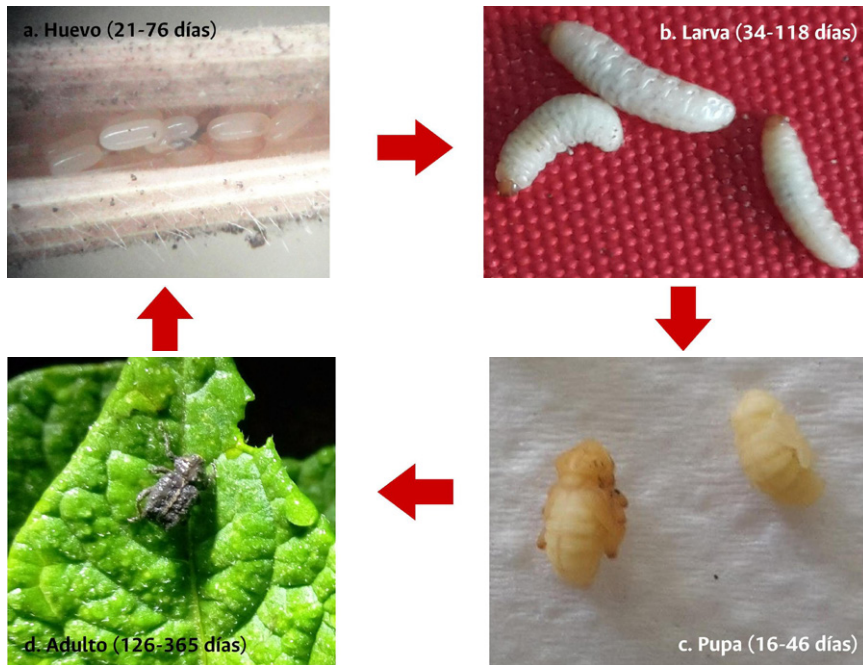


Figura 46 Ciclo biológico del gusano blanco de la papa (*P. vorax* H.).
Fuente: [en su orden] Vargas (2015); Cely-Pardo (2019d y 2019e) y Wilches (2017).

Manejo

Antes de la siembra: no hay que sembrar en lotes infestados. Se deben rotar los cultivos como estrategia para interrumpir el ciclo biológico del insecto. Tam-

bién eliminar las fuentes de infestación, como residuos de cosecha, papa para consumo abandonada, “toyas” (plantas espontáneas) en los lotes de cultivo y los cultivos abandonados. Hay que utilizar semilla sana, libre de la plaga e instalar cultivos trampa; esto consiste en sembrar en el contorno del lote tres surcos de papa susceptible, 20 días antes del cultivo principal (Peña, 2001).

Durante el cultivo: controlar las arvenses hospederas de la plaga, como lengua de vaca (*Rumex* sp.) y corazón herido (*Poligonum nepalense*). Realizar aporque alto, con el objeto de crear una barrera física entre la larva recién nacida y el tubérculo. Hacer seguimiento de las poblaciones de adultos en los lotes, mediante el uso de trampas de caída o de paso (Figura 47), que se colocan en los bordes para establecer la presencia de adultos de gusano blanco (Argüelles-Cárdenas et al., 2012; ICA, 2011).

Las trampas de paso atraen y dan refugio a los adultos durante el día. Consisten en costales de fique o cartón de 40 x 40 cm, que se cubren con follaje fresco, al cual se le aplica un insecticida para causar intoxicación por ingesta en el insecto (Argüelles et al., 2012; ICA, 2011; Pérez-Álvarez et al., 2010).

Las trampas de caída son recipientes plásticos que se llenan hasta la mitad de agua con jabón y se entierran a nivel del suelo a una distancia de 10 m entre uno y otro; encima se les coloca una malla con un pedazo de planta o tubérculo para atraer a la plaga y se tapan con cartón para proteger la boca del recipiente. Cada ocho días se deben realizar conteos de los adultos de gusano blanco y, cuando las poblaciones sean mayores a 15 adultos, se recomienda aplicar el producto químico, empezando por los sitios donde se encontró la plaga (Pérez-Álvarez et al., 2010).



Figura 47 Trampas para seguimiento de adultos de gusano blanco (*P. vorax* H.): a) Trampa de paso. b) Trampa de caída.
Fuente: [en su orden] Cely-Pardo (2013b y 2013a).

El control químico se debe emplear siempre y cuando se observe la presencia de poblaciones de adultos en los lotes de papa. La aplicación se debe dirigir a la base del tallo durante la emergencia, antes de la primera desyerba y durante el aporque. Se recomienda utilizar insecticidas registrados en el ICA, que tengan registro específico para el control del gusano blanco. Se deben preferir los insecticidas de categoría toxicológica más baja, es decir las categorías II ó III (moderada y ligeramente peligrosos, respectivamente) según la normatividad establecida para Colombia por el ICA¹. Es importante realizar la cosecha oportuna, es decir, cuando los tubérculos lleguen a su madurez fisiológica, para evitar ataques tardíos de la plaga (ICA, 2011).

Almacenamiento: se recomienda almacenar semilla sana, libre de la plaga, preferiblemente aislando los tubérculos del contacto directo con el suelo, en un lugar con luz difusa y aireado. Revisar y limpiar la bodega con frecuencia y no dejar envejecer la semilla en el almacén (Herrera, 1997; ICA, 2011; Peña, 2001).

Minador o tostón de la papa (*Liriomyza* spp.)

Descripción y daño: los adultos del minador o tostón de la papa (*Liriomyza* spp. Diptera: Agromyzidae), son moscas pequeñas que se caracterizan por poseer una mancha amarilla en el dorso del tórax (Figura 48a). Sus larvas producen minas en el interior de las hojas por el consumo del tejido interno de la lámina foliar (Figura 48b). Las larvas son ápodas (sin patas), pero se desplazan dentro de las minas, que pueden ser de tamaño variado. Cuando terminan su desarrollo, forman puparios en el envés de las hojas, que luego se desprenden para caer al suelo. Tanto las galerías —causadas por las larvas de la mosca minadora al alimentarse del mesófilo de las hojas— como las numerosas picaduras realizadas por la hembra al alimentarse y al ovipositar, afectan al follaje de las plantas y pueden llegar a causar pérdidas significativas del rendimiento, especialmente si el ataque ocurre en el periodo de formación y llenado de los tubérculos (Fedepapa, 2005; Gómez y Rodríguez, 1995; López-Ávila, 1996).

¹ El Manual técnico andino para el registro y control de plaguicidas químicos de uso agrícola se aplica en Colombia según Resolución 3497 de 2014 del Instituto Colombiano Agropecuario, y establece las categorías toxicológicas de los plaguicidas así: I-Extremadamente peligroso; Ib-Altamente peligroso; II-Modestamente peligroso; III-Ligeramente peligroso.

Ciclo de vida: los huevos del minador miden entre 0,1 y 0,3 mm de longitud. Son colocados en el envés de las hojas, en forma aislada y cerca de la nervadura central; incuban durante un periodo promedio de 6 a 8 días. La larva recién nacida mide aproximadamente 3 mm, inicialmente es de color blanco cremoso y cuando se desarrolla toma una coloración amarillenta. En su desarrollo pasa por tres instares larvales y puede durar de 13 a 20 días. La pupa se puede encontrar en el suelo o pegada al envés de las hojas; esta fase tiene una duración de 30 días. Los adultos son pequeños mosquitos de color negro con manchas amarillas en la parte dorsal y lateral del tórax, en el fémur y en el frente de la cabeza. La hembra se alimenta del follaje, haciendo un agujero con el ovipositor y luego se voltea para chupar; esto ocasiona una serie de puntos blancos en las hojas. Los machos pueden vivir aproximadamente 20 días y las hembras un mes (López-Ávila, 2000).



Figura 48 a) Adulto de minador o tostón (*Liriomyza* spp.). b) Daño causado por el minador o tostón (*Liriomyza* spp.). c) Trampa pegajosa para seguimiento de poblaciones de adultos.

Fuente: [en su orden] Wilches (2018); Cely-Pardo (2019a) y Peña (2019).

Manejo

Como medidas de prevención se deben controlar las arvenses hospederas alternas y recolectar los residuos de cosecha.

Control cultural: se debe hacer rotación de cultivos para romper el ciclo biológico de la plaga. Con una fertilización adecuada de elementos mayores y menores, la planta tolera mejor el ataque a los insectos.

Control etológico: utilizar trampas amarillas pegajosas de 30 x 40 cm, ubicadas a la altura del follaje (60 cm aproximadamente), en diferentes sitios del lote a una distancia de 10 m, para ver la presencia de adultos (Figura 48c).

Control químico: para aplicar el control químico se debe tener en cuenta el número de adultos que se capturan realizando pases dobles de jama con la red entomológica, esto es, un barrido de lado a lado del camino mientras la persona avanza. Hasta la floración se sugiere realizar 10 pases dobles de jama, con un umbral de acción de 15 adultos capturados. Después de la floración, realizar 10 pases dobles de jama, con un umbral de acción de 20 adultos (Fedepapa, 2005). Se recomienda la aplicación de insecticidas que tengan registro ICA contra esta plaga, dirigidas hacia los adultos y las larvas.

Mosca blanca de la papa (*Trialeurodes vaporariorum* W.)

Descripción y daño: la mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae) ha sido registrada en más de 250 especies de plantas y en la mayoría de cultivos de importancia económica. Es transmisora del virus del amarillamiento de las nervaduras de la papa (PYVV) (ICA, 2011).

Los adultos de la mosca blanca son pequeños insectos de color blanco; se pueden observar fácilmente en el envés de las hojas, junto con los huevos y ninfas. En el cultivo de papa la mosca blanca no genera un daño directo que tenga importancia económica. Sin embargo, causa daños indirectos, como la trasmisión del virus del amarillamiento de las nervaduras (PYVV), de plantas de papa o de otras plantas hospedantes enfermas a plantas sanas (Cardona et al., 2005). También, aunque

con menos frecuencia, la presencia de altas poblaciones de mosca blanca genera la aparición de fumagina (película superficial de color negro que aparece en las hojas), una enfermedad causada por el género *Capnodium*, que es favorecida por la excreción de sustancias azucaradas sobre las hojas, lo que conlleva a la disminución del área fotosintética de las plantas (Torres et al., 2014).

Ciclo de vida: este insecto se caracteriza por ser hemimetábolo, es decir, de metamorfosis incompleta. Cuenta con tres estados de desarrollo: huevo, ninfa (ninfa IV, también llamada pupa) y adulto. Los huevos son alargados, de 0,2 mm de longitud; inicialmente son blancos y cuando están próximos a eclosionar son de color café oscuro. Son fijados en el envés de la hoja por medio de un pedicelo. Cabe resaltar que la reproducción puede ser tanto asexual, por partenogénesis formando machos, como sexual (Cardona et al., 2005; Pérez-Maldonado, 2008).

La ninfa pasa por cuatro instares: en el primero, con la ninfa recién nacida, se le conoce como “gateador”; tiene forma oval y coloración transparente; es el único estado inmaduro que tiene movimiento y que utiliza para localizar el sitio de alimentación. El segundo instar es de forma oval, con el doble de longitud (0,38 mm). El tercer instar se puede observar a simple vista y el cuarto instar, también llamado pupa, es de coloración opaca; se caracteriza por hilos de cera largos y erectos; la pupa mide 0,73 mm (Cardona et al., 2005).

Los adultos son de coloración amarillenta, con alas transparentes (pero de apariencia blanca). El color blanco lo da una secreción cérea, polvorienta y blanca (Figura 49). Esta especie presenta dimorfismo sexual: las hembras son más grandes y pueden poner entre 80 y 300 huevos (Cabello et al., 1996; Cardona et al., 2005; Pérez-Maldonado, 2008).



Figura 49 Mosca blanca (*T. vaporariorum* W.) sobre follaje de papa.
Fuente: Díaz (2019).

Manejo

Control cultural: al final del cultivo es necesario eliminar totalmente los rastrojos y hacer rotación con cultivos no hospederos (maíz, cebolla, pastos, repollo o lechuga). Realizar fertilización sin exceder el nitrógeno, para evitar hojas más succulentas y por ende más atractivas para esta plaga. Utilizar trampas amarillas pegajosas para el monitoreo de la población (ICA, 2011).

Control químico: es recomendable iniciar las aplicaciones cuando aparezcan las primeras ninfas de mosca blanca; se deben hacer dirigidas al envés de las hojas del tercio inferior de la planta y evitar las aplicaciones calendario (ICA, 2011).

Se recomienda la aplicación de insecticidas de baja toxicidad y que estén registrados ante el ICA para el control de mosca blanca en el cultivo de la papa. De preferencia usar las categorías III y II (ICA, 2011).

Polilla guatemalteca de la papa (*Tecia solanivora* P.)

Descripción y daño: esta plaga pertenece al orden Lepidóptera, familia Gelechiidae. El adulto es una polilla que mide alrededor de 1 cm. Tiene hábitos nocturnos, y sus vuelos son cortos y erráticos; la hembra es de mayor tamaño que el macho. El daño lo ocasiona la larva (Figura 50), que penetra el tubérculo y forma galerías en su interior. Esta plaga ocasiona pérdidas económicas de entre el 20 y el 30 % de los cultivos, con daños hasta del 100 % en lotes infestados y en almacenamiento (Barreto, 2005; Herrera, 1998; Herrera et al., 2000; Salazar y Betancourth, 2009).

Ciclo de vida: el ciclo (Figura 51) comienza al realizarse la postura de los huevos sobre los tubérculos, o próximos a ellos en la base del tallo. La hembra pone entre 200 y 500 huevos, que eclosionan entre 10 y 15 días después de la postura. La larva penetra el tubérculo haciendo un orificio de entrada diminuto, difícil de detectar en su estadio inicial. El estado de larva o “gusano” es el que ocasiona el daño (Figura 50a), al formar galerías dentro del tubérculo mientras se alimenta, acumulando excrementos a su paso. Este estado dura entre 20 y 30 días, dependiendo principalmente de las condiciones de temperatura. En el último instar la larva sale del tubérculo a pupar (Herrera, 1998) (Figura 50b). Esta puede desarrollarse en el suelo, en los costales de papa, en hendiduras de la madera o en los tubérculos infestados. Esta fase dura entre 15 y 23 días y posteriormente emerge el adulto (Herrera, 1998; Herrera et al., 2000).



Figura 50 Polilla guatemalteca (*T. solanivora*) en tubérculos de papa: a) Larvas. b) Pupas. c) Daño en un grupo de tubérculos. Fuente: [en su orden] Cely-Pardo (2019c, 2019f y 2013c).

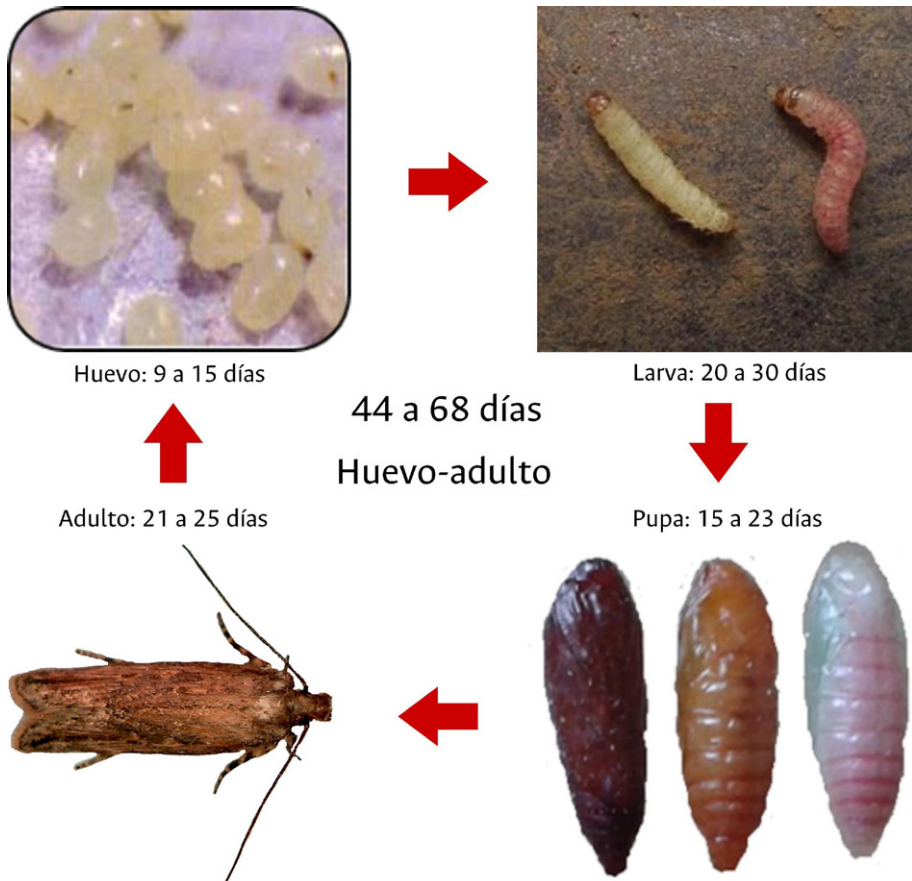


Figura 51 Ciclo de vida de la polilla guatemalteca de la papa (*T. solanivora*). Fuente: Valbuena-Benavides et al. (2019).

Manejo

Como método de seguimiento para aplicar alguna estrategia de control, es adecuado el uso de trampas de feromona sexual, especialmente a partir del inicio de la floración. Se deben utilizar como mínimo 4 trampas/ha, colocadas en las esquinas del lote y revisarlas semanalmente (Figura 52). El umbral estimado de capturas por trampa (promedio semanal) es de 50 adultos por trampa a la semana (Herrera, 1998; López-Ávila y Barreto-Triana, 2004).



Figura 52 Trampa de agua con feromona para polilla guatemalteca (*T. solanivora*) en cultivo de papa.
Fuente: [en su orden] Equipo CTA-2 Subproyecto Papa (2019) y Cely-Pardo (2019b).

Antes de la siembra: preferiblemente no se debe realizar siembra en lotes infestados. Rotar los cultivos como estrategia para interrumpir el ciclo biológico del insecto. Eliminar las fuentes de infestación, como son los residuos de la cosecha, papa para consumo abandonada, plantas “toya” (espontáneas) en los lotes de cultivo y utilizar semilla sana (Herrera, 1998; López-Ávila y Barreto-Triana, 2004).

Durante el cultivo: realizar siembra profunda (de 15 cm) para proteger el tubérculo de la infestación de polilla, y aporcar tapando la base de la planta para dificultar la penetración de las larvas a los tubérculos (López-Ávila y Barreto Triana, 2004).

Aplicar riego por aspersión en época seca. Utilizar trampas con feromona sexual de la polilla para conocer la presencia de la plaga y definir el momento oportuno para su control, especialmente desde el inicio de la floración y hasta la cosecha. Se recomienda utilizar de 4 a 16 trampas/ha, las cuales deben ser revisadas semanalmente. Cuando se acumule un promedio de 50 machos por trampa por semana, teniendo ya 16 trampas/ha, es necesario aplicar control químico. (Herrera, 1998; Herrera et al., 2000; LópezÁvila y Barreto-Triana, 2004).

Se deben emplear insecticidas registrados en el ICA que sean específicos para polilla guatemalteca, y preferiblemente los de categoría toxicológica II ó III (moderada y ligeramente peligrosos, respectivamente) según la normatividad establecida para Colombia por el ICA², los cuales pueden tener mayor selectividad a la fauna benéfica. El insecticida seleccionado debe ser aplicado en la base del tallo y cerca de las hojas bajas para controlar los adultos. Es importante tener en cuenta el periodo de carencia del producto utilizado, especialmente cuando se acerca la cosecha, para evitar residuos tóxicos en los tubérculos. Se debe realizar la cosecha de manera oportuna, es decir, cuando los tubérculos lleguen a su madurez fisiológica, para evitar ataques tardíos de la plaga (Herrera, 1998; Herrera et al., 2000; ICA, 2011; López-Ávila y Barreto-Triana, 2004).

En almacenamiento: almacenar semilla sana y libre de la plaga, preferiblemente en condiciones de silo rústico o en guacales plásticos, en un lugar con luz difusa y aireado (Herrera, 1998; Herrera et al., 2000). El tratamiento de la semilla puede ser realizado con productos biológicos a base de *Baculovirus phthorimaea* o con insecticida químico en polvo (ICA, 2011). También se deben ubicar estratégicamente una o dos trampas con feromonas para detectar y cuantificar la población de la plaga.

2 El Manual técnico andino para el registro y control de plaguicidas químicos de uso agrícola se aplica en Colombia según Resolución 3497 de 2014 del Instituto Colombiano Agropecuario, y establece las categorías toxicológicas de los plaguicidas así: I-Extremadamente peligroso; Ib-Altamente peligroso; II-Modéradamente peligroso; III-Ligeramente peligroso.

Pulguilla de la papa (*Epitrix* spp.)

Descripción y daño: la pulguilla (*Epitrix* spp. Coleoptera: Chrysomelidae), es un insecto defoliador polífago, adaptado a las plantas solanáceas. Estos insectos son muy abundantes en las etapas iniciales del ciclo de cultivo (Pérez-Otero et al., 2010). El insecto adulto es un cucarrón pequeño, que tiene unos 2 mm de longitud, de color negro brillante y que al más leve contacto se escapa mediante saltos (Figura 53).



Figura 53 Adulto (a) y ataque (b) de pulguilla de la papa (*Epitrix* spp.).
Fuente: [en su orden] Salinas (2019a y 2019b).

El principal daño se observa inmediatamente después de la emergencia del cultivo. Los adultos se alimentan de los folíolos o cogollos, ocasionando orificios redondos en la superficie de la hoja. Son más severos en el primer mes de cultivo, al destruir parcial o totalmente las hojas y la estructura de la planta (ICA, 2011).

Los métodos de muestreo empleados son la observación directa del número de adultos por cogollo y la evaluación directa de daño (10 % de área foliar afectada es el límite de daño para aplicar medidas de control) (Fedepapa, 2005).

Ciclo de vida: sus huevos son microscópicos, ovalados y blanquecinos. La larva tiene entre 2 y 3 mm de largo y es de color blanco cremoso, se alimenta de las raíces pequeñas de las plantas o la superficie de los tubérculos, y puede durar hasta tres semanas en este estado. Las pupas son libres (no se desarrollan dentro del tubérculo), son de color blanco y miden de 6 a 8 mm de largo. La

incubación de los huevos dura 11 días, las pupas duran 16 días, y la longevidad de los adultos oscila entre 45 y 199 días. Esta plaga tiene un amplio rango de hospederos y pasa fácilmente de un cultivo a otro (ICA, 2011).

Manejo

Control cultural: se recomienda realizar control de arvenses, de ser posible aplicar riego al cultivo y realizar rotación de cultivos con aquellos que no son hospederos, como cebada, avena y haba, entre otros (Fedepapa, 2005; ICA, 2011).

Control químico: está orientado al control de los adultos, especialmente en las primeras etapas de desarrollo del cultivo. Cuando se presentan altas poblaciones de la plaga durante la emergencia, se deben realizar aplicaciones de insecticidas químicos aprobados por el ICA (Fedepapa, 2005; ICA, 2011).

Tiroteador de la papa (*Naupactus* spp.)

Descripción y daño: al igual que el gusano blanco, el tiroteador de la papa (*Naupactus* spp. Coleoptera: Curculionidae) pasa por los estados de huevo, larva, pupa y adulto. El adulto es un gorgojo que en ocasiones presenta franjas claras en los costados del cuerpo (Figura 54); es de hábitos nocturnos y se alimenta del follaje; en el día permanece oculto debajo de los terrones, cerca de la planta de papa. En campo el adulto generalmente pone los huevos en los tallos secos de gramíneas, en grupos de 19 a 56. En ocasiones podrían encontrarse en posturas de grupos de huevos por fuera de esos tallos. Las larvas son ápodas, de color blanco y con forma de 'C', son de vida libre (no se desarrollan dentro del tubérculo); se alimentan de las raíces y los tubérculos, en los cuales hace orificios circulares y de pocos milímetros de profundidad que les dan mal aspecto y los hacen no aptos para el consumo (Espitia y Zuluaga, 2006).

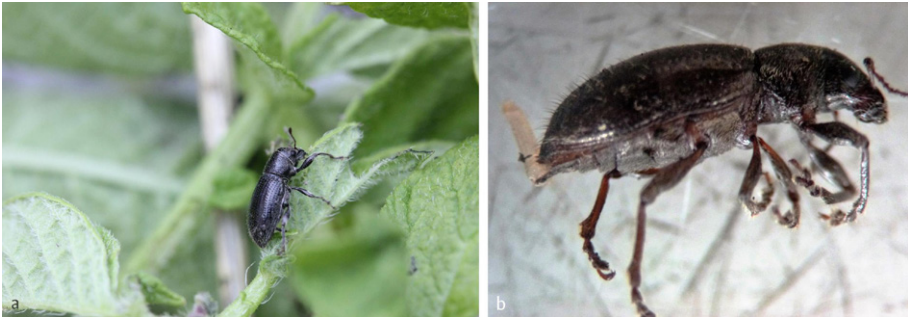


Figura 54 Adultos de tiroteador de la papa (*Naupactus* spp.).
Fuente: [en su orden] Español (2014a) y Wilches (2014).

El seguimiento de la plaga se debe hacer durante todo el ciclo del cultivo y se hace sobre los adultos de la plaga. Se puede hacer observación directa del daño por la alimentación de los adultos en follaje (daño irregular por mordeduras en los folíolos de las hojas), que se presenta desde la formación de los brotes hasta la aparición del órgano floral. Como métodos de muestreo se usan trampas de caída o de paso, que son las mismas descritas para el gusano blanco (Espitia y Zuluaga, 2006).

Ciclo de vida: por lo general, las larvas permanecen en el suelo, cerca de la rizósfera de la planta. Al final de su estado larval, dejan de alimentarse y se profundizan en el suelo hasta 70 cm, donde elaboran una cámara pupal; allí se produce su transformación a adulto. La larva tiene una vida promedio de 270 días, mientras que los adultos pueden vivir hasta 123 días (Figura 55). A diferencia del gusano blanco y de la polilla guatemalteca, el tiroteador también puede atacar otros cultivos, como ajo, arveja, frijol, maíz, trigo, sorgo y fresa, entre otros (Garza-Puentes, 2006).

Manejo del tiroteador de la papa: para su manejo se recomienda recolectar y destruir los residuos de la cosecha; eliminar las arvenses hospederas, como nabo y lengua de vaca, y realizar aporque alto. Adicionalmente, se recomienda detectar los adultos mediante el uso de trampas de paso o de caída, ubicadas en los bordes y en el interior del lote (Espitia y Zuluaga, 2006).

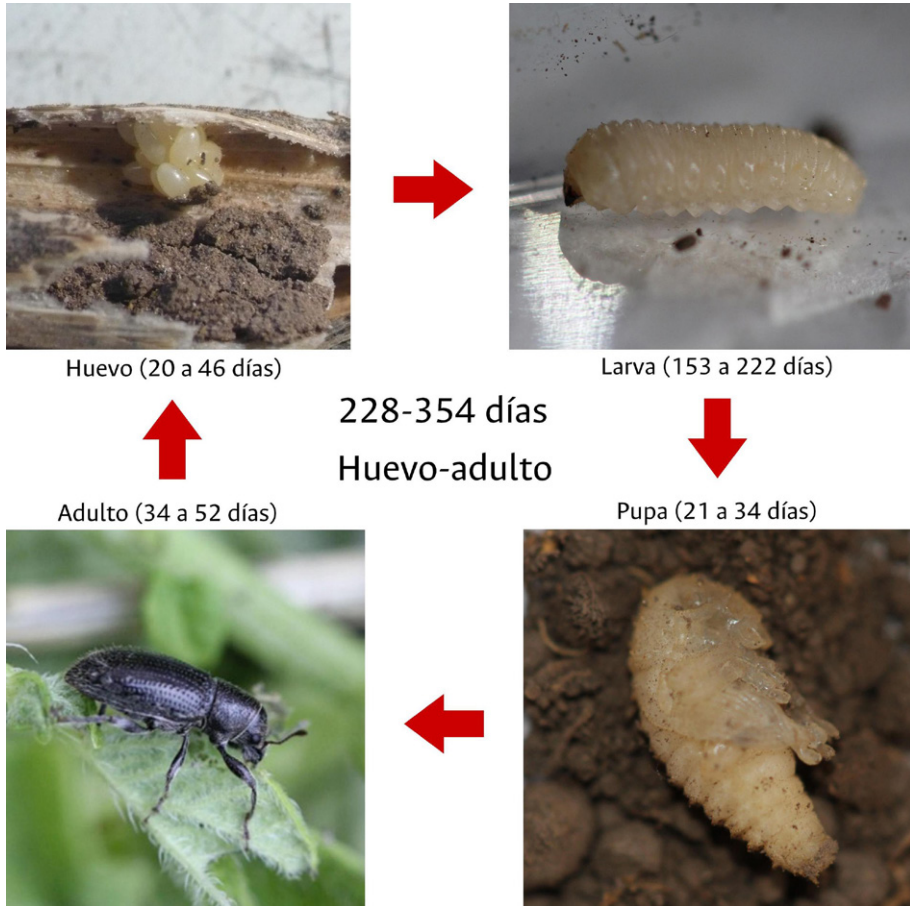


Figura 55 Ciclo de vida del tiroteador de la papa (*Naupactus* spp.).

Fuente: [empezando en esquina superior izquierda y en el sentido de las manecillas del reloj] Español (2014b, 2014c, 2014d y 2019).

Contexto socioeconómico del cultivo de papa en Cundinamarca

AUTOR:

Carlos Eduardo Núñez López

Introducción

En el país, el área sembrada de papa se concentra en cuatro departamentos: Cundinamarca, Boyacá, Nariño y Antioquia. Cundinamarca es el que contribuye con el mayor porcentaje de la producción nacional, y en el 2018 alcanzó el 37,1 % (Barragán, 2019). De acuerdo con las cifras de Fedepapa y FNFP (2017), la producción de papa es una actividad importante en el ámbito social y económico, ya que genera cerca de 300 000 empleos; es el cultivo que genera el mayor número de empleos en las zonas de clima frío del país.

Los productores de papa, en términos generales, se han clasificado en: pequeños (que representan el 90 % del total y aportan el 45 % de la producción de papa del país), medianos (que representan el 7 % del total y aportan el 35 % de la producción), y grandes (que representan el 3 % del total y aportan el 20 % de la producción) (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA] y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 1999). Según reporta el FNFP (2016), teniendo en cuenta la información del Censo Agropecuario realizado en 2014, los productores de papa en el país son alrededor de 110000, agrupados

en aproximadamente 39000 unidades productivas agropecuarias (UPA), de las cuales 8378 correspondieron a Cundinamarca (luego de Nariño y Boyacá) y, con este número, ubican a Cundinamarca como el departamento con mayor área sembrada en el país. Este departamento aportó el 40 % de la producción nacional en 2017, seguido por Boyacá (26 %), Nariño (18 %) y Antioquia (6 %) (Riascos, 2018a). Para 2018 la participación del departamento bajó al 39 % (Riascos, 2018b).

Aproximación a algunos aspectos socioeconómica del productor de papa de Cundinamarca

En el proyecto Corredor Tecnológico Agroindustrial CTA-2, en el primer semestre de 2016, se realizaron 376 encuestas a agricultores de siete municipios (61 veredas), en las que se indagó por las condiciones socioeconómicas de las familias dedicadas principalmente al cultivo de la papa. En cuanto a la estructura del hogar, los rangos de número de hijos más representativos fueron: de uno a dos hijos (36,2 %) y de tres a cuatro hijos (35,6 %); por su parte, los hogares con cinco o más hijos obtuvieron una participación del 12 %, y el 16 % reportó no tener hijos (Figura 56). En lo relacionado con el nivel educativo, el 1,6 % de los encuestados expresaron no tener ninguna escolaridad y el 72,9 % manifestaron tener un nivel educativo no superior a la básica primaria, en buena parte de ellos incompleta. Con formación académica de secundaria (completa o incompleta) se encontró el 19,4 % de los encuestados y la proporción con formación universitaria fue del 6,1 %, dentro del cual el 1,1 % expresó tener algún estudio de posgrado (Figura 56). Esta situación encontrada en el componente de educación indica que existe una importante barrera para los procesos de transferencia de tecnología en el sistema productivo de papa del departamento y, seguramente, explica en buena parte la complejidad que existe para la adopción de nuevos desarrollos tecnológicos.

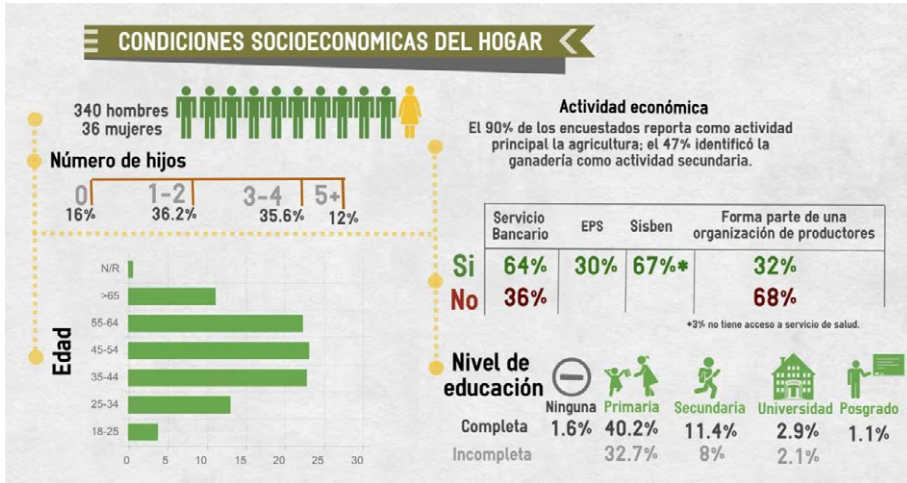


Figura 56 Información general y algunas variables socioeconómicas de los agricultores de papa en Cundinamarca. Equipo CTA-2 Subproyecto Papa (2018).

Esta realidad plantea retos grandes en los procesos de transferencia, para el diseño e implementación de metodologías que permitan llevar conocimientos de diferentes niveles al agricultor, de tal manera que le resulten comprensibles y, a partir de allí, adopte nuevas tecnologías para su escenario productivo. Dada esta realidad, el acompañamiento técnico es una necesidad, ya que no se puede perder de vista que las personas vinculadas al sistema productivo son personas adultas y, en su mayoría, no tienen posibilidades reales de tener una educación formal adicional.

El mejoramiento a futuro del sistema productivo depende de la educación que puedan alcanzar los futuros agricultores, quienes hoy son niños o adolescentes. Sin un aumento en el nivel educativo de la población que se dedica al sistema productivo de papa, al igual que en otros sistemas productivos de agricultura tradicional, los procesos de adopción de la innovación que se genere tendrán un difícil escenario, y la brecha entre quienes tengan acceso a ella y quienes no lo tengan, será cada vez mayor. Este es un escenario de reto para las diferentes autoridades del Estado, quienes no pueden ignorar que la calidad de los alimentos en la mesa de los hogares del país depende en buena parte de lo que hacen los productores en sus parcelas.

En la muestra encuestada el 78 % expresó que no tiene acceso a un computador; ello implica que en su gran mayoría no tienen alguna competencia en herramientas de informática y, por lo tanto, sus posibilidades para la consulta y la capacitación autónoma en forma electrónica son limitadas. Esta situación también evidencia que los productores tienen acceso limitado a Internet en sus hogares y, por lo tanto, poco acceso a contenidos técnicos de libre acceso generados en formatos electrónicos. Esta información es una realidad que obliga a pensar sobre las tendencias actuales de capacitación, en donde la virtualidad representa grandes ventajas. Las herramientas basadas en medios informáticos son valiosas y eficientes cuando el usuario objetivo tiene capacitación en las mismas. Sin embargo, la realidad al respecto en el sector productivo de la papa plantea a las autoridades locales y regionales del departamento que se tomen las medidas necesarias que permitan que esta situación cambie en el futuro cercano, dada su importancia en los procesos de transferencia de tecnología. Ello empieza por mejorar la educación de la población infantil en las zonas rurales.

El 67 % de los encuestados manifestaron pertenecer al régimen subsidiado de salud, el 30 % tiene afiliación a alguna EPS y un 3 % manifestó no tener ningún servicio de salud. El 92 % no cotiza para pensión, lo que indica un inexistente hábito de ahorro para la vejez, y es muy probable que esta problemática se mantenga en el futuro para el sector de agricultores de papa en el departamento. El 64 % manifestó que cuenta con al menos un servicio bancario y solo el 32 % de los encuestados expresó que forma parte de alguna organización de productores, con la cual no se evidencia un importante vínculo. Este último resultado corrobora una realidad del sistema productivo, que lo hace altamente vulnerable frente a las variables del mercado, porque la falta de una estructura organizativa fuerte y cohesionada genera deficiencias importantes de información para la cadena, en variables como el área real sembrada en la región en sus diferentes épocas, o los indicadores reales de oferta de producto en la región (fechas y variedades). Estos son ambos factores relevantes que afectan tanto a productores como a consumidores (minoristas, mayoristas e industria), al igual que limitan la eficiencia y eficacia de estrategias que se pretendan establecer para contribuir con el manejo integral de los problemas fitosanitarios emergentes, entre otras cuestiones. La falta de organización amplia en el sector productivo también genera debilidad en las relaciones con los hacedores de políticas para el sector, dada la poca representatividad que tienen ante las instancias gubernamentales.

Con respecto a la participación de la mano de obra familiar en el sistema productivo de papa en el departamento, se encontró que esta es diversa: entre 25,9 y 57,1 % de los encuestados dice no tenerla; entre 15,2 y 40,7 % de los encuestados tienen hasta el 25 % de participación familiar; entre el 15 y el 23,9 % de los encuestados tienen un 50 % de participación; entre el 2 y el 11,1 % de los encuestados tienen el 75 % de participación; y, finalmente, entre el 0 y el 7,4 % de los encuestados trabajan con el 100 % de mano de obra familiar. Este resultado evidencia la importancia de la mano de obra familiar para la producción de papa en el departamento, característica de la agricultura tradicional campesina.

Otra inquietud que se abordó fue la fuente de los recursos para adelantar el cultivo de papa. En este aspecto se encontró que solo el 30,1 % de los encuestados cubren su inversión con recursos propios. Del otro extremo, el 11,2 % indicaron desarrollarlo totalmente con crédito, y el porcentaje restante cubre sus gastos con recursos combinados de crédito y propios. La principal fuente reportada para el crédito fueron las entidades financieras (67,9 %), pero también reportaron los almacenes de insumos (16,4 %), así como amigos o familiares (15,7 %). Esta situación pone de manifiesto lo crítico que resulta para el agricultor de papa el precio del producto en la cosecha, y su potencial impacto sobre la sostenibilidad de la familia para una amplia proporción de agricultores.

El precio de la papa

La informalidad del sector y la inestabilidad de los precios de papa son consideradas las problemáticas más importantes en el sistema productivo de este producto, independientemente de la región. Una potencial solución es el fenómeno conocido como “desestacionalización” de la producción, el cual podría contribuir a reducir el nivel de volatilidad en los precios y podría regular el componente cíclico de producción, de tal forma que durante el año se tenga una oferta planificada (FNFP, 2016). La inestabilidad de precios en la papa está estrechamente relacionada con factores como la estacionalidad de la producción, la inelasticidad del precio/demanda, la baja capacidad de almacenamiento y la alta perecibilidad del producto (Barrientos, Rondón y Melo, 2014). Sumado a lo anterior, la papa es un sistema productivo que presenta alta intermediación pues, desde la cosecha hasta el consumidor, el precio

puede sufrir una inflación del 60 %, que consolida a la cadena de intermediarios y agrava la situación para los productores (FNFP, 2016).

Durante los años 2015 a 2018, los precios de las diferentes variedades de papa han mostrado los tradicionales precios máximos y mínimos que denotan la inestabilidad de la producción nacional. Lo particular de este periodo, si se observa la información año por año, es que se ha presentado una importante variación en las épocas en las que ocurrían los picos de precios altos (Figura 57), que históricamente se presentaban en los meses de abril y mayo, producto de los periodos secos (de muy baja precipitación) durante los meses de noviembre a enero en el altiplano cundiboyacense, la principal región productora de papa en el país. En las encuestas realizadas por el Corredor Tecnológico Agroindustrial CTA-2 a los agricultores en Cundinamarca en 2016, se evidenció que el 97 % de ellos tenían una clara percepción de la variabilidad climática en las últimas décadas. Los factores indicadores de esta variación fueron: la ocurrencia de las lluvias, la variación de la temperatura, la radiación, la ocurrencia de heladas y la incidencia de los vientos.

En la Figura 57 también se observa que los precios pagados a los productores en el mercado mayorista tienen tendencias similares en las diferentes variedades, aunque con diferencias entre ellas. Sin embargo, las variedades en términos generales no son diferenciadas por los consumidores en las ciudades y la discriminación en el mercado minorista se centra en unos pocos “tipos” de papa, como pastusa, R-12 (Diacol Capiro), sabanera y criolla. Los restantes nombres, en general, solo existen para el mercado mayorista.

Los precios más altos en el mercado para el periodo 2015-2018, se presentaron para las variedades Parda Pastusa, Superior y Diacol Capiro, con variaciones entre ellas dependiendo de la oferta; estas fueron seguidas por el precio de la variedad Pastusa Suprema y, consistentemente en este grupo analizado, el menor precio fue para la variedad ICA Única (Figura 57). Es claro que el mayor precio en el mercado no necesariamente tiene una relación directa con la mayor rentabilidad del sistema productivo para el agricultor. Esta variable depende fundamentalmente de la eficiencia de los sistemas, en donde el factor relevante a considerar es el precio por kilogramo producido, variable que en general el agricultor no conoce, porque no registra de manera completa y correcta todos sus costos de producción por lote.

Como ya se mencionó, en el periodo 2015-2018 los picos de precios altos no ocurrieron en las mismas épocas (Figura 57). Esta variación en los precios genera desconcierto en los productores porque su comportamiento se ha convertido en muy aleatorio en el mercado, lo que dificulta la predicción empírica tradicional de los agricultores. Esta se ha basado en las épocas de ocurrencia de los periodos secos en las principales regiones productoras, con el incremento del riesgo de heladas, un factor que históricamente generó disminución en las áreas sembradas y, por lo tanto, en la oferta potencial del tubérculo en el segundo trimestre del año. Bajo la condición actual de variabilidad climática, es probable que esta incertidumbre se mantenga; por esta misma circunstancia, el sistema productivo de papa tiene nuevas amenazas de naturaleza biótica y abiótica, que seguramente influirán sobre los volúmenes de producción y los precios en los mercados en las diferentes zonas productoras.

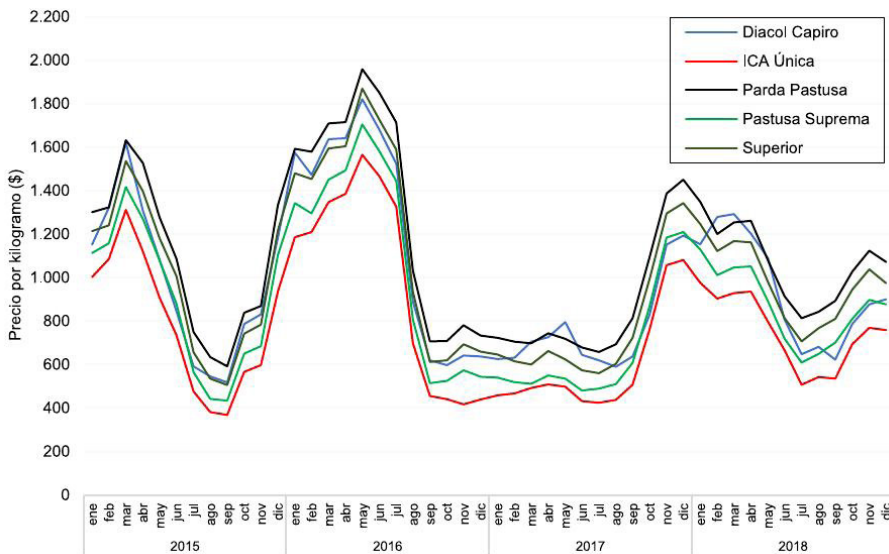


Figura 57 Evolución de los precios mayoristas de las principales variedades de papa durante los años 2015 a 2018 en la Corporación de Abastos de Bogotá (Corabastos).

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

Fuente: Elaborado a partir de información del Sistema de Información de Precios [SIPSA] (2018).

Costos de producción

Los costos de producción de papa en el país son altamente heterogéneos; muchas variables explican esta variación, entre ellas:

- Las condiciones ambientales, que inciden directamente sobre la ocurrencia y severidad de los problemas fitosanitarios.
- La situación socioeconómica de los agricultores en los lugares donde se desarrolle el cultivo; no es la misma en las pequeñas parcelas de agricultura tradicional que en las que tienen estructura empresarial.
- La topografía, que incide en la tecnología de producción a utilizar, en especial, por las posibilidades de uso de maquinaria en las diferentes labores.
- La variedad que se defina sembrar, ya que entre variedades se presentan diferencias en cuanto a susceptibilidad a enfermedades, demanda de fertilización, periodo vegetativo y rendimiento potencial, entre otras.
- El valor del uso de la tierra, que es altamente variable dependiendo de la región (hay diversas variables que definen el valor de la renta).
- Otras variables menores que pueden incidir dependiendo de la región y el sistema productivo.

Todas estas variables, deben ser consideradas y cuantificadas por quien administra el campo de producción —sea pequeño o grande—, que en la mayoría de los casos es el propio agricultor, ya que la eficiencia de su sistema estará dada por el costo de producción por unidad (kilogramo o bulto de papa). Solo conociendo esta información es posible obtener una correcta estimación, lo cual permitirá conocer las ganancias o pérdidas de la unidad productiva luego de realizar la venta del producto cosechado. La realidad indica que el agricultor de papa, en su gran mayoría, no registra los datos necesarios para conocer esta información pertinente a su unidad de producción.

El sistema productivo de papa en Cundinamarca se puede clasificar en dos categorías: parcela tradicional y parcela tecnificada. Ambas presentan importantes diferencias relacionadas con el rendimiento y los costos de producción asociados

a este. Mientras que en la parcela tradicional el rendimiento de tubérculo puede alcanzar las 21 t/ha –dependiendo de la variedad–, con un costo de producción de \$ 12 000 000, en la parcela tecnificada el rendimiento puede ascender a hasta 40 t/ha o un poco más, con un costo de producción de \$ 15 200 000 (Fedepapa y FNFP, 2017).

En la estructura de costos del sistema productivo de papa, el rubro de mayor participación en las dos categorías mencionadas es el correspondiente a insumos, seguido por la mano de obra. En la parcela tradicional la participación del rubro de insumos es del 45 %, mientras que en la parcela tecnificada es del 40 % (Figura 58). Dentro de este rubro, los fertilizantes edáficos y las enmiendas son los que tienen mayor peso en la parcela tradicional, con valores de 53 % y 20 %, respectivamente. En la parcela tecnificada los fertilizantes edáficos presentan un mayor peso dentro de este rubro (59 %), seguido por el subrubro de semilla (35 %), debido al uso de semilla certificada en estos sistemas (Figura 58).

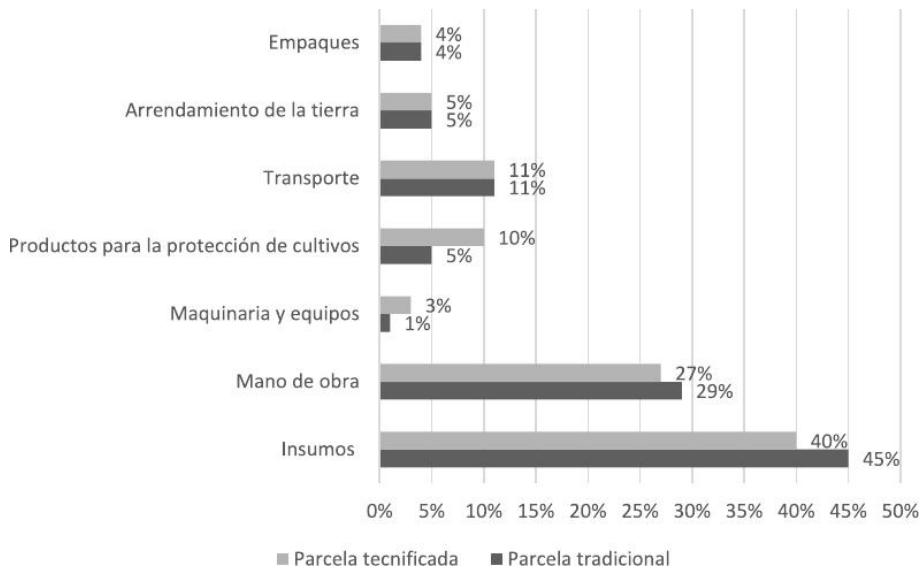


Figura 58 Participación promedio de los rubros de costos por categoría (por ciclo) en una parcela tradicional y una parcela tecnificada en Cundinamarca en el año 2017.

Fuente: Adaptado de Fedepapa y FNFP (2017).

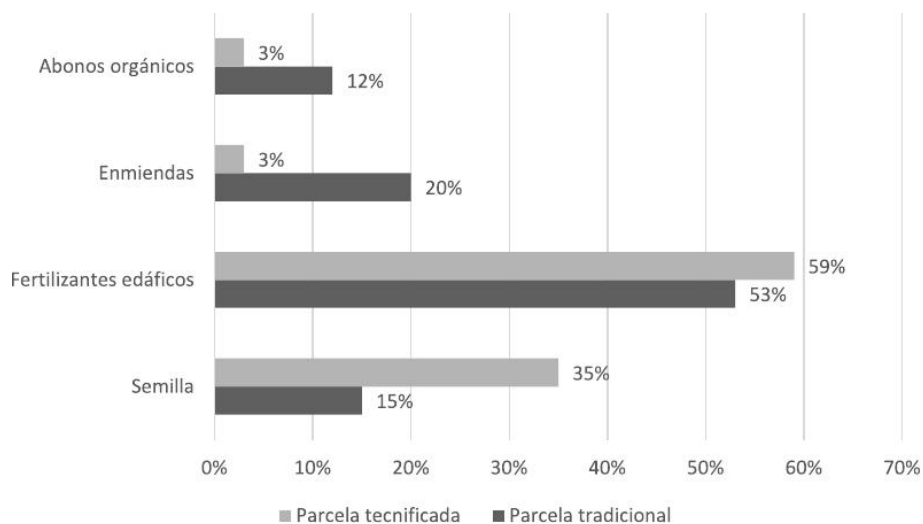


Figura 59 Participación promedio por ciclo de los subrubros del rubro de insumos, para una parcela tradicional y para una parcela tecnificada en Cundinamarca en el año 2017.

Fuente: Adaptado de Fedepapa y FNFP (2017).

Canales de comercialización

El principal canal de comercialización de papa para el agricultor en el contexto nacional son las centrales mayoristas, las cuales surten a los comerciantes en las plazas de mercado. De acuerdo con el FNFP (2016), la participación porcentual por canal de comercialización se presenta en la Tabla 14.

Tabla 14 Distribución de la comercialización de papa a nivel nacional durante el año 2016.

Canales	Participación porcentual
Plazas de mercado y centrales mayoristas	49%
Grandes superficies y "fruvers"	42%
Industria	8%
Semilla	1%

Fuente: Adaptado de FNFP (2016).

En Cundinamarca, la comercialización de papa se realiza principalmente en la central mayorista de Corabastos, en la ciudad de Bogotá. El principal producto que se comercializa en esta central es la papa (26 %), con un promedio de 1700 t provenientes de diferentes regiones del país (Corabastos, 2011). Este canal se caracteriza por la informalidad en la comercialización y la poca agregación de valor al producto (FNFP, 2016). Otro centro de acopio importante en el departamento es el del municipio de Villapinzón, en donde se tienen días específicos de mercado. La unidad de negociación en el mercado mayorista es la “carga”, que corresponde a dos bultos de 50 kg cada uno.

La comercialización de papa en Corabastos tiene algunas particularidades, entre las que se destacan:

- Los comerciantes han modificado el tipo de empaque en el que los agricultores deben de entregar la papa. Hasta el 2014 se utilizó para la papa de primera, empaque de fique, luego se establecieron los empaques de fibra de dos colores, “crema raya verde” para las llamadas “variedades” (diversos materiales) y, color blanco, para las variedades tipo Pastusa y la Tuquerreña. En el último año se ha impuesto el empaque blanco para toda la papa de primera, mientras que la papa pareja se empaca en costal de fibra rojo.
- En general la papa llega sucia a la central mayorista, sin ningún proceso de lavado, excepto la variedad “tuquerreña” que llega lavada desde el origen. Sin embargo, en el caso de las otras variedades, el comerciante mayorista las lava dependiendo de la demanda, con el propósito de aumentar su margen de ganancia.
- El mercado mayorista se realiza en la noche; los camiones cargados llegan a partir de las 12 de la noche, y el mercado inicia a la 1 a. m. El descargo de la papa en la bodega de los comerciantes mayoristas se realiza entre las 3 a. m. y las 5 a. m., hora en la que empieza el mercado general para comerciantes pequeños, tenderos y público en general.

El flujo que sigue la comercialización de papa desde el productor hasta el consumidor es diverso y se representa en la Figura 60. En esta figura se identifican flujos cortos y complejos. De los flujos cortos se identifican dos casos: a) zonas

productoras donde ocurre consumo local y regional, el cual no es de gran volumen, y b) consumo de la industria de proceso. En el caso de la industria es frecuente la existencia de contratos con los productores, de tal manera que la producción va directamente de la finca al procesador, y su recibo depende del cumplimiento de ciertas variables de calidad. Para este consumo, dependiendo de la época, puede no ser suficiente la oferta de los agricultores por contrato, y la industria requiere consumir papa de otros actores de la cadena de comercialización, como son los acopiadores mayoristas regionales, la central mayorista, y los que dan valor agregado mediante selección y clasificación. Es claro que la papa es materia prima para la industria de proceso y que el producto de este actor es el que finalmente recibe el consumidor de manera transformada (como hojuelas fritas o bastones congelados), el cual es distribuido por los canales de supermercados y tiendas y, en alguna proporción, el mercado externo.



Figura 60 Aproximación al flujo de comercialización de la papa en el departamento de Cundinamarca.

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

Varios flujos complejos de comercialización que evidencian una alta participación de intermediarios se pueden apreciar en la Figura 60. Por ejemplo, del productor puede pasar al acopiador rural y camionero, al comerciante local o regional, a los comerciantes mayoristas en municipios y ciudades, a las plazas satélites u otros

minoristas, a las tiendas y al consumidor. Entre más intermediarios haya, la calidad del producto final puede verse bastante afectada, debido a que la unidad de comercialización (el bulto de 50 kg) se mantiene en el tiempo, y los cargues y descargues —que se hacen de manera manual— pueden afectar el producto por los continuos golpes en el proceso.

Respecto a la comercialización minorista de papa en Colombia, se destaca que el principal canal de compra del consumidor final es la tienda de barrio, con un 64 % en promedio. En Bogotá este valor es del 73 %, y ello es frecuente en los niveles socioeconómicos bajos y medios; le siguen en preferencia los supermercados de cadena y los llamados “fruver”. La cantidad de compra de 500 g es la más frecuente para los hogares colombianos, seguida por la cantidad de hasta 1 kg. El principal momento de consumo para la papa es el almuerzo, y la sopa es la forma de preparación preferida. En Bogotá, frente al resto del país, se destaca significativamente el consumo de la papa salada. El consumo *per cápita* estimado para el país es de 42 kg (Fedepapa y FNFP, 2018).

Empleo en la cadena de la papa

Según información del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR] (2019), en el periodo 2010-2018 el promedio de empleos directos generados en la cadena de papa fue de 90 467, mientras que el de empleos indirectos ascendió a 271 402, tres veces el primero. Aunque se han presentado oscilaciones en los diferentes años, la tendencia en el número total es de un relativo incremento (Figura 61).

No se encuentra discriminada la información de la generación de empleos para las diferentes regiones productoras dentro de Colombia, pero es de esperar que la mayor proporción se encuentre relacionada con los departamentos de mayor producción, entre ellos Cundinamarca. Las cifras son claras en el contexto de la importancia de la generación de empleo indirecto de la cadena, en razón de los múltiples actores que participan, entre ellos los transportadores, los comerciantes, el personal de apoyo en los procesos de comercialización en las centrales

mayoristas y centros de acopio, el personal que participa dando valor agregado en fresco (lavado, selección y empaque), el personal que participa en la transformación industrial, y el empleo generado en la producción y comercialización de los diferentes insumos que se utilizan para la producción del cultivo, así como también en la fabricación de empaques, entre otros.

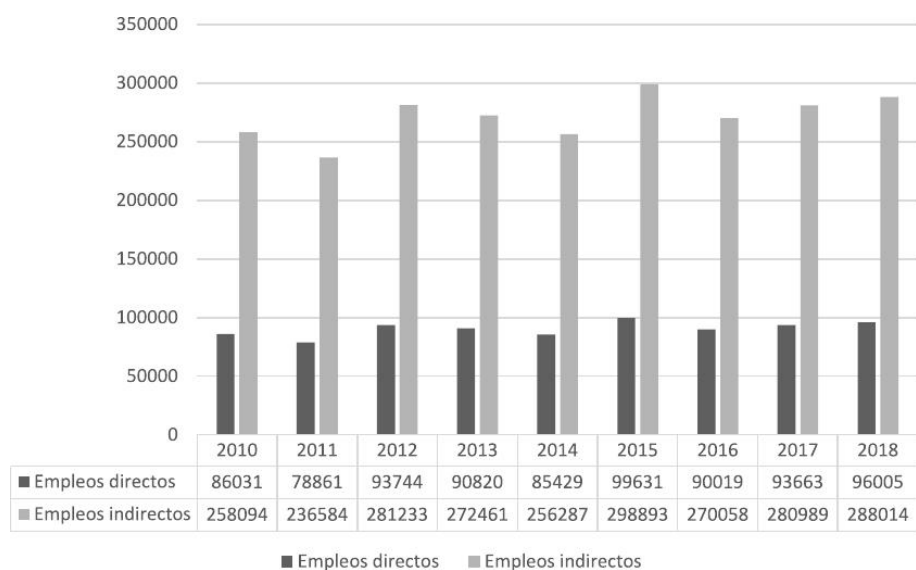


Figura 61 Empleos directos e indirectos generados por la cadena de la papa en Colombia.
Fuente: MADR (2019).

El empleo directo también es muy relevante en las diferentes regiones productoras. Se considera que en el país existen alrededor de 110 000 familias vinculadas directamente a este cultivo (Fedepapa y FNFP, 2017), en una alta proporción de pequeños productores, lo que resalta su alto peso social en el desarrollo de la economía familiar campesina en las regiones rurales de clima frío.

Referencias bibliográficas

- Acuña, I. y Tejada, P. (2015a). Manejo Integrado de Enfermedades (MIE). *Manual interactivo de la papa*. Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA-Remehue). Recuperado de <https://manualinia.papachile.cl/?page=manejo&ctn=66>
- Acuña, I. y Tejada, P. (2015b). Enfermedades causadas por hongos 1. En Instituto de Investigaciones Agropecuarias [INIA-Remehue] (Ed.), *Manual interactivo de la papa*. Recuperado de <https://manualinia.papachile.cl/?page=manejo&ctn=214>
- Acuña, I. y Tejada, P. (2015c). Enfermedades causadas por bacterias. En Instituto de Investigaciones Agropecuarias [INIA-Remehue] (Ed.), *Manual interactivo de la papa*. Recuperado de <https://manualinia.papachile.cl/?page=manejo&ctn=219>
- Alfaro, J. y Franco-Lara, L. (2016). Potato Virus Y (PVY) y Potato Yellow Vein Virus (PYV) en infecciones mixtas no causan síntomas atípicos en plantas de papa. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 11(2), 26-37. <https://doi.org/10.18359/rfcb.1297>
- Alva, A. (2004). Potato Nitrogen Management. *Journal of Vegetable Crop Production*, 10 (1), 97-132. https://doi.org/10.1300/J068v10n01_10
- Andrade-Piedra, J. L., Kromann, P. y Otazú, V. (Eds.). (2015). *Manual para la producción de semilla de papa usando aeroponía: diez años de experiencias en Colombia, Ecuador y Perú*. Quito, Ecuador: Centro Internacional de la Papa (CIP), Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) y Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Arévalo, G. y Castellano, M. (2009). *Manual de fertilizantes y enmiendas*. El Zamorano, Honduras: Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central, Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria, Escuela Agrícola Panamericana. Recuperado de https://www.se.gob.hn/media-07/files/media-07/Modulo_6_Manual_Fertilizantes_y_Enmiendas.pdf

- Argüelles-Cárdenas, J. H., Pérez-Álvarez, M. R., Barreto-Triana, N. y Espitia-Malagón, E. M. (2012). *La vigilancia de las poblaciones de gusano blanco (Premnotrypes 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).
- Ávila, E. (2000). *Estudio General de suelos y zonificación de tierras del departamento de Cundinamarca*. En: *Estudio general de suelos y zonificación de tierras en Colombia (Tomo II, pp. 128-341)*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).
- Balendres, M. A., Tegg, R. S. y Wilson, C. R. (2016). Key Events in Pathogenesis of *spongospora* Diseases in Potato: A Review. *Australasian Plant Pathology*, 45(3), 229-240. <https://doi.org/10.1007/s13313-016-0398-3>
- Barragán, J. N. (2019). Desempeño y perspectivas económicas del subsector papa 2018-2019. *Revista Papa* (47), 44-48. Federación Colombiana de Productores de Papa (Fedepapa) y Fondo Nacional de Fomento de la Papa (FNFP).
- Barreto, N. (2005). Estudios bioecológicos de la polilla guatemalteca de la papa *Tecia solanivora* (Lepidoptera: Gelechiidae) en el altiplano cundiboyacense colombiano. En Centro Internacional de la Papa [CIP] (Ed.), *Memorias III Taller internacional sobre la polilla guatemalteca de la papa Tecia solanivora* (pp. 95-105). Lima, Perú: CIP.
- Barrientos, J. C., Rondón, C. y Melo, S. (2014). Comportamiento de precios de las variedades de papa Parda Pastusa y Diacol Capiro en Colombia (1995-2011). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(2), 272-286. <https://doi.org/10.17584/rcch.2014v8i2.3220>
- Bastidas, L. (2010). *Determinación de la capacidad biocontroladora de Pseudomonas spp. contra Spongospora subterranea f. sp. subterranea en el cultivo de papa* [Tesis para optar al título de Maestría en Ciencias en Microbiología]. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D. C.
- Bautista, G., Mendoza, H. y Uribe, D. (2007). Biocontrol of *Rhizoctonia solani* in Native Potato (*Solanum phureja*) Plants Using Native *Pseudomonas fluorescens*. *Acta Biológica Colombiana*, 12(1), 19-32.
- Bello, L. y Pinzón, N. (1997). *Evaluación del efecto del tamaño de tubérculo semilla sobre el rendimiento en papa criolla, variedad Yema de Huevo Solanum phureja (Juz. et Buk.)* [Tesis para optar por el título de ingeniero agrónomo]. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

- Beltrán, C. R. (2004). Selección de aislamientos de *Trichoderma* spp. con potencial biocontrolador de *Rhizoctonia solani* Kühn en papa bajo condiciones de casa de malla [Tesis para optar por el título de Biólogo]. Facultad de Ciencias, Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Beltrán, C. R. (2008a). (Fotógrafo). Lesiones en brotes causados por *Rhizoctonia solani* [Fotografía]. Mosquera (Cundinamarca, Colombia).
- Beltrán, C. R. (2008b). (Fotógrafo). Lesiones en la base de tallos causada por daño de *Rhizoctonia solani* [Fotografía]. Mosquera (Cundinamarca, Colombia).
- Beltrán, C. R. (2008c). (Fotógrafo). Síntoma de entorchamiento de las hojas causada por daño de *Rhizoctonia solani* [Fotografía]. Mosquera (Cundinamarca, Colombia).
- Beltrán, C. R. (2010). (Fotógrafo). Tallo con "gota" [Fotografía]. Mosquera (Cundinamarca, Colombia).
- Beltrán, C. R. (2016). (Fotógrafo). Peciolo y hojas con alta incidencia de "gota" [Fotografía]. Mosquera (Cundinamarca, Colombia).
- Beltrán, C. R. (2017a). (Fotógrafo). Envés de hoja con crecimiento de micelio de *Phytophthora infestans* [Fotografía]. Mosquera (Cundinamarca, Colombia).
- Beltrán, C. R. (2017b). (Fotógrafo). Lesiones en estolones causados por *Rhizoctonia solani* [Fotografía]. Mosquera (Cundinamarca, Colombia).
- Beltrán, C. R. (2017c). (Fotógrafo). Sama polvosa de la papa (*S. subterranea*) en tubérculo [Fotografía]. Mosquera (Cundinamarca, Colombia).
- Beltrán, C. R. (2017d). (Fotógrafo). Síntoma de "papa salada" causado por el crecimiento de micelio de *Rosellinia* spp. en tubérculo de papa [Fotografía]. Mosquera (Cundinamarca, Colombia).
- Beltrán, C. R. (2017e). (Fotógrafo). Sintomatología de alternaria en hojas de la planta de papa [Fotografía]. Mosquera (Cundinamarca, Colombia).
- Beltrán, C. R. (2017f). (Fotógrafo). Sintomatología de *S. scabies* en el tubérculo de papa [Fotografía]. Mosquera (Cundinamarca, Colombia).
- Beltrán, C., Cotes, A. M. y Paris, A. (2007). Selection of Isolates of *Trichoderma* spp. With Biocontrol Activity Over *Rhizoctonia solani* in Potato. *International Organization for Biological and Integrated Control IOBC-WPRS Bulletin*, 30(6), 55-58.
- Brewer, M. y Larkin, R. (2005). Efficacy of Several Potential Biocontrol Organisms Against *Rhizoctonia solani* on Potato. *Crop Protection*, 24(11), 939-950. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2005.01.012>

- Bundy, L. G., Tunney, H. y Halverson, A. D. (2005). Agronomic Aspects of Phosphorus Management. En J. T. Sims y A. N. Sharpley (Eds.), *Phosphorus: Agriculture and the Environment* (pp. 685-727). Madison, EE. UU.: American Society of Agronomy.
- Buol, S. W., Hole, F. D. y McCracken, R. J. (1989). *Soil Genesis and Classification* (3ª ed.). Iowa, EE. UU.: Iowa State University Press.
- Cabello, T., Carricondo, I., Justicia del Río, L. y Belda, J. E. (1996). *Biología y control de las especies de mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum* (Gen.) y *Bemisia tabacci* (West.) (Hom.; Aleyrodidae) en cultivos hortícolas en invernaderos*. Sevilla, España: Junta de Andalucía.
- Cardona, C., Rodríguez, I. V., Bueno, J. M. y Tapia, X. (2005). *Biología y manejo de la mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum* en habichuela y frijol*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y Department for International Development (DFID).
- Castro, H. (2005). Balance y prospectiva de la investigación en el campo de la fertilización para el sistema de producción de papa en Colombia. En *Memorias I Taller nacional sobre suelos, fisiología y nutrición vegetal en el cultivo de la papa, presente y futuro de investigación en la cadena agroalimentaria de la papa en Colombia*, p. 31. Bogotá, Colombia: Centro Virtual de Investigación de la Cadena Agroalimentaria de la Papa (CEVIPAPA) y Consejo Nacional de la Papa.
- Castro, H. y Gómez, M. (2010). Fertilidad de suelos y fertilizantes. En H. Burbano y F. Mojica (Eds.), *Ciencia del suelo: principios básicos* (pp. 217-303). Bogotá, Colombia: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
- Cely-Pardo, L. (2013a). (Fotógrafo). *Trampa de caída para captura de adultos de gusano blanco* [Fotografía]. Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia).
- Cely-Pardo, L. (2013b). (Fotógrafo). *Trampa de paso para captura de adultos de gusano blanco* [Fotografía]. Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia).
- Cely-Pardo, L. (2013c). (Fotógrafo). *Tubérculos almacenados afectados por polilla guatemalteca (*T. solanivora*)* [Fotografía]. Mosquera (Cundinamarca, Colombia).
- Cely-Pardo, L. (2019a). (Fotógrafo). *Daño causado por el minador o tostón (*Liriomyza* spp.)* [Fotografía]. Mosquera (Cundinamarca, Colombia).
- Cely-Pardo, L. (2019b). (Fotógrafo). *Detalle de captura de polilla guatemalteca (*T. solanivora*) en trampa de feromona* [Fotografía]. Mosquera (Cundinamarca, Colombia).

- Cely-Pardo, L. (2019c). (Fotógrafo). *Larva de polilla guatemalteca (T. solanivora) en tubérculo* [Fotografía]. Mosquera (Cundinamarca, Colombia).
- Cely-Pardo, L. (2019d). (Fotógrafo). *Larvas de gusano blanco de la papa* [Fotografía]. Mosquera (Cundinamarca, Colombia).
- Cely-Pardo, L. (2019e). (Fotógrafo). *Pupas de gusano blanco de la papa* [Fotografía]. Mosquera (Cundinamarca, Colombia).
- Cely-Pardo, L. (2019f). (Fotógrafo). *Pupas de polilla guatemalteca (T. solanivora) en tubérculo* [Fotografía]. Mosquera (Cundinamarca, Colombia).
- Cely-Pardo, L. (2019g). (Fotógrafo). *Tubérculo con larvas de gusano blanco de la papa (P. vorax H.)* [Fotografía]. Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia).
- Central Nacional de Cooperativas [Unicoop]. (2015). *Manual para el buen uso y manejo de plaguicidas*. Santa Rita, Paraguay. Recuperado de <https://www.unicoop.com.py/admin/archivos/manual-para-el-buen-uso-de-plaguicidas.pdf>
- Cerón, L. E. y Aristizábal, A. (2012). Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 14(1), 285-295.
- Chung, W. C., Huang, J. W. y Huang, H. C. (2005). Formulation of a Soil Biofungicide for Control of Damping-off Chinese Cabbage (*Brassica chinensis*) Caused by *Rhizoctonia solani*. *Biological Control*, 32(2), 287-294. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2004.10.011>
- Cid del Prado, I. (2015). *Nematodo dorado (Globodera rostochiensis)* [Ficha Técnica]. Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA). Recuperado de <https://www.oirsa.org/contenido/documentos/FICHA%20TECNICA%20NEMATODO%20DORADO.pdf>
- Consejo Nacional de la Papa (2010). *Acuerdo de la competitividad de la cadena agroalimentaria de la papa en Colombia* [Documento de trabajo]. Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://issuu.com/fedepapa/docs/acuerdo-de-competitividad-de-la-cadena-agroaliment/40>
- Corporación de Abastos de Bogotá S.A. [Corabastos] (2011). *Nuestra historia*. Recuperado de <https://www.corabastos.com.co/aNuevo/index.php/about-joomla/nuestra-historia>
- Corzo, P. (2000). *Proceso para la producción de semilla certificada de papa*. Mosquera, Colombia: Convenio Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) y Servicio Nacional de Aprendizaje (Sena).

- Cotes, A. M., Cárdenas, A. y Pinzón, H. (2001). Effect of Seed Priming in the Presence of *Trichoderma koningi* on Seed and Seedling Disease Induced in Tomato by *Rhizoctonia solani* and *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *IOBC Bulletin*, 24(3), 259-263.
- De Boer, S. y Rubio, I. (2004). *Blackleg of Potato. The Plant Health Instructor*. Recuperado de <https://www.apsnet.org/edcenter/disandpath/prokaryote/pdlessons/Pages/BlacklegpotatoPort.aspx>
- De Haan, E. G. y Van Den Bovenkamp, G. W. (2005). Improved Diagnosis of Powdery Scab (*Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea*) Symptoms on Potato Tubers (*Solanum tuberosum* L.). *Potato Research*, 48(1-2), 1-14. <https://doi.org/10.1007/BF02733677>
- Díaz, J. (2019). (Fotógrafo). Mosca blanca (*T. vaporariorum* W.) sobre follaje de papa [Fotografía]. Mosquera (Cundinamarca, Colombia).
- Díaz, C. y Perera, S. (2011). *Sarna en papa*. Cabildo Tenerife, Islas Canarias. Recuperado de http://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/papa_255_sarna_papa_2011.pdf
- Doria, J. (2010). Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales*, 31(1), 74-85.
- Duarte, J. (1999). Aproximación a un manejo integrado de *Rosellinia* sp. en papa (*Solanum tuberosum* L.) [Tesis para optar por el título de ingeniero agrónomo]. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Dyson, P. W. y Watson, D. J. (1971). An Analysis of the Effects of Nutrient Supply on the Growth of Potato Crops. *Annals of Applied Biology*, 69(1), 47-63. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1971.tb04657.x>
- Egusquiza, R. (2000). *La papa, producción, transformación y comercialización*. Lima, Perú: Proyecto MSP, UNALM/ADEX, USAID.
- Español, J. (2014a). (Fotógrafo). Adulto de tiroteador de la papa alimentándose en hojas (*Naupactus* spp.) [Fotografía]. Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia).
- Español, J. (2014b). (Fotógrafo). Huevos del tiroteador de la papa (*Naupactus* spp.) [Fotografía]. Mosquera (Cundinamarca, Colombia).
- Español, J. (2014c). (Fotógrafo). Larva del tiroteador de la papa (*Naupactus* spp.) [Fotografía]. Mosquera (Cundinamarca, Colombia).

- Español, J. (2014d). (Fotógrafo). *Pupa del tiroteador de la papa (Naupactus spp.)* [Fotografía]. Mosquera (Cundinamarca, Colombia).
- Español, J. (2019). (Fotógrafo). *Adulto del tiroteador de la papa (Naupactus spp.)* [Fotografía]. Mosquera (Cundinamarca, Colombia).
- Espinosa, J. y Gómez, M. (2005). Conceptos utilizados para diagnosticar integralmente la fertilidad del suelo mediante el uso de indicadores. *Revista U. D. C. A Actualidad & Divulgación Científica*, 8(2), 23-32.
- Espitia, E. y Zuluaga, M. (2006). *Conozca el tiroteador de la papa*. Mosquera, Cundinamarca, Colombia: Corpoica y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Essah, S. (2013). *Potassium Deficiency*. Recuperado de <https://www.potatogrower.com/2013/06/potassium-deficiency>
- Falloon, R. (2008). Control of Powdery Scab of Potato: Towards Integrated Disease Management. *American Journal of Potato Research*, 85(4), 253-260. <https://doi.org/10.1007/s12230-008-9022-6>
- Falloon, R. E., Curtin, D., Lister, R., Butler, R. y Scott, C. (2010). Elevated Zinc and Manganese Levels Give Moderate Reductions in *Spongospora subterranea* Infection of Potato Roots. En G.R. Stirling (Ed.), *Proceedings. 6th Australasian Soilborne Diseases Symposium* (p. 46). Twin Waters, Queensland, Australia: Horticulture Australia Limited.
- Falloon, R., Merz, U., Butler, R., Curtin, D., Lister, R. y Thomas, S. (2016). Root Infection of Potato by *Spongospora subterranea*: Knowledge Review and Evidence for Decreased Plant Productivity. *Plant Pathology*, 65(3), 422-434. <https://doi.org/10.1111/ppa.12419>
- Federación Colombiana de Productores de Papa [Fedepapa] (2005). *Guía para el cultivo de papa*. Bogotá, Colombia: Autor.
- Federación Colombiana de Productores de Papa [Fedepapa] y Fondo Nacional de Fomento de la papa [FNFP] (2017). Competencias organizacionales, generalidades del sector. *Revista Papa*, (43), 9-12.
- Federación Colombiana de Productores de Papa [Fedepapa] y Fondo Nacional de Fomento de la papa [FNFP] (2018). Estudio de consumo de papa 2018. *Revista Papa*, (46), 6-13.
- Federación Colombiana de Productores de Papa [Fedepapa] y Fondo Nacional de Fomento de la papa [FNFP] (2019). Desempeño y perspectivas económicas del subsector papa 2018-2019. *Revista Papa*, (47), 44-48.

- Flores-Magdaleno, H., Flores-Gallardo, H. y Ojeda-Bustamante, W. (2014). Predicción fenológica del cultivo de papa mediante tiempo térmico. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(2), 149-157.
- 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%3%93N%20FNFP%20ANUAL%202016.pdf>
- Franzen, D. y Gerwing, J. (1997). Effectiveness of Using Low Rates of Plant Nutrients. *North Central Regional Research Publication*, (341), 1-11.
- Garza-Puentes, J. P. (2006). *Estudios biológicos del tironador de la papa Naupactus sp. (Coleóptera: Curculionidae)* [Trabajo de grado]. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- Gebhardt, C. (2013). Bridging the Gap Between Genome Analysis and Precision Breeding in Potato. *Trends in Genetics*, 29(4), 248-256. <https://doi.org/10.1016/j.tig.2012.11.006>
- Gilchrist, E., Pérez, J., Vargas, H. y Reynaldi, S. (2010). *Trichoderma asperellum* T109 Effect Over *Spongopora subterranea* in Potato Field. *Phytopathology*, 100(6 [supplement]), S40. Recuperado de <https://apsjournals.apsnet.org/doi/pdf/10.1094/PHYTO.2010.100.6.S1>.
- Goffart, J., Olivier, M. y Frankinet, M. (2008). Potato Crop Nitrogen Status Assessment to Improve N Fertilization Management and Efficiency: Past-Present-Future. *Potato Research*, 51(3-4), 355-383. <https://doi.org/10.1007/s11540-008-9118-x>
- Gómez Y. y Rodríguez, C. (1995). Actividad de *Liriomyza huidobrensis* de acuerdo con las diversas horas del día y tipos de muestreo en relación a la fenología del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*). *Agronomía Mesoamericana*, 6(1), 32-49.
- Gómez, J. C. (2013). *Manual de Prácticas de Campo y del Laboratorio de Suelos*. Recuperado de https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/2785/1/practicas_campo_laboratorio_suelos.pdf
- Gómez, M. I. y Torres, P. (2012). Absorción, extracción y manejo nutricional del cultivo de papa. *Revista Papa*, (26), 20-25. Fedepapa.
- Guerrero, R. (Ed.). (1998). *Fertilización de cultivos en clima frío* (2ª ed.). Bogotá, Colombia: Monómeros Colombo Venezolanos S. A.
- Guzmán, M., Franco, L., Rodríguez, D., Vargas, L. y Fierro, J. (2012). Yield Losses in *Solanum tuberosum* Group *Phureja* cultivar Criolla Colombia in Plants With Symptoms of PVV in Field Trials. *American Journal of Potato Research*, 89(6), 438-447. <https://doi.org/10.1007/s12230-012-9265-0>

- Hasanuzzaman, M. (2015). *Seed Quality*. Bangladesh: Department of Agronomy, Sher-e-Bangla Agricultural University.
- Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Skrumsager Møller, I. y White, P. (2012). Functions of Macronutrients. En H. Marschner (Ed.), *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants* (2ª ed., pp. 135-189). Londres, Reino Unido: Academic Press.
- 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.
- Herrera, C. A., Fierro, L. H. y Moreno, J. D. (2000). *Manejo integrado del cultivo de la papa. Manual técnico*. Bogotá, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Hoyos, L., Jaramillo, S. y Orduz, S. (2008). Evaluation of *Trichoderma asperellum* as Bio regulator of *Spongopora subterranea* f. sp. *subterranea*. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 61(2), 4496-4502.
- Huamán, Z. (1986). *Botánica sistemática y morfología de la papa*. Boletín de información técnica 6. Lima, Perú: Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Huaraca H., Montesdeoca, F. y Pumisacho, M. (2009). *Guía para facilitar el aprendizaje sobre el manejo del tubérculo-semilla de la papa*. Quito, Ecuador: Instituto Nacional Autónomo de Investigación Agropecuaria del Ecuador (INIAP) y Secretaria Nacional de Ciencia y Tecnología del Ecuador (SENACYT).
- Inostroza, J. y Méndez, P. (2009). Preparación de suelo. En J. Inostroza, *Manual de papa para la Araucanía: manejo y plantación* (pp. 29-58). Temuco, Chile: Instituto de Investigación Agropecuaria (INIA-Centro Regional Carillanca), Ministerio de Agricultura. Recuperado de <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR36470.pdf>
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA] (2011). *Manejo fitosanitario del cultivo de papa (Solanum tuberosum subsp. andigena y S. phureja). Medidas para la temporada invernal*. Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://www.ica.gov.co/getattachment/b2645c33-d4b4-4d9d-84ac-197c55e7d3d0/Manejo-fitosanitario-del-cultivo-de-la-papa-nbsp;-.aspx>

- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA] (2014). *Metodología para aplicación en las acciones de inspección, vigilancia y control de plagas y enfermedades en el cultivo de papa*. Bogotá, Colombia: ICA, Subgerencia de Protección Vegetal, Dirección Técnica de Sanidad Vegetal.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA] (2019). *Registros nacionales*. Recuperado de <https://www.ica.gov.co/getdoc/d3612ebf-a5a6-4702-8d4b-8427c1cdaeb1/registrosnacionales-pqua-15-04-09.aspx>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC] (2000). Génesis y taxonomía de suelos. En *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Cundinamarca* (pp. 419-450). Bogotá, Colombia: Autor.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA] y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (1999). *Acuerdo marco de competitividad de la cadena agroalimentaria de la papa*. Bogotá, Colombia: Tercer Mundo Editores.
- 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* ssp. *andigena*). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 60(2), 3859-3876.
- Kaiser, D. E. y Rosen, C. J. (2018). *Potassium for Crop Production*. University of Minnesota Extension. Recuperado de <https://extension.umn.edu/phosphorus-and-potassium/potassium-crop-production#potato-598313>
- Kang, W., Fan, M., Ma, Z., Xiaohua, S. y Zheng, H. (2014). Luxury Absorption of Potassium by Potato Plants. *American Journal of Potato Research*, 91(5), 573-578. <https://doi.org/10.1007/s12230-014-9386-8>
- 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(1-2), 176-189. <https://doi.org/10.1080/00103624.2012.634711>
- 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, Cornell University.
- Kidder, G. y Espinoza, L. (2002). *Fertilidad de suelos y el uso de fertilizantes: un curso corto en cinco sesiones*. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida Extension. Recuperado de <https://ufdcimages.uflib.ufl.edu/IR/00/00/31/28/00001/SS30500.pdf>
- Koch, M., Naumann, M. y Pawelzik, E. (2019). Cracking and Fracture Properties of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Tubers and Their Relation to Dry Matter, Starch, and Mineral Distribution. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(6), 3149-3156. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9530>

- Larios, R., Santos, J., Pineda, L. y Hernández, S. (2013). *Manual de producción de semilla de papa mediante técnicas de reproducción asexual*. Tegucigalpa, Honduras: PYMERURAL. Recuperado de http://www.agro-negocioshonduras.org/wp-content/uploads/2014/06/manual_de_produccion_de_semilla_de_papa.pdf
- Larkin, R. P. y Honeycutt, C. W. (2006). Effects of Different 3-Year Cropping Systems on Soil Microbial Communities and *Rhizoctonia* Diseases of Potato. *Phytopathology*, 96(1), 68-79. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-96-0068>
- Lerna, A., Pandino, G., Lombardo, S. y Mauromicale, G. (2011). Tuber Yield, Water and Fertilizer Productivity in Early Potato as Affected by a Combination of Irrigation and Fertilization. *Agricultural Water Management*, 101(1), 35-41. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.08.024>
- López-Ávila, A. (2000). Insectos plagas del cultivo de la papa en Colombia y su manejo. En *Papas colombianas con el mejor entorno ambiental* (pp.152-159). Bogotá, Colombia: Comunicaciones y Asociados Ltda.
- 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]. Recuperado en junio de 2019 de <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=CO2019010926>
- Maathuis, F. (2009). Physiological Functions of Mineral Macronutrients. *Current Opinion in Plant Biology*, 12(3), 250-258. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.04.003>
- Malagón, D. (1978). *Aspectos generales sobre mineralogía y génesis de suelos en relación con su fertilidad*. Mérida, Venezuela: CIDIAT.
- Malagón, D., Pulido, C., Llinás, R. y Chamorro, C. (1995). *Suelos de Colombia: origen, evolución, clasificación, distribución y uso*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).
- Malagón, D., y Pulido, C. (2000). Suelos del páramo colombiano. En J. O. Rangel-Ch. (Ed.), *Colombia Diversidad Biótica III. La región Paramuna* (pp. 37-84). Bogotá, Colombia: Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia.
- Marschner, P. (Ed.). (2012). *Mineral Nutrition of Higher Plants* (2ª ed.). Londres, Reino Unido: Academic Press.

- Méndez, P. e Inostroza, J. (2009). Calidad de papa semilla, estados fisiológicos del tubérculo y técnica de prebrotado. En J. Inostroza, *Manual de papa para la Araucanía: manejo y plantación* (pp. 15-27). Temuco, Chile: Instituto de Investigación Agropecuaria (INIA-Centro Regional Carillanca), Ministerio de Agricultura. Recuperado de <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR36470.pdf>
- Merz, U., Martinez, V. y Schwärzel, R. (2004). The Potential for the Rapid Screening of Potato Cultivars (*Solanum tuberosum*) for Resistance to Powdery Scab (*Spongospora subterranea*) Using a Laboratory Bioassay. *European Journal of Plant Pathology*, 110(1), 71-77. <https://doi.org/10.1023/B:EJPP.0000010123.21255.d1>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2019). *Estadísticas de cultivos agroforestales en Colombia 2010-2018* [Documento interno de la Oficina de Planeación del MADR. Tablas de Excel]. Colombia: Autor.
- 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.
- Mortvedt, J. J., Murphy, L. S. y Follett, R. H. (1999). *Fertilizer technology and application*. Ohio, EE. UU.: Meister Publishing Company.
- Noma, T., Colunga-García, M., Brewer, M., Landis, J., y Gooch, A. (2010). *Golden Nematode Globodera rotochiensis*. Michigan State University, Michigan Department of Agriculture. Recuperado de http://www.ipm.msu.edu/uploads/files/forecasting_invasion_risks/goldennematode.pdf
- Ñústez, C. E. (2003). (Fotógrafo). *Agallas en raíces causadas por S. subterranea ("Camanduleo")* [Fotografía]. Villapinzón (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2004a). (Fotógrafo). *Síntoma de Rosellinia spp. en la parte interna de tubérculo de papa* [Fotografía]. La Calera (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2004b). (Fotógrafo). *Tubérculos de la variedad Pastusa Suprema* [Fotografía]. La Calera (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2005a). (Fotógrafo). *Herramienta denominada "gancho" utilizada en la cosecha de papa* [Fotografía]. Villapinzón (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2005b). (Fotógrafo). *Tubérculos de la variedad Esmeralda* [Fotografía]. Villapinzón (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2005c). (Fotógrafo). *Tubérculos de la variedad Punto Azul* [Fotografía]. Villapinzón (Cundinamarca, Colombia).

- Ñústez, C. E. (2005d). (Fotógrafo). *Tubérculos de la variedad Rubí* [Fotografía]. Villapinzón (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2008). (Fotógrafo). *Labor de surcada con caballo* [Fotografía]. Villapinzón (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2009). (Fotógrafo). *Tubérculos de la variedad Diacol Capiro* [Fotografía]. Villapinzón (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2010a). (Fotógrafo). *Erosión en lotes de ladera por efecto del mal uso de maquinaria e implementos en la preparación de suelos* [Fotografía]. Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2010b). (Fotógrafo). *Tubérculos de la variedad Betina* [Fotografía]. Villapinzón (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2010c). (Fotógrafo). *Tubérculos de la variedad ICA Única* [Fotografía]. Villapinzón (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2010d). (Fotógrafo). *Tubérculos de la variedad Parda Pastusa* [Fotografía]. Villapinzón (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2011a). *Varietades colombianas de papa*. Bogotá, Colombia: Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia.
- Ñústez, C. E. (2011b). (Fotógrafo). *Arranque manual de la papa* [Fotografía]. Guasca (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2011c). (Fotógrafo). *Clorosis y marchitamiento de la planta afectada por Pectobacterium atrosepticum* [Fotografía]. La Calera (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2011d). (Fotógrafo). *Lesiones de pudrición en la base de los tallos causada por P. atrosepticum* [Fotografía]. La Calera (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2011e). (Fotógrafo). *Planta con síntoma del virus del amarillamiento de las nervaduras de la papa (PVV)* [Fotografía]. Villapinzón (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2011f). (Fotógrafo). *Síntoma de deficiencia de potasio en hojas de papa* [Fotografía]. La Calera (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2013a). (Fotógrafo). *Efecto del exceso de nitrógeno en el cultivo de papa* [Fotografía]. Bogotá rural norte (Colombia).
- Ñústez, C. E. (2013b). (Fotógrafo). *Síntoma de deficiencia de potasio en hojas de papa* [Fotografía]. La Calera (Cundinamarca, Colombia).

- Ñústez, C. E. (2017a). (Fotógrafo). *Bloqueo o “enchorrada” de tubérculos cosechados* [Fotografía]. Villapinzón (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2017b). (Fotógrafo). *Cargue en campo para el transporte de la cosecha* [Fotografía]. Villapinzón (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2017c). (Fotógrafo). *Labor tradicional de deshierba y aporque en el cultivo de papa* [Fotografía]. Chocontá (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2017d). (Fotógrafo). *Nemátodo de quiste en desarrollo en raíces de papa* [Fotografía]. Bogotá rural (Colombia).
- Ñústez, C. E. (2017e). (Fotógrafo). *Selección y empaque en campo de la papa cosechada* [Fotografía]. Sibaté (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2019a). (Fotógrafo). *Daño interno en tubérculo producido por el gusano blanco de la papa (P. vorax H.)* [Fotografía]. Sibaté (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2019b). (Fotógrafo). *Planta de papa con estolones que se convirtieron en tallos laterales* [Fotografía]. Cajicá (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E. (2019c). (Fotógrafo). *Tubérculos del clon llamado Superior*. [Fotografía]. Sibaté (Cundinamarca, Colombia).
- Ñústez, C. E., Pérez, A., Ñustes, L. y Peláez, C. (2016). Resultados de fertilización N-P-K en la variedad Pastusa Suprema en Colombia. En Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Panamá (Ed.), *Compendio de resúmenes XXVII Congreso Asociación Latinoamericana de la Papa (ALAP)*, (pp. 126-128). Panamá. Recuperado de <http://www.papaslatinas.org/alap2016/>
- Obiols, J. y Guardino, X. (2001). *NTP 589: Control biológico: concepto, práctica e interpretación*. España: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales España.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2002a). *Agricultura de conservación. Estudio de casos en América Latina y África*. Roma, Italia: Autor.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2002b). *Los fertilizantes y su uso* (4ª ed.). Roma, Italia: Autor.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2008). *La papa y los recursos hídricos*. Recuperado de la página del Año Internacional de la Papa 2008: <http://www.fao.org/potato-2008/es/lapapa/agua.html>

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2011). *Semillas en emergencias, Manual técnico*. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal (202). Roma, Italia. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i1816s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2017). *Estadísticas por cultivos*. Recuperado en mayo de 2019 de la página web de FAOSTAT: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- Orrego, R., Manrique, K., Quevedo, M. y Ortiz, O. (2012). *Mejorando la calidad de nuestra semilla de papa mediante la selección de las mejores plantas*. Lima, Perú: Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Panagiotopoulos, L.I. (1995). Fertilization of Potato Crops. *Agriculture-Cattle Breeding*, (9), 227-231. Peña, L.A. (2001). Gusanos blancos de la papa, biología y manejo. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 2(1), 29-33. Colombia: Corpoica.
- Peña, Y. (2019). (Fotógrafo). *Trampa pegajosa para seguimiento de poblaciones de adultos de Liriomyza spp.* [Fotografía]. Mosquera (Cundinamarca, Colombia).
- Pérez-Álvarez, R., Argüelles-Cárdenas, J. y Aguilera-Garramuño, E. (2010). Distribución espacial de *Premnotrypes vorax* (Hustache) (Coleoptera: Curculionidae) en cultivos de papa. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 11(1), 11-20. Corpoica. https://doi.org/10.21930/rcta.vol11_num1_art:190
- Pérez-Maldonado, D. E. (2008). *Efecto del parasitoida Encarsia formosa (hymenoptera: aphelinidae) sobre una población de Trialeurodes vaporariorum (Westwood) (Hemiptera: Aleiroididae) en un cultivo comercial de tomate (Lycopersicon esculentum) bajo condiciones de invernadero* [Trabajo de grado]. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.
- Pérez-Otero, R., Nicolas, R. y Mansilla, P. (2010). *Epitrix similis Gentner. Pulgilla de la patata*. Pontevedra, España: Estacion Fitopatologica do Areeiro (EFA), Deputación de Pontevedra. Recuperado de http://www.efa-dip.org/comun/publicaciones/FTecnicas/Download/Ficha54_Epitrix.pdf
- Pérez, W. y Forbes, G. (2008). *Manual técnico: el tizón tardío de la papa*. Lima, Perú: Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Porras, P. D. y Herrera, C. A. (2015). *Modelo productivo de la papa variedad Corpoica-Mary para los departamentos de Cundinamarca y Boyacá*. Mosquera, Colombia: Corpoica.
- Prado, R. (2008). *Nutrição de Plantas*. Jaboticabal, Brasil: Editorial UNESP.

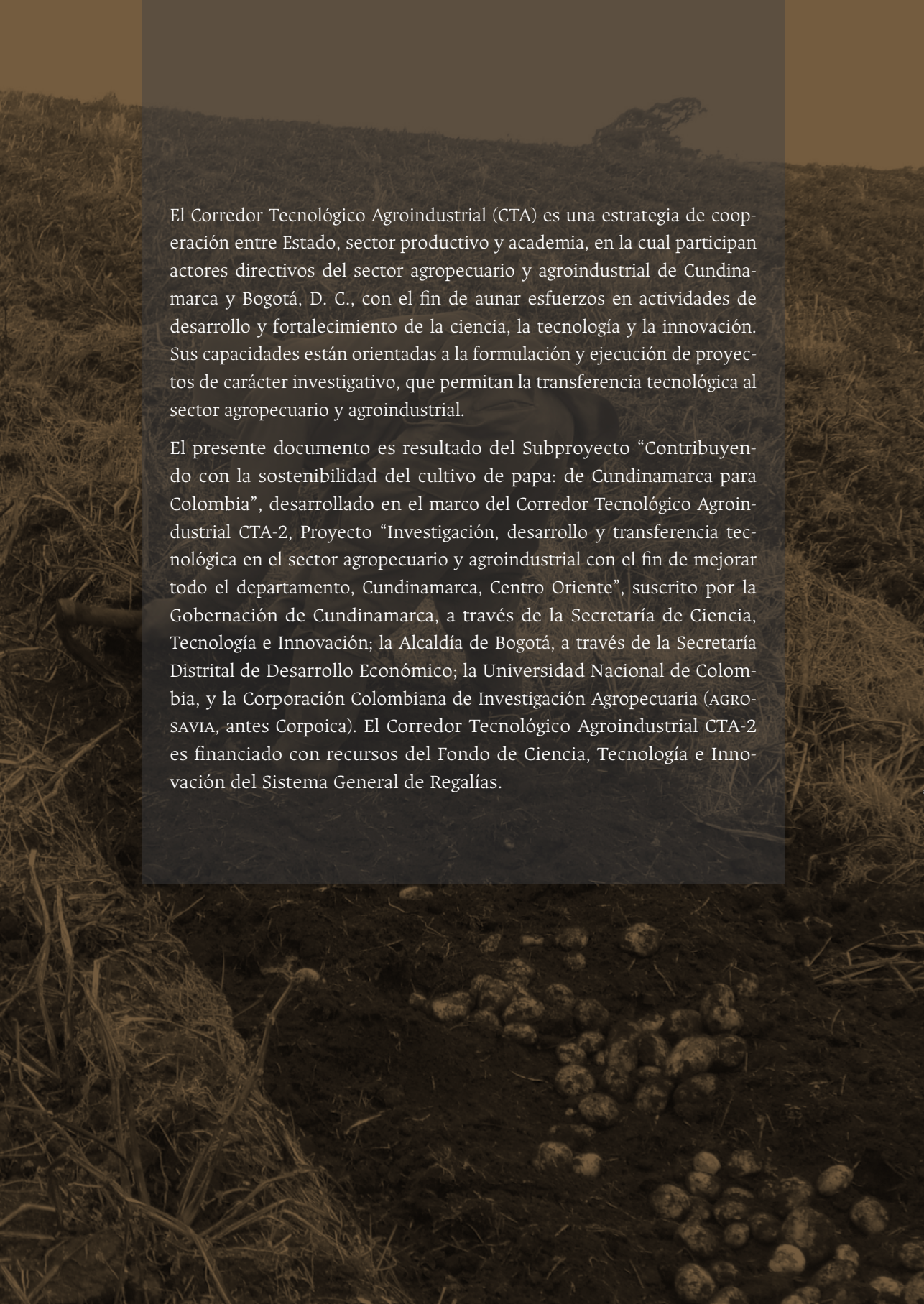
- Pumisacho, M. y Sherwood, S. (2002). *El cultivo de la papa en Ecuador*. Quito, Ecuador: Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias de Ecuador (INIAP), Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Ramírez, B. y Goyes, R. I. (2004). *Botánica. Generalidades, morfología y anatomía de plantas superiores*. Popayán, Colombia: Editorial Universidad del Cauca.
- Ramírez, V., Rendón, L. y Acevedo, L. (2011). Adsorción máxima del fósforo en suelos de la zona andina centro occidental de Colombia. *Suelos Ecuatoriales*, 41(2), 155-163.
- Reis, R. y Monnerat, P. (2000). Nutrient Concentrations in Potato Stem, Petiole and Leaflet in Response to Potassium Fertilizer. *Scientia Agricola*, 57(2), 251-255. <https://doi.org/10.1590/S0103-9016200000200009>
- 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>
- Resolución 3497 de 2014 [Instituto Colombiano Agropecuario]. Colombia. Por medio de la cual se establece el procedimiento para la reevaluación de los plaguicidas químicos de uso agrícola registrados con anterioridad a la entrada en vigencia de la Decisión CAN 436 y se establecen otras disposiciones. Octubre 30 de 2014.
- Restrepo, A., Jaramillo, S. y Cotes, J. M. (2009). Effect of Two Microorganisms, Mycorrhize and Pine Wood Shavings on the Control of Powdery Scab (*Spongospora subterranea*) in Potato. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, (62), 5047-5054. Medellín, Colombia.
- Riascos, S. (2018a). Una mirada a la realidad económica del subsector papa en 2017. *Revista Papa*, (44), 42-47. Fedepapa y Fondo Nacional de Fomento de la Papa (FNFP).
- Riascos, S. (2018b). Una mirada a la realidad económica del subsector papa en 2018. *Revista Papa* (45), 44-52. Fedepapa y Fondo Nacional de Fomento de la Papa (FNFP).
- Rosen, C. J. y Bierman, P. M. (2008). Potato Yield and Tuber Set as Affected by Phosphorus Fertilization. *American Journal of Potato Research*, 85(2), 110-120. <https://doi.org/10.1007/s12230-008-9001-y>

- Rubio, O., Rangel, J., Flores, R., Magalanes, J., Díaz, C., Zavala, T., Rivera, A., Cadena, M., Rocha, R., Ortiz, C., López, H., Díaz, M. y Paredes, A. (2000). *Manual para la producción de papas en las sierras y valles altos del centro de México*. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Pecuarías, Centro de Investigación Regional del Centro.
- Salazar, C. y Bettancourth, G. (2009). Evaluación de extractos de plantas para el manejo de polilla guatemalteca (*Tecia solanivora*) en cultivos de papa en Nariño, Colombia. *Agronomía Colombiana*, 27(2), 219-226.
- 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. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2000.tb00052.x>
- Salinas, A. (2019a). (Fotógrafo). *Adulto de pulguilla de la papa (Epitrix spp.)* [Fotografía]. Mosquera (Cundinamarca, Colombia).
- Salinas, A. (2019b). (Fotógrafo). *Daño de pulguilla de papa en hojas de papa (Epitrix spp.)* [Fotografía]. Mosquera (Cundinamarca, Colombia).
- Salisbury, F. B. y Ross, C. W. (2000). *Fisiología de las Plantas*. Madrid, España: Ediciones Paraninfo. Santa-maría, J., Rozo, G. y Barreto, B. (2019). Characterization of a K-Carrageenan Hydrogel and its Evaluation as a Coating Material for Fertilizers. *Journal of Polymers and the Environment*, 27(4), 774-783. <https://doi.org/10.1007/s10924-019-01384-4>
- Senbayram, M., Gransee, A., Wahle, V. y Heike, T. (2015). Role of Magnesium Fertilizers in Agriculture: Plant-soil Continuum. *Crop and Pasture Science*, (66), 1219-1229.
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria [SENASICA] (2013). *Nemátodo dorado de la papa (Globodera rostochiensis)* [Ficha técnica n.º 19]. México, D. F.: Dirección General de Sanidad Vegetal, Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria. Recuperado de <http://www.cesaveson.com/files/e6c2020a0f2b2dbb10d144881f4139d2.pdf>
- Shoji, S. y Takahashi, T. (2002). Environmental and Agricultural Significance of Volcanic Ash Soils. *Global Environmental Research*, (6), 113-135.
- Shutian, L., Duanb, Y., Guoc, T., Zhanc, P., Hea, P., Johnstond, A. y Shcherbakov, A. (2015). Potassium management in potato production in Northwest region of China. *Field Crop Research*, (174), 48-54.

- Sistema de información de precios [SIPSA]. (2018). *Precios mayorista series históricas*. Recuperado en julio de 2019 de <https://www.dane.gov.co/index.php/servicios-al-ciudadano/servicios-informacion/sipsa>
- Stark, J. Westerman, D. y Hopkins, B. (2004). *Nutrient Management Guidelines for Russet Burbank Potatoes* [Bulletin 840]. EE. UU.: University of Idaho, College of Agricultural and Life Sciences.
- Struik, P. y Wiersema, S. (2012). *Seed Potato Technology*. Wageningen, Países Bajos: Wageningen Academic Publishers.
- Sultenfuss J. y Doyle, Y. W. (1999). Functions of Phosphorus in Plants. En J. Sultenfuss y Y. W. Doyle (Eds.), *Better Crops with Plant Food* (pp. 6-7). Publication of the International Plant Nutrition Institute (IPNI) 83 (1), 4-5.
- Taiz, L. y Zeiger, E. (2006). *Plant Physiology* (4ª ed.). Sunderland, Massachusetts, EE. UU.: Sinauer Associates Publishers.
- Thangavel, T., Tegg, R. y Wilson, C. (2015). Monitoring *Spongospora subterranea* Development in Potato Roots Reveals Distinct Infection Patterns and Enables Efficient Assessment of Disease Control Methods. *PLOS ONE*, (10), 1-18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0137647>
- Tindall, T. A., Westermann, D. T. y Stark, J. C. (1993). Phosphorus Nutrition in Idaho Potatoes. *Better Crops*, 77(1), 23-25.
- Torres, D., Hernández, A., Martínez, J., Arguelles, J. y Pérez, O. (2014). Evaluación de algunos factores asociados a la presencia del Potato Yellow Vein Virus (PYVV) en los cuatro principales departamentos productores de Colombia. En C. E. Núñez (Comp.), *Memorias del XXVI Congreso de la Asociación Latinoamericana de la Papa (ALAP)*. *Papa, alimento ayer, hoy y siempre*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias.
- Torres, H. (2002). *Manual de las enfermedades más importantes de la papa en el Perú*. Lima, Perú: Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Torres, L., Montesdeoca, F. y Andrade, J. (2013). *Manejo del tubérculo semilla*. Quito, Ecuador: Centro Internacional de la Papa (CIP), Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Recuperado de <https://cipotato.org/es/sin-categorizar/manejo-del-tuberculo-semilla/>
- Tsrer, L., Barak, R. y Sneh, B. (2001). Biological Control of Black Scurf on Potato Under Organic Management. *Crop Protection*, 20(2), 145-150. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(00\)00124-1](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00124-1)
- Uchida, R. 2000. Essential Nutrients for Plant Growth: Nutrient Functions and Deficiency Symptoms. En J. Silva y R. Uchida (Eds.), *Plant Nutrient Management in Hawaii's Soils, Approaches for Tropical and Subtropical Agriculture* (pp. 31-55). Hawaii, EE. UU.: College of Tropical Agriculture and Human Resources.

- Valbuena-Benavides, R. I., Lasso, Z. L., Terán, C. A., Silva, E. A., Martínez, E. P., Sánchez, G. D., Maldonado, G., Hio, J. C., Santa, J. D., Soto, M., Barreto, N., Cely, N. L., Pérez, O. Y., Pedraza, R. A., Bautista, R. A., Uribe, A. F. y Preciado, I. M. (2019). *Modelo productivo para la variedad Perla Negra en el altiplano cundiboyacense*. Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia).
- Van De Graaf, P., Wale, S. y Lees, A. (2007). Factors Affecting the Incidence and Severity of *Spongospora subterranea* Infection and Galling in Potato Roots. *Plant Pathology*, 56(6), 1005-1013. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2007.01686.x>
- Vargas, R. (2015). (Fotógrafo). *Huevos de gusano blanco de la papa* [Fotografía]. Mosquera (Cundinamarca, Colombia).
- Westerman, D. (1993). Fertility Management. En R. Rowe (Ed.), *Potato Health Management (Plant Health Management Series)* (pp. 77-86). Minnesota, EE. UU: APS Press.
- Westerman, D. (2005). Nutritional Requirements of Potatoes. *American Journal of Potato Research*, 82(4), 301-307. <https://doi.org/10.1007/BF02871960>
- Wilches, W. (2014). (Fotógrafo). *Detalle de adultos de tiroteador de la papa (Naupactus spp.)* [Fotografía]. Mosquera (Cundinamarca, Colombia).
- Wilches, W. (2017). (Fotógrafo). *Adulto de gusano blanco de la papa* [Fotografía]. Mosquera (Cundinamarca, Colombia).
- Wilches, W. (2018). (Fotógrafo). *Adulto de minador o tostón (Liriomyza spp.)* [Fotografía]. Mosquera (Cundinamarca, Colombia).
- White, P. y Broadley, M. (2003). Calcium in Plants. *Annals of Botany*, 92(4), 487-511. <https://dx.doi.org/10.1093%2Faob%2Fmcg164>
- White, P. J., Whcatley, R. E., Hammond, J. P. y Zhang, K. (2007). Minerals, Soils and Roots. En D. Vreugdenhil (Ed.). *Potato Biology and Biotechnology, Advances and Perspectives* (pp. 739-752). Ámstersdam, Países Bajos: Elsevier.
- Wib, D. (1998). Functions of Potassium in Plants. *Better Crops with plants food. A Publication of the International Plant Nutrition Institute (IPNI)*, 82(3), 4-5.
- Wiersema, S.G. (1987). *Efecto de la densidad de tallos en la producción de papa*. Boletín de Información Técnica 1. Lima, Perú: Centro Internacional de la Papa (CIP).

Este manual se imprimió
por DGP Editores S.A.S
usando tipos Ancizar
en diciembre 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.