

Modelo productivo

de **papa** (*Solanum tuberosum* L.)
de la variedad Tuquerreña
para el departamento de Boyacá

Colección Transformación del Agro



El campo
es de todos

Minagricultura

Modelo productivo de papa(*Solanum tuberosum* L.) de la variedad Tuquerreña para el departamento de Boyacá

Autores

Eduardo María Espitia Malagón
Jorge Humberto Álvarez-Bernal
Germán David Sánchez León
Íngrid Marcela Preciado Mongui
Andrés Felipe Uribe Gaviria
Gonzalo Alfredo Rodríguez Borray
Zahara Lucía Lasso Paredes
Raúl Iván Valbuena Benavides
Mauricio Soto Suárez
Ángela Rocío Vásquez-Urriago
Sonia Mercedes Polo Murcia
Ruy Edeymar Vargas Díaz

Mosquera, Colombia, 2021

Modelo productivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) de la variedad Tuquerreña para el departamento de Boyacá / Eduardo María Espitia Malagón [y otros diez] – Mosquera (Colombia) : AGROSAVIA, 2021.

142 páginas (Colección Transformación del Agro)

Incluye fotos, gráficos, tablas

ISBN E-book: 978-958-740-463-0

1. *Solanum tuberosum* 2. Producción de semillas 3. tecnologías locales 4. Variedades nativas 5. Sistemas de producción 6. Boyacá (Colombia).

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura Agrovoc

Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA

Centro de Investigación Tibaitatá, kilómetro 14 vía Mosquera-Bogotá, Mosquera. Código postal 250047, Colombia.

Esta publicación es el resultado de los proyectos "Estrategias de producción sostenible de papa en el altiplano cundiboyacense y Nariño, que permitan la obtención de un producto inocuo y de mínimo impacto" y "Estructuración de costos de producción de papa en zonas agroproductivas homogéneas (ZAH) del altiplano cundiboyacense".

Fecha de recepción: 06 de junio de 2019

Fecha de evaluación: 12 de junio de 2019

Fecha de aceptación: 09 de octubre de 2020

Colección Transformación del Agro

Publicado en Mosquera, Colombia, mayo 2021

Preparación editorial

Editorial AGROSAVIA

editorial@agrosavia.co

Edición: Diego Pérez Medina

Corrección de estilo: Andrés Castillo Brievea

Línea de atención al cliente: 018000121515

atencionalcliente@agrosavia.co

www.agrosavia.co

DOI:

<https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7404630>

Citación sugerida: Espitia Malagón, E. M., Álvarez-Bernal, J. H., Sánchez León, G. D., Preciado Mongui, Í. M., Uribe Gaviria, A. F., Rodríguez Borray, G. A., Lasso Paredes, Z. L., Valbuena Benavides, R. I., Soto Suárez, M., Vásquez-Urriago, Á. R., Polo Murcia, S. M. & Vargas Díaz, R. E. (2021). *Modelo productivo de papa (Solanum tuberosum L.) de la variedad Tuquerreña para el departamento de Boyacá*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7404630>

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones e información recogidas en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, y declaran, en este último supuesto, que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación. Igualmente, declaran que no existe conflicto de interés alguno en relación con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, 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.



https://co.creativecommons.org/?page_id=13

Contenido

Los autores	9
Introducción	15
Capítulo I	
Área geográfica y entorno ambiental	20
Capítulo II	
Descripción botánica, taxonomía y recurso genético	28
Evolución y origen de las papas cultivadas	28
La papa diploide cultivada	29
La papa tetraploide cultivada	29
La papa tetraploide cultivada, grupo Chilotanum	30
Taxonomía de las especies de papa	30
Capítulo III	
Producción de semilla y propagación	34
Producción y almacenamiento de semilla de la variedad de papa Tuquerreña en Toca	34
Almacenamiento de la variedad Tuquerreña en Toca	36
Sistemas formales de producción de semilla.....	40
Producción de semilla de papa: fase I	43
Producción semilla: fase II	49
Sistemas informales de producción de semilla	50
Selección positiva o selección clonal	51
Selección negativa	51
Capítulo IV	
Exigencias edafoclimáticas para el desarrollo del cultivo	52
Condiciones climáticas para el cultivo de papa Tuquerreña	52
Factores que influyen en el crecimiento y desarrollo de la planta de papa	53
Fotosíntesis	53
Estructura de la hoja e intensidad de luz.....	53
Crecimiento del tubérculo	53
Duración del día o fotoperiodo	54
Temperatura	54
Intensidad de luz o fitocromo	56
Reguladores de crecimiento.....	56
Agua	56

Capítulo V

Manejo del recurso suelo y sistemas de siembra57

Manejo de suelos en el municipio de Toca para el cultivo de papa de la variedad Tuquerreña.....	57
Estados fenológicos y desarrollo del cultivo.....	61

Capítulo VI

Manejo integrado de plagas y enfermedades (mipe)63

Principales enfermedades del cultivo.....	64
Gota de la papa (<i>Phytophthora infestans</i> (Mont.) de Bary)	64
Rizoctonias o costa negra (<i>Rhizoctonia solani</i> Kühn).....	67
Mortaja blanca, papa salada o canizco (<i>Rosellinia</i> sp.)	69
Tizón temprano (<i>Alternaria solani</i> (Ell. & Mart.) Jones & Grout).....	70
Principales plagas del cultivo.....	71
Polilla guatemalteca (<i>Tecia solanivora</i> [Povolny])	72
Palomilla de la papa (<i>Phthorimaea operculella</i> [Zeller]).....	75
Gusano blanco de la papa (<i>Premnotrypes vorax</i> [Hustache])	77
Pulguilla (<i>Epitrix</i> spp.)	80
Mosca blanca (<i>Trialeurodes vaporariorum</i> Westwood).....	81

Capítulo VII

Prácticas culturales.....84

Labores generales del cultivo de papa de la variedad Tuquerreña, en Toca (Boyacá)	84
Aplicación de riego en papa de la variedad Tuquerreña, en Toca	86
Manejo y control de plantas arvenses	89
Fertilización y aplicación de enmiendas	90
Plan de fertilización	91
Clasificación de los elementos nutricionales.....	95

Capítulo VIII

Cosecha101

Capítulo IX

Poscosecha y valor agregado104

Lavado y clasificación	104
Mercados especializados.....	107

Capítulo X

Indicadores económicos109

Comercialización y mercadeo de la papa	109
--	-----

Referencias.....118

Glosario136

Lista de figuras

Figura 1	Variedad de papa Tuquerreña.....	19
Figura 2	Principales municipios productores de la variedad Tuquerreña en el departamento de Boyacá, Colombia.....	21
Figura 3	Municipio de Toca, Boyacá	23
Figura 4	Relieve vereda Centro Arriba, municipio de Toca, colindante con el municipio de Siachoque.....	24
Figura 5	Estructuras de la planta de la papa variedad Tuquerreña	33
Figura 6	Labores desarrolladas por los productores en un sistema local de producción de semilla de papa de la variedad Tuquerreña.....	35
Figura 7	Almacenamiento de semilla en condiciones de finca en el municipio de Toca, Boyacá	37
Figura 8	Bodega de adobe para almacenamiento de la papa Tuquerreña. La baja luminosidad y la poca aireación favorecen las bajas temperaturas	38
Figura 9	Entrojado, método tradicional de conservación de semilla de papa Tuquerreña	38
Figura 10	Antigua bodega de adobe para almacenamiento a granel de papa Tuquerreña, municipio de Toca (Boyacá)	39
Figura 11	Plántulas de papa producidas en condiciones <i>in vitro</i>	42
Figura 12	Técnicas de endurecimiento de plántulas de papa	44
Figura 13	Sistema convencional de producción de semilla de papa durante la fase I.....	45
Figura 14	Plantas de papa de la variedad Tuquerreña en un módulo del sistema aeropónico.....	47
Figura 15	Minitubérculos de papa de la variedad Tuquerreña en sistema aeropónico.....	48
Figura 16	Minitubérculos de papa de la variedad Tuquerreña	49
Figura 17	Surcado con tracción animal y arado de gancho	58
Figura 18	Siembra manual de papa de la variedad Tuquerreña.....	58
Figura 19	Planta de papa de la variedad Tuquerreña afectada por el patógeno <i>Phytophthora infestans</i> , causante de la gota	65
Figura 20	Tubérculo de papa de la variedad Tuquerreña con esclerocios de <i>Rhizoctonia solani</i> , patógeno causante de la costra negra	68
Figura 21	Planta de papa de la variedad Tuquerreña afectada por <i>Rhizoctonia solani</i> , patógeno causante de la costra negra	69

Figura 22	Polilla guatemalteca de la papa.....	73
Figura 23	Daño en tubérculo ocasionado por larvas de polilla guatemalteca ...	73
Figura 24	Inspección de trampa de feromonas para captura de adultos de polilla guatemalteca	75
Figura 25	La palomilla de la papa	76
Figura 26	Daño en tubérculos ocasionado por la palomilla de la papa	76
Figura 27	Daños causados por el gusano blanco de la papa	78
Figura 28	El gusano blanco de la papa	79
Figura 29	Pulguilla (<i>Epitrix</i> spp.).....	81
Figura 30	Mosca blanca en plantas de papa	83
Figura 31	Labor de trazado con tracción animal y arado de gancho para el cultivo de papa de la variedad Tuquerreña	84
Figura 32	Riego por aspersión en cultivo de papa de la variedad Tuquerreña, municipio de Toca, Boyacá.....	88
Figura 33	Sistemas de riego en cultivo de papa de la variedad Tucarreña, municipio de Toca, Boyacá. <i>Izquierda</i> , riego por aspersión con dispositivos tipo Xcel-Wobbler. <i>Derecha</i> , riego por aspersión tradicional	89
Figura 34	Herramientas (ganchos) usadas para la cosecha manual de papa de la variedad Tuquerreña, Toca, Boyacá.....	102
Figura 35	Proceso de acopio, lavado, clasificación y empaque de papa de la variedad Tuquerreña en la vereda Centro Arriba del municipio de Toca, Boyacá.....	105
Figura 36	Presentación de tubérculos de papa de la variedad Tuquerreña, en bultos de 50 kg, tal como se comercializan en centros de acopio y mercados locales	106
Figura 37	Clasificación y selección de tubérculos de tamaño pequeño, destinados a comercializarse bajo la categoría <i>gourmet</i>	107
Figura 38	Papa Tuquerreña lista para ser comercializada en almacenes de grandes superficies	108

Lista de tablas

Tabla 1	Cultivos agrícolas con mayor producción en el mundo.....	16
Tabla 2	Distribución del área (ha) cultivada de papa en Colombia por variedades, 2018	17
Tabla 3	Área sembrada con papa Tuquerreña en los principales municipios de Boyacá	22
Tabla 4	Valores medios mensuales de temperatura (°C) reportados por la estación meteorológica de Toca	25
Tabla 5	Información de precipitación (mm) registrada en estaciones meteorológicas de los municipios de Toca, Siachoque y Soracá (Boyacá)	26
Tabla 6	Concentración de macro y micronutrientes (ppm) para la obtención de minitubérculos de papa con la técnica de aeroponía	47
Tabla 7	Producción de minitubérculos de papa de la variedad Tuquerreña en los sistemas de aeroponía y convencional	49
Tabla 8	Estadios principales de desarrollo de la planta de papa <i>S. tuberosum</i> , según escala BBCH	62
Tabla 9	Principales malezas del cultivo de papa	91
Tabla 10	Absorción de nutrientes por tonelada de papa producida (kg de nutrientes/t)	93
Tabla 11	Estructura de costos de producción de papa de la variedad Tuquerreña en Boyacá, 2017.....	114

Los autores

Eduardo María Espitia Malagón

Correo: eespitia@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4690-393X>

Ingeniero agrónomo de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), de Tunja. MSc en Entomología y Manejo Integrado de Plagas (MIP) de la Universidad Estatal de Michigan (MSU). Boyacense. Investigador en el área de MIP y producción con buenas prácticas agrícolas. Ha liderado y ejecutado proyectos de investigación y transferencia de tecnología en cultivos de papa, hortalizas y pastos de clima frío. Su carrera de investigación la ha desarrollado en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, desde 1994 hasta la fecha, y en el Vegetable Entomology Laboratory de la MSU, entre 2002 y 2004. Ha desarrollado docencia en pregrado, dirección de trabajos de grado y talleres con productores de papa y hortalizas en Colombia. Es autor de publicaciones para revistas colombianas, conferencias, ponencias, boletines técnicos, manuales y artículos de libros sobre manejo integrado, seguimiento de poblaciones de plagas y control biológico.

Jorge Humberto Álvarez-Bernal

Correo: jorgehumberto.alvarez@uptc.edu.co;

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4389-7204>

Ingeniero agrónomo, especialista en manejo de postcosecha de flores, frutas y verduras. MSc(c) en Fisiología Vegetal; integrante del grupo de investigación Clínica y Salud, de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, y profesional universitario. Ha trabajado en la Secretaría de Planeación de la Gobernación de Boyacá y como asistente técnico de cultivos de uchuva tipo exportación y producción de semilla de papa certificada.

Germán David Sánchez León

Correo: gsanchez@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8608-816X>

Ingeniero agrónomo. MSc en Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, con más de 28 años de experiencia en investigación y transferencia de tecnologías agropecuarias, producción limpia, buenas prácticas agrícolas (BPA), producción ecológica, agricultura protegida, manejo integrado de plagas (MIP), agricultura urbana, producción de plántulas y producción de minitubérculos de papa registrados ante el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Actualmente está adscrito a la Red de Innovación de Raíces y Tubérculos y trabaja en producción de semilla prebásica de papa por el sistema aeropónico y convencional, en el Plan Semilla (PS) papa y en el Plan de vinculación papa, en el Centro de Investigación Tibaitatá de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA.

Íngrid Marcela Preciado Mongui

Correo: ipreciado@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9344-1619>

Ingeniera agrónoma. Estudiante de la maestría en Ciencias Agrarias, con énfasis en fisiología de cultivos, de la Universidad Nacional de Colombia. Tiene más de quince años de experiencia en manejo integrado del cultivo de papa, y ha trabajado en formulación y ejecución de proyectos de investigación participativa en sistemas productivos y de transferencia de tecnología de papa y hortalizas. Actualmente, se desempeña como profesional de apoyo a la investigación adscrita a la Red de Innovación de Raíces y Tubérculos y trabaja en producción de semilla prebásica de papa, en el Plan Semilla (PS) papa y en el Plan de vinculación papa, en el Centro de Investigación Tibaitatá de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA.

Andrés Felipe Uribe Gaviria

Correo: auribeg@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2941-2677>

Ingeniero agrónomo. Ha trabajado en proyectos de investigación para la obtención de variedades de papa criolla (Corpoica Sol Andina, Agrosavia Estrella y Agrosavia Tiba) y cebolla de rama (Corpoica Aquitania 1 y Corpoica Tota 1), en la Red de Innovación de Raíces y Tubérculos y en la Red de Innovación de Hortalizas. Actualmente se desempeña como profesional de apoyo a la investigación y trabaja en el área de producción de semilla prebásica de papa por el sistema aeropónico y convencional, en el Plan Semilla (PS) papa y en el Plan de vinculación papa, en el Centro de Investigación Tibaitatá de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA.

Gonzalo Alfredo Rodríguez Borray

Correo: grodriguez@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6261-7418>

Ingeniero agrónomo, economista agrario, máster en Economía, con estudios doctorales en Economía y Agroecología. Es investigador de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, en áreas de agroeconomía y agroindustria, con énfasis en análisis de sistemas de agricultura familiar y agroindustria rural. En 1993, ganó el Premio Nacional en Ciencias de la Fundación Alejandro Ángel Escobar por los trabajos de investigación y transferencia de tecnología en la agroindustria panelera. En 2002, obtuvo mención honorífica por sus investigaciones para el rescate y valorización de la achira (*Canna edulis*), especie autóctona de los Andes. En alianza con grupos de investigación latinoamericanos y europeos, ha contribuido al concepto y enfoque de los sistemas agroalimentarios localizados (SIAL), como estrategia viable para el desarrollo rural, en territorios campesinos de países de menor desarrollo relativo. Entre 2016 y 2018, fue distinguido como coordinador de la Red SIAL Americana.

Zahara Lucía Lasso Paredes

Correo: zlasso@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5007-3983>

Ingeniera agrónoma. Estudiante de la maestría en Gestión y Desarrollo Rural de la Universidad Nacional de Colombia. Actualmente, se desempeña como profesional de apoyo a la investigación en el Centro de Investigación Tibaitatá, en el área de recursos fitogenéticos a partir de la conservación en campo de la Colección Central Colombiana de papa, perteneciente al Banco de Germoplasma Vegetal de la Nación. Ha prestado su apoyo en proyectos de investigación, en la búsqueda de materiales con resistencia a enfermedades limitantes como gota y roña de la papa, y en la búsqueda de resistencia a plagas como la polilla guatemalteca en el cultivo de papa. Además, ha trabajado en la aplicación de compostaje y vermicompostaje para el manejo de *Fusarium* en cultivos de tomate bajo invernadero. Actualmente, trabaja en la conservación de la agrobiodiversidad y pertenece a la Red de Innovación de Raíces y Tubérculos de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA.

Raúl Iván Valbuena Benavides

Correo: ivalbuena@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8245-8514>

Ingeniero agrónomo, máster en Fisiología Vegetal. Actualmente, es curador de la Colección Central Colombiana de papa, perteneciente al Banco de Germoplasma de la Nación. Además, ha liderado el estudio de la variabilidad genética de la papa mediante procesos de caracterización morfológica en niveles cualitativo y cuantitativo, la toma de parámetros agronómicos y fisiológicos y la caracterización molecular. Ha participado en proyectos de ecofisiología, pruebas de evaluación agronómica, en fincas con productores del altiplano cundiboyacense, en evaluación de materiales promisorios de papa a partir de características de interés (resistencia a gota, alto rendimiento y precocidad) y en el registro y lanzamiento de la variedad Perla Negra con registro del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) para el altiplano cundiboyacense. En los últimos años, ha participado en publicaciones tanto nacionales como internacionales de artículos científicos en revistas indexadas sobre recursos genéticos en papa, estrés hídrico y fisiología. Se desempeña como investigador máster senior en el Centro de Investigación Tibaitatá de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA.

Mauricio Soto Suárez

Correo: msoto@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2392-2839>

Biólogo. PhD en Biología con énfasis en fitopatología. Su interés de investigación ha sido el campo de la patología vegetal, en el que ha estudiado aspectos fisiológicos, bioquímicos y moleculares tanto a nivel del patógeno como del hospedero. Estas investigaciones incluyen la detección, diagnóstico y análisis de la estructura poblacional del patógeno, la caracterización de determinantes genéticos que causan la enfermedad y la búsqueda de alternativas al uso de agroquímicos para el control de enfermedades (inductores de resistencia, biofungicidas, sustancias bioactivas, etc.). Actualmente, trabaja en el estudio de enfermedades de importancia en solanáceas como el tizón tardío de la papa y el tomate causado por el patógeno *Phytophthora infestans*, y la marchitez del tomate causada por los patógenos *Fusarium oxysporum* y *Ralstonia solanacearum*. Su propósito es combinar investigación básica y aplicada para proporcionar a los agricultores recomendaciones de manejo de enfermedades basadas en la ciencia. Pertenece al Centro de Investigación Tibaitatá de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA.

Ángela Rocío Vásquez-Urriago

Correo: arvasquez@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5487-2950>

Economista, máster en Economía de la Universidad Nacional de Colombia, PhD en Economía y Gestión de la Innovación y Política Tecnológica de la Universidad Complutense de Madrid. Su investigación ha estado centrada en el análisis de adopción y evaluación de impacto de tecnologías del sector agropecuario, la evaluación de impacto de políticas de ciencia y tecnología, el análisis de sistemas de innovación y en estudios prospectivos. Desde 2015 es investigadora de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria -AGROSAVIA, donde se ha enfocado en el desarrollo de la Estrategia Integral de Evaluación de Impacto y Balance Social de la corporación y ha formado parte de la Red de Innovación de Raíces y Tubérculos, como investigadora en temas socioeconómicos.

Sonia Mercedes Polo Murcia

Correo: spolo@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9362-4717>

Ingeniera química de la Universidad de América, magíster en economía de la Universidad de los Andes de Colombia. Actualmente está vinculada a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA y desde 2015 pertenece al Centro de Investigación Tibaitatá de la Corporación, donde ha desarrollado proyectos de investigación en el área de procesos agroindustriales, particularmente en diseño de procesos y análisis microeconómico de tecnologías agrícolas. También ha participado en proyectos de investigación asociados a indicadores ambientales y de sostenibilidad. Recientemente trabajó en modelamiento espacial de cultivos e implementación de procesos de optimización agroeconómica en áreas de interés regional.

Ruy Edeymar Vargas Díaz

Correo: rvargas@agrosavia.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2609-4087>

Ingeniero Agrícola. MSc en Bioestadística de la Universidad Nacional de Colombia con más de diez años de experiencia en proyectos de investigación y transferencia de tecnología en temas referentes a manejo de aguas, suelos, implementación y desarrollo de agricultura limpia, evaluación de cultivos como hortalizas, papa y tomate. Además, posee conocimientos en el análisis de datos con enfoque en estadística espacial.

Introducción

La variedad de papa Tuquerreña es una de las más apetecidas en el mercado del centro de Colombia. En la principal zona de producción, Boyacá, es conocida como *tocarreña*, y en el principal mercado, Bogotá, se la denomina *sabanera*. Aunque no es la variedad más producida en Colombia, sí es ampliamente reconocida en estos mercados y tiene características culinarias, relacionadas con su aspecto y durabilidad en poscosecha, que la han posicionado históricamente como un referente de calidad para la fijación de precios en el mercado. La variedad corresponde a un material nativo de papas cultivadas y en torno a ella, con el paso de los años, se ha consolidado un sistema de producción autóctono que los productores de la región de Toca (Boyacá) han sabido mantener, pero del cual aún falta mucho por conocer.

La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA hace el presente ejercicio de compilación de información disponible sobre la variedad, con el propósito de aportar a la conservación, la consolidación y el desarrollo del cultivo. Pero también con el convencimiento de que son varios los aspectos de la variedad que aún están pendientes por desarrollar, aspectos que, de ser investigados y validados, permitirán consolidar en el futuro nuevas versiones de su modelo productivo en un documento que llene todas las expectativas y los vacíos identificados.

La papa cultivada corresponde a la especie *Solanum tuberosum* L. sección *Petota* (Hardigan et al., 2017). Constituye el cuarto alimento de mayor consumo en el mundo después del maíz, el trigo y el arroz (tabla 1). En el año 2018, se produjeron en el mundo cerca de 368 millones de toneladas del tubérculo, destacándose la participación de China (24,5 %), India (13,2 %), Federación Rusa (6,1 %) y EE. UU. (5,6 %). Colombia, con una participación de 0,8 %, ocupó el puesto 20 en un listado de 163 países productores (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2020).

Tabla 1. Cultivos agrícolas con mayor producción en el mundo

Cultivos	Millones de toneladas
Caña de azúcar	1.907
Maíz	1.147
Arroz	782
Trigo	734
Papa	368
Soya	348
Hortalizas	298
Yuca	278
Remolacha azucarera	275
Fruto palma de aceite	272

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2020)

En Colombia, existen 64 variedades de papa registradas ante el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) (2020). Sin embargo, las más cultivadas en los principales departamentos productores (Cundinamarca, Boyacá, Antioquia y Nariño) corresponden a un pequeño número (tabla 2). En 2018, las variedades Superior y Diacol Capiro fueron las más sembradas en el país, cada una con una participación del 22,9 % en el área nacional de cultivo de papa, seguidas por las variedades Parda Pastusa (10,9 %) y Pastusa Suprema (10,8 %). La variedad Tuquerreña fue la quinta variedad más sembrada (4,1 %), aun cuando solo se reporta en dos departamentos (H. J. Villarreal, Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], comunicación personal, febrero 5, 2020). En cuanto al uso preferente de estas variedades, la papa Diacol Capiro, también conocida como R12, es utilizada como materia prima en la industria y para la exportación y el consumo en fresco. La ICA-Puracé se emplea preferentemente en algunas regiones del país (climas templado y cálido) para consumo en fresco, y la Tuquerreña se consume sobre todo en Bogotá (Núñez, 2011).

Tabla 2. Distribución del área (ha) cultivada de papa en Colombia por variedades, 2018

Departamento	Antioquia	Boyacá	Cundimarca	Nariño	Otros	Total nacional
Total departamento	7.166	35.578	48.266	25.289	13.881	130.179
Pastusa Suprema	-	3.556	6.036	2.250	2.221	14.063
Porcentaje en el departamento*	-	10	12,5	8,9	16	10,8
Parda Pastusa	-	3.220	5.902	2.745	2.276	14.144
Porcentaje en el departamento*	-	9,1	12,2	10,9	16,4	10,9
Superior	265	7.646	15.839	3.665	2.457	29.872
Porcentaje en el departamento*	3,7	21,5	32,8	14,5	17,7	22,9
Diacol Capiro	5.159	6.873	8.800	6.864	2.140	29.837
Porcentaje en el departamento*	72	19,3	18,2	27,1	15,4	22,9
Tuquerreña	-	4.676	624	-	-	5.300
Porcentaje en el departamento*	-	13,1	1,3	-	-	4,1
ICA Puracé	884	19	154	-	-	1.057
Porcentaje en el departamento*	12,3	0,1	0,3	-	-	0,8
ICA Única	-	4.910	4.597	2.982	1.480	13.969
Porcentaje en el departamento*	-	13,8	9,5	11,8	10,7	10,7
Criolla	610	1.983	2.793	2.347	1.054	8.787
Porcentaje en el departamento*	8,5	5,6	5,8	9,3	7,6	6,8
Otras	247	2.693	3.522	4.436	2.252	13.149
Porcentaje en el departamento*	3,4	7,6	7,3	17,5	16,2	10,1

* Porcentaje de área cultivada con papa de la respectiva variedad

Fuente: H. J. Villarreal, Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) (comunicación personal, febrero 5, 2020)

En Colombia, el altiplano cundiboyacense es la región productora de la variedad Tuquerreña. En esta región, la variedad constituye un importante sistema de producción —su consumo se ha mantenido relativamente estable en los últimos años—. En el mercado de Bogotá, el principal centro de consumo de la región y el país, se conoce como *sabanera* (Núñez, 2011), término que en el mercado también se usa para denominar papas de apariencia similar.

El Censo Nacional de la Papa (2002) reportó que, para 2002, existían 5.034 ha en Boyacá y 138 ha en Cundinamarca de área cultivada de papa Tuquerreña, mientras que para el año 2009, el Consejo Nacional de la Papa reportó 4.418 ha y 518 ha respectivamente (Barrientos & Núñez, 2014). El Centro Nacional de Productividad (CNP) (2017) reportó 5.078 ha para los dos departamentos en 2015, distribuidas en 4.471 ha en Boyacá y 607 ha en Cundinamarca (citado por H. J. Villarreal, Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales, MADR, comunicación personal, febrero 5, 2020). Como se observa en la tabla 2, en 2018 el país reportó 5.300 ha, circunscritas nuevamente a Boyacá y Cundinamarca. En Boyacá, el nicho productivo primordial se encuentra en los municipios de Siachoque y Toca. En esta zona, la oferta ambiental es adecuada para el crecimiento y el desarrollo de la variedad y los agricultores locales la han cultivado durante varias generaciones.

El nombre de la variedad, *tocarreña*, es el mismo con el que se conoce en el departamento y está asociado al municipio de Toca, a un factor cultural y a la identidad que genera su cultivo en las comunidades de la región. La variedad es muy conocida y apreciada localmente, como lo resaltan testimonios locales: “La tocarreña es papa de año, semirredonda, de color rojizo, eso depende del terreno. Es la papa más deliciosa que pueda existir después de la criolla. Contiene elementos nutritivos, más elementos en materia seca” (López Estupiñán, 2015, p. 183). Presenta unos atributos culinarios muy conocidos por los productores y habitantes de la región y es la preferida en la preparación de platos típicos de la zona del altiplano cundiboyacense (López Estupiñán, 2015).

La variedad Tuquerreña (figura 1) se clasifica como una de las papas nativas colombianas y está incluida en el Banco de Germoplasma Vegetal de AGROSAVIA. Su origen es incierto y se desconoce la manera como llegó al departamento de Boyacá. Se han encontrado indicios de su origen en el sur del país e incluso se ha llegado a sugerir que el material entró por el departamento de Nariño desde Ecuador. Desde allí se diseminó hacia otras regiones de Colombia y encontró su mejor adaptación en la zona centro del país, particularmente en los

departamentos de Cundinamarca y Boyacá, en zonas específicas que ofrecían las condiciones propicias para su desarrollo y crecimiento. Existen noticias de su cultivo que datan de finales del siglo XIX. En 1883, la variedad se reportó como una de las primeras que sufrió el ataque de la enfermedad de la gota de la papa en Colombia (en Chipaque, Cundinamarca) (Luján, 1970).



Figura 1. Variedad de papa Tuquerreña. a. Lote de cultivo en Toca, Boyacá; b. Tubérculos cosechados y lavados; c. Tubérculos empacados y listos para comercialización.

La variedad tiene gran aceptación en los mercados de consumo en fresco por su palatabilidad, su estabilidad en la cocción y su calidad culinaria. La Tuquerreña es una variedad de papa muy tradicional y conocida en Colombia, pero sobre ella no se tienen mayores trabajos de investigación, como sí se tienen de las variedades comerciales mejoradas que actualmente se encuentran en el país. El presente modelo productivo es uno de los pocos estudios existentes y contribuye a la compilación de conocimiento de dominio público. Está dirigido al personal técnico y productor y pretende ser un instrumento de conocimiento sobre la variedad de papa Tuquerreña que se siembra en el enclave productivo de la zona de Toca, principal municipio productor de Boyacá.

A pesar de los vacíos mencionados arriba, este modelo productivo busca poner a disposición del público una compilación sobre el conocimiento generado alrededor de la variedad y deja abierta la puerta para que futuros trabajos llenen la información faltante. El documento se divide en diez capítulos, en los que se describen los aspectos más relevantes y característicos del sistema productivo. En primer lugar, se describe el entorno ambiental en el que se desarrolla el cultivo, así como la botánica y la taxonomía de la variedad. Luego se detallan los procesos de producción de semilla y propagación y las exigencias edafoclimáticas para el desarrollo de las plantas. Se describe el manejo del recurso suelo, así como los sistemas de siembra, las prácticas culturales y el manejo integrado de plagas y enfermedades. Finalmente, se compila la información sobre cosecha, postcosecha e indicadores económicos.

Capítulo I

Área geográfica y entorno ambiental

Boyacá es el segundo departamento productor de papa en Colombia, pero su productividad no es la más alta. Para los agricultores de la región, la ausencia de semilla con pureza genética y la falta de asistencia técnica especializada y de un paquete tecnológico adecuado para la variedad son las principales limitantes para mejorar los rendimientos (Secretaría de Fomento Agropecuario de Boyacá, 2018).

Boyacá es el principal departamento de Colombia que produce la variedad de papa Tuquerreña. El área geográfica donde se cultiva y produce la variedad en el departamento se ubica en zonas de páramo y subpáramo¹, preponderantemente en altitudes de 2.700 a 3.200 m s. n. m. Los complejos de páramo en los que se concentra la actividad productiva de esta variedad son el páramo de Pisba y el complejo Toca-Bijagual-Mamapacha, localizados en los municipios de Monguí, Gámeza, Toca, Siachoque, Ciénega y Viracachá (figura 2).

En Colombia, el uso de semilla certificada en el cultivo de papa corresponde al 5 % del área sembrada. De este pequeño porcentaje, cerca del 90 % corresponde a la variedad Diacol Capiro (MADR, 2019b). Este uso extremadamente bajo de semilla certificada constituye un factor crítico para el sistema productivo, que afecta también al cultivo de la papa Tuquerreña.

De las 125.601 ha de papa cultivadas en el país en 2015, las de Tuquerreña correspondieron al 4,04 % y estaban ubicadas en Boyacá y Cundinamarca (H. J. Villarreal, Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales, MADR, comunicación personal, octubre 3, 2016). Boyacá, como principal productor de la variedad, dedicó 4.471 ha a su siembra. Esta cantidad representó el 13,15 % del área sembrada con papa en el departamento. Cundinamarca fue el segundo

¹ Según Van der Hammen et al. (2002), el *páramo* “propiedades dicho” es la “zona altitudinal de vegetación de páramo abierto, entre subpáramo (o a veces el bosque alto andino) y superpáramo. Domina la vegetación abierta con gramíneas y frailejones pero se encuentran localmente formaciones arbustivas bajas o manchas de bosque alto andino, con frecuencia de Colorado (*Polylepis*), Rodamone (*Escallonia*) y otras”. El *subpáramo* es la “zona altitudinal de vegetación entre el límite altitudinal original del bosque andino continuo y el páramo propiamente dicho. Presenta originalmente un mosaico de vegetación de páramo abierto (frailejones y gramíneas), formaciones arbustivas y bosque alto andino” (p. 165).

departamento con área dedicada a la papa Tuquerreña, con 607 ha (tabla 1) (Federación Colombiana de Productores de Papa [Fedepapa] & Fondo Nacional de Fomento de la Papa [FNFP], 2019).

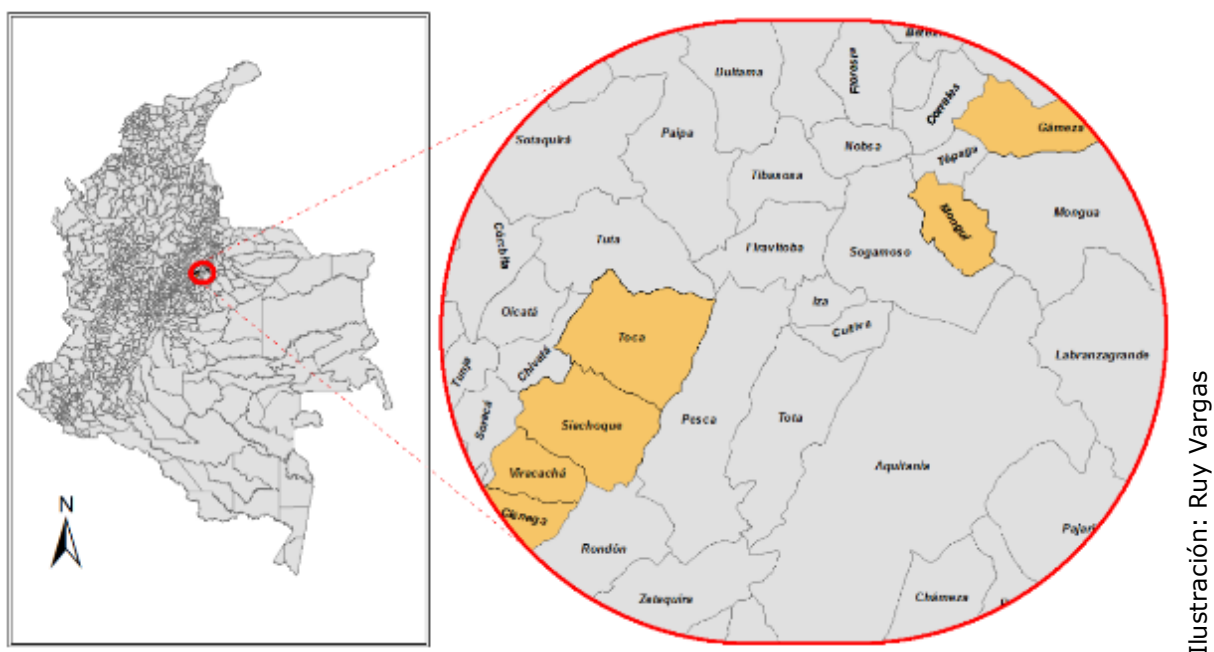


Ilustración: Ruy Vargas

Figura 2. Principales municipios productores de la variedad Tuquerreña en el departamento de Boyacá, Colombia.

Fuente: Servicio de Información Espacial (2009)

En 2018, los municipios de Boyacá con mayor área sembrada fueron los que se reportan en la tabla 3. El resto de área cultivada se distribuye en otros municipios del departamento, pero dicha área no está discriminada en el documento *Diagnóstico de la cadena de la papa* (2018), de la Secretaría de Fomento Agropecuario de la Gobernación de Boyacá.

Tabla 3. Área sembrada con papa Tuquerreña en los principales municipios de Boyacá

Municipio	Área sembrada (ha/año)	Principales veredas o sectores dedicados al cultivo
Toca	800	Tuaneca, Centro Arriba
Siachoque	700	Cormechoque, San José
Gámeza	300	Sasa
Ciénega y Viracachá	260	Chen
Pesca	255	n. d.
Mongua	200	Dusé, Tunjuelo
Monguí	130	n. d.
Ventaquemada	120	Varias
Soracá	100	n. d.
Belén	80	Varias
Sogamoso	80	El Crucero

n. d.: No disponible

Fuente: Secretaría de Fomento Agropecuario de Boyacá (2018)

El principal enclave boyacense de producción de papa Tuquerreña está conformado por Toca (este municipio cuenta con la mayor área de producción de papa Tuquerreña en el departamento) y Siachoque, específicamente por las veredas de estos municipios señaladas en la tabla 3. En la zona predominan los minifundios y las condiciones fisiográficas son homogéneas; ambos municipios tienen una zona baja (figura 3), cercana a la cabecera municipal, y una zona alta, que es donde se ubica la producción de la variedad Tuquerreña.



Foto: Berssy Tovar

Figura 3. Municipio de Toca, Boyacá.

Las áreas de producción de la variedad en Boyacá presentan una topografía característica que incluye altiplanicie estructural y montañas estructurales erosionales.

Los suelos correspondientes a paisaje de altiplanicie estructural (AMVd1) (figura 4) tienen un clima frío y seco. Presentan un relieve de lomas y glacis, de moderado a fuertemente quebrado y moderadamente empinado y escarpado, con pendientes de 12 a 25 %, 25 a 50 % y 50 a 75 %, y son afectados por escurrimiento difuso en grado ligero y moderado. Los suelos se originaron de depósitos superficiales piroclásticos de ceniza volcánica situados sobre rocas sedimentarias clásticas y asociación Vertic Haplustalfs, Andic Dystrustepts. Son suelos profundos y muy profundos, bien drenados, de texturas franco-finas, de reacción muy fuerte y fuertemente ácida y saturación de aluminio mayor del 70 %, con fertilidad baja.

Los suelos ubicados en altitudes próximas a los 3.200 m s. n. m. corresponden a montañas estructurales erosionales con paisajes de lomas, vigas y glacis (MHVe), de clima muy frío y húmedo, con depósitos superficiales de ceniza volcánica sobre rocas sedimentarias clásticas mixtas. Tienen un relieve de moderado a fuertemente quebrado y moderadamente escarpado, con pendientes de 12 a 25 %, 25 a 50 % y 50 a 75 %, suelos muy superficiales, con saturación de aluminio mayor del 70 %, bien drenados, de texturas medias y reacción fuertemente ácida y fertilidad baja. Corresponden a la asociación Typic

Hapludands, Humic Pachic Dystrudepts y Typic Dystrudepts. Tienen evidencia de movimientos en masa (pata de vaca), afectaciones en algunos sectores por fragmentos de roca en superficie, y suelos muy superficiales, con saturación de aluminio mayor de 70 %, bien drenados, texturas medias, reacción ácida muy fuerte y fertilidad baja.



Foto: Berssy Tovar

Figura 4. Relieve vereda Centro Arriba, municipio de Toca, colindante con el municipio de Siachoque.

También presentan cuestas, lomas y glasis (MMXe1) con rocas sedimentarias clásticas arenosas e intercalaciones de limoarcillosas con capas discontinuas de ceniza volcánica. En este caso, presentan suelos superficiales, limitados por contenidos tóxicos de aluminio, bien drenados, de pH de muy fuerte a fuertemente ácido y fertilidad de baja a alta, con presencia de pendientes moderadas de < 12 %, de 12 a 25 % y 25 a 50 %. Son afectados por movimientos en masa (solifluxión), terracetas, reptación y erosión hídrica en grado ligero. Corresponden a la asociación Humic Dystrustepts, Typic Haplustalfs, Typic Haplustands (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2004).

En la zona existen dos épocas de siembra de la variedad, que van de abril a junio y de octubre a diciembre. Según información de la estación climatológica local, los periodos de llenado de tubérculos presentan condiciones estables. Las temperaturas medias de ambos periodos son casi constantes (tabla 4), al igual que los valores máximos y mínimos de temperatura. Estas condiciones de estabilidad podrían tener relación con el crecimiento y desarrollo de la variedad en la zona, que históricamente han sido adecuados.

En los cultivos de Toca y Siachoque, el incremento de las precipitaciones suele coincidir con el periodo de mayor actividad fisiológica de la planta, por el llenado de tubérculos (tabla 5). En estas épocas, tradicionalmente los productores incrementan las aplicaciones fitosanitarias para proteger mejor la planta de un posible ataque de gota, dada la susceptibilidad de la variedad Tuquerreña a esta enfermedad (véase capítulo 6, “Manejo integrado de plagas y enfermedades [MIPE]”).

Tabla 4. Valores medios mensuales de temperatura (°C) reportados por la estación meteorológica de Toca*

1992-2017	Media	Máxima	Mínima
Enero	13	14,5	11,6
Febrero	13,4	14,7	12,2
Marzo	13,7	15	12,5
Abril	13,8	15,6	12,5
Mayo	13,6	15,4	12,5
Junio	13,3	14,6	12,1
Julio	13	14,5	11,6
Agosto	12,9	14,6	11,5
Septiembre	13,1	14,7	11
Octubre	13,4	14,5	11,5
Noviembre	13,6	14,7	12,2
Diciembre	13,3	14,5	11,6
Media anual	13,3	15,6**	11,0***

* Datos de la estación 24035040 La Copa, 2.700 m s. n. m., long. 73° 12' 31,6" W, lat. 5° 34' 45,1" N. La estación presenta una alta influencia de la laguna de la Represa de La Copa.

** Del mes con mayor máxima

*** Del mes con menor mínima

Fuente: Elaboración propia con base en datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) (2017)

Tabla 5. Información de precipitación (mm) registrada en estaciones meteorológicas de los municipios de Toca, Siachoque y Soracá (Boyacá)

Mes	Toca			Siachoque			Soracá		
	Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima
Enero	12,7	37,0	0,0	15,0	99,0	0,0	16,6	66,3	0,0
Febrero	32,8	112,3	0,0	25,0	93	0,0	26,1	85,0	0,0
Marzo	56,5	191,1	8,0	48,8	133,7	3,0	54,1	147,5	0,0
Abril	100,5	258,5	16,5	92,3	224,5	6,4	92,5	338,4	9,8
Mayo	101,8	254,0	34,0	105,1	274	15,8	102,1	412,3	19,2
Junio	78,5	191,5	17,6	78,3	232	16,8	75,8	145,3	8,3
Julio	70,2	217,0	12,0	66,4	221	14,6	83,9	195,4	32,1
Agosto	52,6	137,0	7,0	55,3	178	7,3	47,5	129,5	5,3
Septiembre	58,2	168,0	7,1	58,4	207,3	9,2	48,4	261,5	0,2
Octubre	99,2	231,2	8,7	96,9	249	8,6	85,5	203,2	24,2
Noviembre	95,7	256,0	12,0	88,9	242	15,5	92,9	319,8	2,6
Diciembre	41,0	138,5	0,0	29,0	106	0,0	28,6	67,8	0,0
Acumulado anual	799,7			759,3			754,1		
	Datos estación 24030800 Casa Amarilla, 1974-2015, 3.200 m s. n. m., 5° 34' 45" N, 73° 9' 48,60" W			Datos estación 24030140 Siachoque, 1957-2017, 2.720 m s. n. m., 5° 30' 26,4" N, 73° 15' 1" W			Datos estación 24030420 Pila La Finca, 1992-2017, 2.873 m s. n. m., 5° 31' 8,1" N, 73° 18' 38,6" W		

Fuente: Ideam (2017)

Otro aspecto importante de la región es la presencia de vientos, cuya velocidad máxima se produce en agosto y oscila entre 2,7 y 3,1 m/seg. Las plantas terrestres por lo general sobreviven bajo diferentes condiciones de viento. Esto implica cambios estructurales, morfológicos y en la composición química, tanto en la célula como en la planta completa. Los vientos fuertes pueden producir reorientación, reconfiguración del follaje o escisión de estruclas para reducir la resistencia. Asimismo, vientos demasiado fuertes pueden hacer fallar las raíces o el tallo. El daño ocasionado por el viento puede tener importantes impactos económicos en los cultivos (Gardiner et al., 2016).

Los efectos de los vientos en la papa pueden ser favorables o nocivos. Por un lado, ayudan a disminuir la presencia de áfidos transmisores de virus, y por otro lado, facilitan la entrada de varias plagas al lote de cultivo. En situaciones de excesiva fertilización nitrogenada, el viento puede facilitar el vuelco de plantas (Zúñiga Chila et al., 2017). Algunos productores de los municipios de Toca y Siachoque reportan disminución de los rendimientos por efecto del viento y posterior incremento de costos de producción de la variedad.

Las condiciones específicas de desarrollo de la Tuquerreña en la región pueden requerir estudios profundos sobre los efectos de las variables climáticas y sobre la respuesta de la variedad a diferentes regímenes de manejo agronómico. Estos estudios aún están pendientes por desarrollarse.

Capítulo II

Descripción botánica, taxonomía y recurso genético

La evolución y origen de las papas cultivadas ha sido objeto de gran discusión en los últimos años debido a que, en un tiempo relativamente corto, el tubérculo se convirtió en uno de los alimentos más importantes del mundo (FAO, 2008; Spooner & Hetterscheid, 2005). Como fruto de este creciente interés, la taxonomía de la papa cultivada y de sus parientes silvestres se ha estudiado a fondo en los últimos años (Van den Berg & Jacobs, 2007).

Reino:	Plantae (plantas)
Subreino:	Traqueobionta (plantas vasculares)
Superdivisión:	Espermatofita (plantas con semillas)
División:	Magnoliophyta (plantas con flores)
Clase:	Magnoliopsida (plantas dicotiledóneas)
Subclase:	Asteridae
Orden:	Solanales
Familia:	Solanaceae
Género:	<i>Solanum</i> L.
Especie:	<i>Solanum tuberosum</i> L. (Chase & Reveal, 2009)

Evolución y origen de las papas cultivadas

La papa cultivada *Solanum tuberosum* L. surgió de especies silvestres domesticadas en la región del lago Titicaca, en los Andes. Tanto los materiales silvestres como los cultivados se han adaptado y se encuentran hoy en una gran diversidad de ecosistemas naturales y campos cultivados de América, desde el suroccidente de los Estados Unidos hasta la cordillera Central del sur de Chile (Estrada Ramos, 2000; Hardigan et al., 2017; Huamán & Spooner, 2002; Rodríguez, 2009, 2010).

Existen 199 especies silvestres y cultivadas que producen tubérculos, con un amplio rango de distribución (Huamán & Spooner, 2002; Spooner & Hijmans, 2001). De acuerdo con varios estudios, los cultivos de papa que crecen en las

montañas de los Andes poseen muchas mezclas de cultivares con diferentes niveles de ploidía, los cuales tienen suma importancia en la identificación y clasificación de la especie. El primer investigador que contó el número de cromosomas y estableció los diferentes grados de ploidía, incluyendo diploides ($2n = 4x = 48$), triploides ($2n = 3x = 36$), tetraploides ($2n = 4x = 48$) y pentaploides ($2n = 5x = 60$), fue Bukasov, en 1939, quien utilizó dicha información para plantear la hipótesis del origen de la hibridación de la papa (Spooner & Hijmans, 2001; Spooner & Salas, 2006).

Para Hardigan et al. (2017), la *Solanum* sección *Petota* está basada en un extenso germoplasma, de gran variabilidad y diversidad. Produce tubérculos de diferentes formas y colores que crecen en diversas condiciones, como regiones áridas de zonas montañosas caracterizadas por bajas temperaturas, suelos con alto contenido de sales, alta radiación solar y altitudes de 3.000 a 4.500 m s. n. m. Su distribución abarca desde el occidente de Venezuela hasta la parte norte de Argentina, pasando por Colombia, Ecuador y Perú. Estos mismos autores afirman que posteriormente se dio en el centro y el sur de Chile y por último en Europa y Norteamérica, previa adaptación de los tubérculos en cuanto a crecimiento, maduración y producción, según linaje, a las condiciones de días largos.

La papa diploide cultivada

Los materiales de papa que se conocen en la actualidad se originaron hace 10.000 años (Rodríguez, 2010). Las primeras papas cultivadas se generaron como fruto de selecciones sucesivas llevadas a cabo por los antiguos agricultores de la cordillera de los Andes (Spooner & Hetterscheid, 2005). La papa cultivada se originó a partir de la especie *Solanum brevicaule*, en el norte del lago Titicaca (Spooner & Hetterscheid, 2005; Van den Berg et al., 1998).

Posteriormente, a partir de las especies ancestrales *S. leptophyes* y *S. canasense*, surgió la primera papa cultivada, la *S. stenotomum* (Ghislain et al., 2006; Huamán & Spooner, 2002).

La papa tetraploide cultivada

Las papas del grupo Andigena (Andigenum) (*S. tuberosum* L. subsp. *andigena*) (Hawkes, 1990; Huamán & Spooner, 2002; Spooner et al., 2007) son muy importantes por presentar variedades nativas o seleccionadas por agricultores en

las montañas de los Andes, en un rango de altitud de 2.000 a 4.000 m s. n. m. (Rodríguez, 2010). *S. andigena* proviene de *S. stenotomum* por un proceso de hibridación interespecífica con polinización sexual ocurrido en diferentes lugares geográficos del Perú (Sukhotu & Hosaka (2006), citado por Rodríguez 2010).

La papa tetraploide cultivada, grupo *Chilotanum*

Las papas tetraploides *S. tuberosum* subsp. *tuberosum* (Hawkes, 1990) o *S. tuberosum* grupo *Chilotanum* (Huamán & Spooner, 2002; Spooner et al., 2007) crecen en la parte central de Suramérica y en la región de la costa de Chile (Rodríguez, 2010).

De acuerdo con Juzepczuk y Bukasov (1929), las papas cultivadas modernas provienen de los cultivares nativos *S. lehostigma* y *S. molinae*, que dieron origen a *S. chilotanum*, la cual se cruzó con *S. andigena* para dar lugar a *S. tuberosum* subsp. *europaeum*. Otra teoría propone que el origen se dio a partir de los cultivares nativos andinos tetraploides de *S. andigena* (Hawkes & Francisco-Ortega, 1992; Salaman & Hawkes, 1949). Hawkes (1990) y Hosaka (2003) sostienen que los cultivares nativos chilenos surgieron de cultivares andinos, probablemente por el cruzamiento entre especies bolivianas o argentinas de *S. tarijense*. Todas estas hipótesis muestran lo controvertido del origen de las papas modernas (Rodríguez, 2010).

Taxonomía de las especies de papa

Según Rodríguez (2009), la taxonomía de las papas cultivadas está sujeta a una gran controversia, en vista de que algunos autores identifican y reconocen de una a 20 especies. Spooner y Hetterscheid (2005) afirman que estas especies conforman un mismo *pool* genético.

Para Spooner et al. (2008) (citado por Rodríguez, 2009), existe una gran diferencia en la clasificación con respecto a la propuesta realizada inicialmente por el investigador Hawkes en 1990. De acuerdo con resultados recientes de caracteres morfológicos y estudios moleculares, la papa se clasifica en 150 especies y conforma cuatro grupos importantes en cuanto a variabilidad y relaciones interespecíficas, lo cual confirma que se debe tener una definición más precisa de las diferencias que puedan existir entre especies de la sección *Petota*.

De acuerdo con Spooner y Salas (2006), los especialistas tienen varios puntos de vista sobre la taxonomía de la papa; muchos investigadores han aplicado diferentes conceptos taxonómicos para definir o reconocer especies o grupos, y no hay consenso entre ellos sobre su clasificación.

Hawkes (1990) (citado por Rodríguez, 2009) realizó un gran esfuerzo al clasificar la papa en 21 series, incluyendo las papas silvestres e incorporando especies tuberosas y no tuberosas. Sin embargo, estudios realizados por Spooner y Sytsma (1992) y Spooner y Castillo (1997) demostraron que las especies no *tuberosum* no pertenecen a la sección *Petota*.

Por su parte, Bukasov (1971) y Lechnovich (1971) reconocieron 21 especies, incluyendo por separado *S. andigena* y *S. tuberosum*. De acuerdo con lo anterior, clasificaron la papa bajo el Código Internacional de Nomenclatura de Plantas Cultivadas (International Code of Botanical Nomenclature [ICBN]) (Rodríguez, 2009).

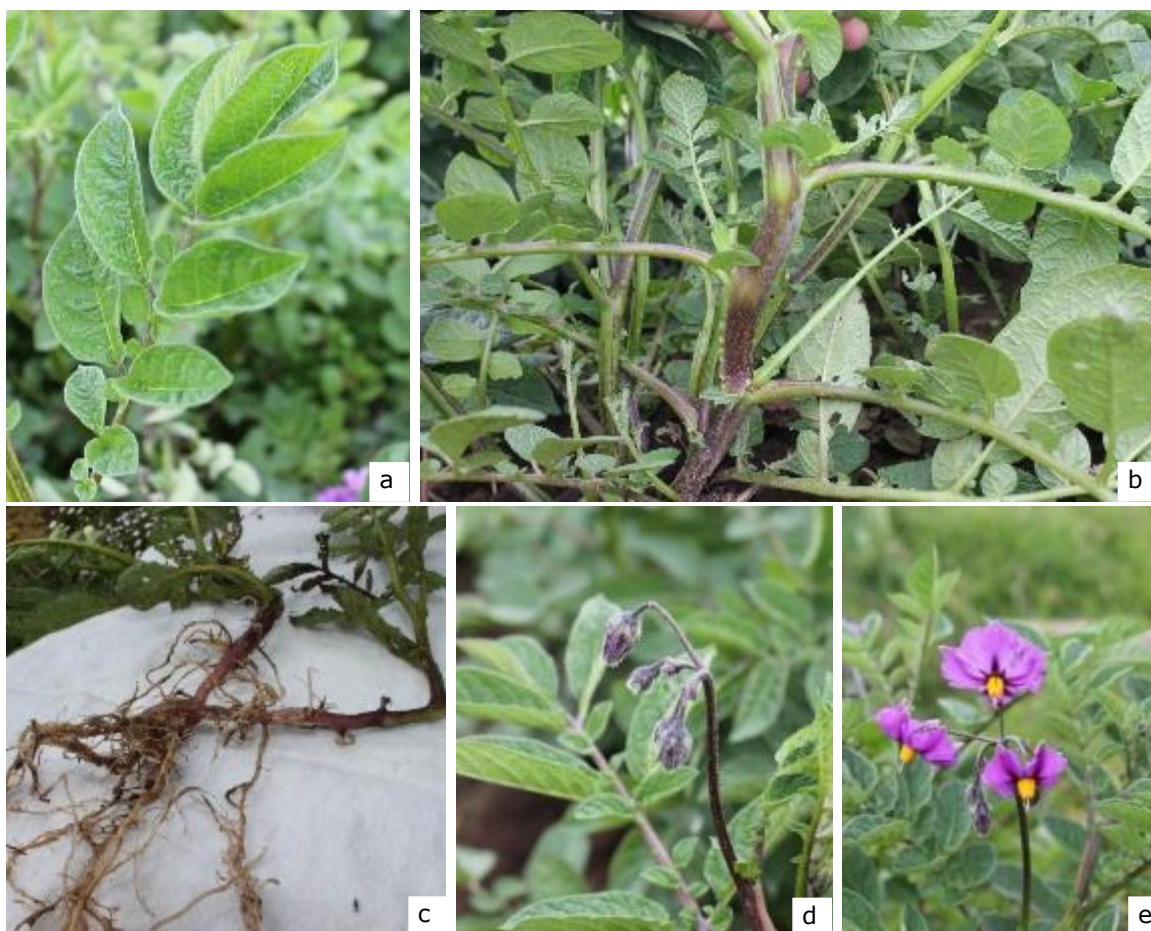
En 1962, según cita Rodríguez (2009), Dodds reconoció tres especies: *S. curtilobum*, *S. juzepczukii* y *S. tuberosum*, utilizando las categorías propuestas por el International Code of Nomenclature for Cultivated Plants (ICNCP), y clasificó las papas cultivadas como grupos. Otros investigadores como Hawkes (1990) clasificaron siete especies y siete subespecies cultivadas; por su parte, el taxónomo peruano Ochoa (1990, 1999) reconoció un número mayor de especies y clasificó dos subespecies (subsp. *andigena* y subsp. *tuberosum*). Más recientemente, Huamán y Spooner (2002) —con información molecular sobre el aspecto fenotípico y las diferentes teorías de hibridación continua y origen múltiple— clasificaron las papas cultivadas en ocho grupos: Ajanhuiri, Andigena (Andigenum), Chaucha, Chilotanum, Curtilobum, Juzepczukii, Phureja y Stenotomum, todos de la especie *S. tuberosum* L. (Rodríguez, 2009).

Spooner et al. (2007) clasificaron las papas silvestres y las cultivadas en cuatro especies: *S. ajanhuiri* (diploide), *S. juzepczukii* (triploide), *S. curtilobum* (pentaploide) y *S. tuberosum* L., y de esta última reconocieron dos grupos cultivados: Andigena (Andigenum) y Chilotanum. El grupo Andigena está conformado por las papas andinas, que crecen a lo largo de las montañas de los Andes, distribuidas de Venezuela a Argentina, y exhiben dos grados de ploidía (diploides y tetraploides). El grupo Chilotanum incluye las papas adaptadas a días largos, que crecen en tierras bajas del centro y sur de Chile (Ames & Spooner, 2008; Ghislain et al., 2009; Huamán & Spooner 2002).

La variedad Tuquerreña es un cultivar nativo de papa; comúnmente, en los centros de consumo principales de Boyacá y Bogotá, es conocida también como *sabanera* o *tocarreña*. La planta de esta variedad es de crecimiento erecto, porte alto y tallos con una pigmentación dispersa (figura 5b) que va de café a morado. La raíz es fibrosa (figura 5c) y el follaje es de color verde oscuro (figura 5a). Presenta foliolos primarios pequeños, lo que permite observar fácilmente la arquitectura de las plantas en cultivo. Los botones florares son de color morado grisáceo (figura 5d). Las flores (figura 5e) son moradas, pentámeras de larga duración, y los frutos tienen forma de baya y abundantes semillas sexuales. Los tubérculos son redondeados, ligeramente aplanados, a veces oblongos, de textura compacta con alto contenido de materia seca (24-25 %), de piel típicamente bicolor (púrpura y crema), color crema alrededor de los ojos, carne también de color crema, con ojos bien diferenciados y relativamente profundos, y cada tubérculo presenta de seis a nueve ojos. Tienen un verdeamiento tardío y un periodo de poscosecha de 3 a 3,5 meses, a 15 °C y con humedad relativa (HR) de 75 %. Toleran el transporte en largas distancias (Núñez, 2011).

La variedad presenta adaptabilidad a zonas altas (mayores a 2.800 m s. n. m.) y tiene un ciclo de cultivo de 210 días. Es altamente susceptible a la gota de la papa. Su potencial de rendimiento, cuando se cultiva en condiciones óptimas, es de 20 t/ha. El tubérculo tiene un excelente comportamiento para el consumo en fresco y es un ingrediente esencial en el ajíaco santafereño, el famoso plato culinario de la región, por ser “la papa que no se deslíe” (Núñez, 2011).

Los atributos exhibidos por este material han sido empleados en procesos de mejoramiento. La Tuquerreña fue utilizada como progenitora de la variedad Diacol Capiro (Tuquerreña CCC 61 ssp. *andigena* × CCC751 ssp. *tuberosum*) (Centro Internacional de la Papa [CIP], 2010), cruce que contribuyó a darle un uso industrial a la variedad por su alto contenido de materia seca.



Fotos: Berssy Tovar

Figura 5. Estructuras de la planta de la papa variedad Tuquerreña. a. Hojas (imparipinnadas); b. Tallos; c. Sistema radicular: raíces y estolones (tallos subterráneos); d. Inflorescencia en botón; e. Flores.

Capítulo III

Producción de semilla y propagación

La semilla, de carácter sexual o asexual (vegetativa), es la unidad de reproducción de la planta, y su objetivo principal es la propagación de la especie en tiempo y espacio (Doria, 2010). La semilla es uno de los principales factores en la producción de papa. El material genético utilizado para la propagación (semillas o tallos subterráneos o tubérculos) es determinante en el rendimiento del cultivo. Aunque se mejore la producción mediante la implementación de diferentes prácticas agronómicas, si la semilla no es de calidad en cuanto a sanidad, pureza genética, ausencia de deformidades o daño mecánico y desarrollo fisiológico, los rendimientos se verán seriamente afectados. Un buen rendimiento se puede obtener con una variedad productiva adaptada a la zona, un plan de fertilización acorde con la disponibilidad de nutrientes del suelo y los requerimientos del cultivo, un suministro de agua oportuno y ajustado a las necesidades de las plantas y un control adecuado de insectos-plaga y enfermedades, pero ante todo con una semilla de calidad.

Todo el proceso de producción, manejo y conservación de semillas depende de la forma como se diseminen y mantengan tanto las variedades mejoradas como las nativas y, por ende, de la forma como se conserve la diversidad genética y la soberanía alimentaria de un país (Andrade-Piedra et al., 2015). La variedad Tuquerreña, lo mismo que las variedades cultivadas en Colombia y el mundo, se propaga principalmente por vía asexual o vegetativa. El tubérculo maduro es el que se utiliza como material de propagación. La producción de papa en Colombia se caracteriza por el uso de semilla informal, obtenida por los agricultores en sus propias fincas de la cosecha anterior, comprada a agricultores de la misma región o adquirida en centros de mercadeo (centrales de abasto, centros de acopio, etc.).

Producción y almacenamiento de semilla de la variedad de papa Tuquerreña en Toca

La producción de semilla de la variedad Tuquerreña en los diferentes municipios de Boyacá por lo general se lleva a cabo de la misma forma que en la mayoría de zonas productoras del resto del país. Los productores usan como semilla

tubérculos obtenidos en cada cosecha. Se buscan lotes en los que preferiblemente no se haya sembrado papa y se trabaja el cultivo con las labores acostumbradas. Después de la cosecha, se hace una revisión inicial de tubérculos. El material se pasa a “mesas artesanales”, en las cuales tres o cuatro operarios (productores) seleccionan y clasifican la semilla y aplican insecticidas. Finalmente, la semilla se almacena en bodegas bajo condiciones ambientales (figura 6).



Fotos: Jorge Álvarez-Bernal y Berssy Tovar

Figura 6. Labores desarrolladas por los productores en un sistema local de producción de semilla de papa de la variedad Tuquerreña. a. Revisión inicial de tubérculos-semilla; b. Selección de semilla; c. Almacenamiento de tubérculos-semilla en canastillas.

Algunos productores propagan, conservan y almacenan semilla proveniente de minitubérculos entregados años atrás por AGROSAVIA a organizaciones de productores. Aunque muchos de estos grupos receptores hoy están desarticulados, aún subsisten en la región productores que siguen prácticas de cuidado y mantenimiento óptimo de los materiales en condiciones de finca.

A pesar de que los agricultores que realizan estas prácticas han ganado mucha experiencia para reconocer la semilla que corresponde a la variedad, el mantenimiento de la homogeneidad genética no está garantizado. Además, la informalidad de este sistema de producción de semilla aumenta el riesgo de obtener bajos rendimientos y dispersar plagas y patógenos.

Estudios realizados por Ortiz y Flórez (2008) reportan para la variedad Tuquerreña una menor concentración de citoquininas y altas concentraciones de ácido abscísico (ABA), lo cual estaría asociado a su condición de variedad tardía. Esto explicaría que al cabo de aproximadamente tres meses de almacenamiento en las condiciones imperantes en la zona de temperatura ambiente y humedad relativa, los tubérculos, en una inspección visual, no presenten un deterioro

notable en cuanto a deshidratación y pérdida de firmeza o dureza al tacto. El ABA estaría presente durante el reposo, de lo cual se infiere que la condición hormonal endógena (baja citoquinina y alto ABA) después de los tres meses — que es lo que dura en promedio el periodo de almacenamiento de la variedad— es la que hace que comience la emisión de brotes.

Algunos de los aspectos críticos para obtener semilla certificada de la variedad Tuquerreña son los siguientes: a) escasa disponibilidad de semilla de alta calidad (superélite, élite, básica y registrada), b) baja demanda debido a nichos de producción específicos, c) falta de asistencia técnica, y d) ausencia de recomendaciones específicas de manejo de la variedad.

Almacenamiento de la variedad Tuquerreña en Toca

El proceso de almacenamiento tiene por objeto proporcionar las condiciones adecuadas de conservación del tubérculo con miras a su posterior consumo en fresco o como semilla, de acuerdo con la temporada de precios, oferta y demanda (Herrera Heredia et al., 2000). Los cambios químicos relevantes que se producen durante el almacenamiento se relacionan con la transformación de almidón en azúcares reductores y su oxidación por procesos de respiración, que aumentan con las bajas temperaturas. Los cambios fisiológicos están ampliamente influenciados por la duración del almacenamiento, la madurez del tubérculo, la variedad y las condiciones ambientales del lugar (almacén o bodega) (Vejarano Geldres & Morales Skrabonja, 2014).

Procesos fisiológicos como la transpiración se favorecen con la presencia de corrientes de aire en el lugar de almacenamiento. Los tubérculos tienden a equiparar la condición de humedad relativa del ambiente con su contenido de humedad, con lo cual generan flujo de agua hacia el ambiente. La transpiración se favorece cuando el almacenamiento se da en bajas condiciones de humedad relativa (Rodríguez, 2000). En los municipios de Toca y Siachoque, es común almacenar la semilla bajo condiciones mínimas, ubicando los bultos directamente sobre el suelo, unos al lado de otros, protegidos tan solo con una cubierta (figura 7a). También se encuentran adaptaciones del sitio de almacenamiento, con cubiertas rígidas y aislamiento del suelo. Estos tipos de almacenamiento aumentan la transpiración de los tubérculos-semilla e inducen su deterioro prematuro (figuras 7b y 7c), aunque también se debe resaltar que, si bien se dan en condiciones rudimentarias, favorecen la aireación y el verdeamiento.



Fotos: Jorge Álvarez-Bernal

Figura 7. Almacenamiento de semilla en condiciones de finca en el municipio de Toca, Boyacá. a. Mínimas condiciones; b. Aislamiento del suelo y del agua lluvia; c. Cobertizo y aislamiento del suelo.

La respiración de los tubérculos es otro aspecto que debe tenerse en cuenta durante el almacenamiento. El almidón se convierte en azúcar (glucosa) y se pierde al servir como sustrato respiratorio, con lo cual se aumentan las pérdidas de materia seca. Este es uno de los efectos más marcados de la respiración de los tubérculos en condiciones de almacenamiento, junto con la producción de calor y el aumento de CO_2 . A mayor respiración, mayores son las pérdidas de peso seco del producto almacenado y mayor es el incremento de calor y de CO_2 . La intensidad respiratoria de los tubérculos depende de factores internos como edad fisiológica y variedad, y factores ambientales como temperatura, luz, concentración de CO_2 , presión parcial de oxígeno, productos químicos, heridas y golpes (Vejarano Geldres & Morales Skrabonja, 2014).

En la zona de Toca, la mayoría de productores de Tuquerreña siguen prácticas locales de almacenamiento de semilla, como la utilización de bodegas de adobe (figura 8). Estas prácticas involucran un principio de mayor “cuidado” y protección de la semilla y buscan conservar su calidad. Sin embargo, el sistema presenta claras falencias en cuanto a luminosidad y aireación del lugar de acopio e induce la formación de brotes delgados y largos. Una forma muy particular y tradicional de almacenamiento, utilizada por generaciones, se denomina *entrojado* (figura 9). El entrojado consiste en apilar la semilla recién cosechada en el potrero (también se hace en bodegas de adobe), sin estibas, y cubrirla lo más cerrada posible. No obstante, si bien esto reduce el proceso de transpiración, también favorece la respiración e incrementa la humedad. Bajo el plástico se disponen ruanas y costales de fique, con el fin de minimizar los efectos de las bajas temperaturas, que deterioran el tubérculo-semilla. Todas estas prácticas hacen que el riesgo de ataque de la polilla guatemalteca sea muy alto.



Foto: Berssy Tovar

Figura 8. Bodega de adobe para almacenamiento de la papa Tuquerreña. La baja luminosidad y la poca aireación favorecen las bajas temperaturas.



a



b



c

Foto: Jorge Álvarez-Bernal

Figura 9. Entrojado, método tradicional de conservación de semilla de papa Tuquerreña. a. Entrojado tradicional sobre lote de cultivo; b. Interior de la cubierta; c. Tubérculos-semilla en entrojado.

En la década de los noventa, antes de la llegada de la polilla guatemalteca a la zona de producción de los municipios de Toca y Siachoque, los productores almacenaban la papa a granel, en bodegas grandes dispuestas especialmente para dicho objetivo (figura 10). Las bodegas se construían en adobe, material muy efectivo como aislante térmico, con lo cual se conseguían unas condiciones favorables de temperatura. Las bodegas también tenían unas buenas condiciones de ventilación, tanto inferior como superior, que evitaban el incremento de los procesos fisiológicos de transpiración y respiración.



Foto: Jorge Álvarez-Bernal

Figura 10. Antigua bodega de adobe para almacenamiento a granel de papa Tuquerreña, municipio de Toca (Boyacá).

Otro cambio que se produce en el tubérculo durante el almacenamiento es el verdeamiento, que consiste en la acumulación de solanina por efecto de la luz solar. Su presencia en la papa destinada al consumo en fresco no es deseable, ya que cambia el aspecto y el sabor del tubérculo. Sin embargo, en el tubérculo-semilla, la solanina eventualmente puede funcionar como repelente natural contra las plagas (Torres et al., 2013).

En la actualidad, AGROSAVIA adelanta algunas actividades para mejorar la calidad de la semilla en términos de pureza genética. Ha entregado más de 14.000 minitubérculos de categoría superélite a productores organizados en asociaciones de los municipios de Siachoque, Motavita y Arcabuco. El propósito es propagar material genéticamente puro, libre de patógenos, y con esto mejorar los rendimientos y la productividad del cultivo. Desde julio de 2020, AGROSAVIA pone a disposición de los agricultores, mediante venta o participación en proyectos, 29.000 tubérculos-semilla de la variedad Tuquerreña categoría élite, producidos bajo el sistema convencional y debidamente registrados ante el ICA. Entre 2017 y 2020, AGROSAVIA ha producido, en los sistemas aeropónico o convencional, 54.093 minitubérculos de la variedad Tuquerreña, categorías élite y superélite. Dicha producción se registró debidamente ante el ICA y se puso a disposición de los agricultores mediante venta o como parte de participación en proyectos.

Sistemas formales de producción de semilla

Una de las principales demandas de la cadena de la papa es mejorar los sistemas de producción de semilla de buena calidad e implementar estrategias para incrementar su uso, que es muy bajo en el país (apenas un 5 % de los cultivos de papa usa semilla certificada) (Sánchez et al., 2016).

El proceso de producción de semilla certificada garantiza la identidad genética de la variedad a lo largo de los ciclos del cultivo y previene la diseminación de plagas y enfermedades. La producción de semilla certificada en Colombia está regulada por la Resolución 3168 de 2015, expedida por el ICA. Esta resolución reglamenta y controla todo lo relacionado con la producción, exportación e importación de semillas producto del mejoramiento genético para la comercialización y siembra en el país de los materiales incluidos en el Registro Nacional de Cultivares del ICA. Los aspectos contenidos en la resolución constituyen una guía técnica que, de aplicarse, permitiría obtener semillas con calidad genética, física, fisiológica y sanitaria. La Tuquerreña es la única variedad nativa incluida en el Registro Nacional de Cultivares, de manera que, aun siendo un material nativo, su semilla certificada se puede producir y comercializar.

La producción de semilla certificada de papa en Colombia está muy limitada por aspectos fitosanitarios como presencia de virus y sus vectores y diseminación de varios patógenos e insectos-plaga, que limitan el cumplimiento de las normas vigentes. Por lo anterior, la producción de semilla de papa se debe llevar a cabo en zonas aisladas, distantes de las zonas de producción de la papa comercial, donde no se haya sembrado el tubérculo en los últimos años, para que la semilla obtenida sea lo más sana posible. Desafortunadamente, en Colombia estas zonas coinciden con los páramos, ecosistemas frágiles que producen agua para el consumo humano y para la supervivencia de animales y plantas.

Para adelantar un proceso de producción de semilla certificada, el agricultor debe cumplir los requisitos de calidad establecidos en la Resolución 3168 para la especie y la categoría de semilla elegida. El objetivo es que al final del proceso el agricultor disponga de un material con la calidad genética, fitosanitaria, fisiológica y física exigida. Esta calidad debe ser declarada por quien produce la semilla.

El concepto de *calidad* alude a las características esenciales de un producto o servicio, o a los atributos que distinguen a dicho producto o servicio de otro y hacen que el usuario o consumidor lo busque porque lo desea. Los factores involucrados en la calidad de la semilla son los siguientes: 1) *físicos*: la semilla no debe tener contaminantes como semillas de otros cultivos, malezas o material inerte, ni debe tener daño mecánico; 2) *sanitarios*: la semilla debe estar libre de organismos como hongos, bacterias, virus e insectos-plaga que puedan afectar el cultivo; 3) *fisiológicos*: las semillas deben germinar, emerger y dar origen a plantas vigorosas y uniformes, y 4) *pureza genética*: las semillas, según el ambiente en el que se evaluaron, deben producir plantas con características uniformes propias de la variedad, es decir, no deben estar mezcladas con ninguna otra semilla.

La semilla de papa, por ser de origen asexual, requiere las siguientes dos fases de producción para ser certificada:

- *Fase I*: se lleva a cabo en laboratorio, casa de malla o invernadero, lugares donde las condiciones de producción limitan al extremo la presencia de vectores de virus como mosca blanca o áfidos. Esta fase inicia con plántulas provenientes de laboratorio y da como resultado plántulas y minitubérculos o tubérculos-semilla. Comprende las categorías superélite y élite.
- *Fase II*: se adelanta en campo; por lo general se inicia con minitubérculos o tubérculos-semilla y produce tubérculos-semilla. Comprende las categorías básica, registrada y certificada.

La Resolución 3168 del ICA describe las categorías de semilla del siguiente modo:

- *Categoría superélite*: minitubérculos, tubérculos o esquejes con identidad genética correspondiente a la variedad de interés y que provienen de plantas obtenidas por propagación *in vitro* a partir de plántulas *in vitro* o cultivos de meristemas (figura 11). La resolución del ICA indica que se pueden realizar dos ciclos de cultivo para las categorías superélite y élite, siempre y cuando cumplan las respectivas tolerancias (que para los dos casos es 0). En ambas categorías, los dos ciclos se denominan *generación 1* y *generación 2* (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2015).
- *Categoría élite*: minitubérculos o tubérculos producidos en casa de malla o invernadero a partir de minitubérculos o esquejes de la categoría superélite.
- *Categoría básica*: tubérculos obtenidos en el primer ciclo de multiplicación en campo, provenientes de semillas élite o superélite producidas en la fase I. La norma técnica permite que se realicen dos generaciones en campo, siempre y cuando se cumplan las tolerancias exigidas.

- **Categoría registrada:** tubérculos obtenidos en campo a partir de multiplicación de semilla de categoría básica. La norma técnica permite que se realicen dos generaciones en campo, siempre y cuando se cumplan sus respectivas tolerancias.
- **Categoría certificada:** tubérculos obtenidos en campo a partir de multiplicación de semilla de categoría registrada o básica. De esta categoría solo se puede realizar una generación, que corresponde a la semilla comercializada con los productores de papa comercial. Todo lote destinado a su producción debe inscribirse ante el ICA. Se debe llevar a cabo un análisis de virus, tomando una muestra de folíolos en floración o realizando la prueba de tubérculo índice después de la cosecha, cuando los tubérculos hayan brotado. Después de la cosecha y la selección de la semilla, el ICA debe realizar una visita de inspección para corroborar que el material cumple con los estándares de calidad. El productor de esta semilla puede pasar directamente a la siguiente categoría.



Foto: Alonso Lavado

Figura 11. Plántulas de papa producidas en condiciones *in vitro*.

Producción de semilla de papa: fase I

La presente descripción toma como base el proceso llevado a cabo en unidades de producción de semilla de empresas ubicadas en la Sabana de Bogotá. La primera actividad corresponde a la selección de plantas donantes, que se obtienen en campo o en invernadero. Los tubérculos o brotes seleccionados se llevan a laboratorio, en donde se les extraen los meristemos. Estos últimos se siembran bajo condiciones *in vitro* en un medio nutritivo, donde se realiza el establecimiento, la limpieza, la multiplicación y el enraizamiento. Las plántulas se producen unas 16 semanas después (figura 11) y son trasladadas al invernadero o la casa de malla para su siguiente etapa de producción.

Una vez las plántulas cumplen los estándares de calidad en el medio nutritivo (homogéneas, de 7 a 12 cm, follaje de color verde, tallos vigorosos, hojas bien desarrolladas, sin raíces aéreas, pero con un buen sistema radicular), se extraen, se lavan con precaución para no desprender las raíces y se pasan al proceso de adaptación de material de partida o endurecimiento. Dado que las plántulas vienen del contenedor, donde la humedad es del 100 %, se deben adaptar a las condiciones ambientales, en las que la humedad, en promedio, oscila entre 60 y 70 %. Si se hace este cambio abruptamente, las plántulas pueden deshidratarse e incluso morir. Para disminuir las pérdidas en esta etapa, es necesario realizar el endurecimiento, el cual se puede hacer mediante la técnica de raíz flotante en piscina (figura 12a), la de vasos plásticos con turba (figura 12b), la de cámara húmeda y la de turba (figuras 12c y 12d).



Fotos: Banco de fotos AGROSAVIA, Felipe Uribe y Alonso Lavado

Figura 12. Técnicas de endurecimiento de plántulas de papa. a. Raíz flotante en piscina; b. En vasos plásticos con turba; c. En cámara húmeda (exterior); d. En cámara húmeda (interior) y vasos con turba.

Producción de minitubérculos

Los sistemas más utilizados en la producción de minitubérculos durante la fase I son el convencional en camas con sustrato y el de aeroponía. Los dos sistemas se establecen en invernadero o en casa de malla y consisten en una instalación cubierta con materiales que dejan pasar los rayos solares para que proporcionen calor al ambiente interior y luz para la fotosíntesis. La instalación protege a las plantas de la lluvia, las heladas, el granizo y la acción de plagas como pájaros, roedores e insectos. Contra estos últimos, que son vectores de virus, se emplea una malla antiáfidos.

Sistema convencional de producción de semilla

El sistema convencional es el más usado por los productores de semilla de papa de la categoría prebásica en Colombia. Se establecen camas de 0,9 m de ancho por el largo que tenga la construcción. El sustrato es una mezcla en relación 1:1 de cascarilla de arroz “quemada” al 70 % y escoria fina de carbón. Este sustrato

tiene una alta capacidad de retención de agua y proporciona soporte a las plantas. La mezcla de sustratos se debe desinfectar con diferentes productos existentes en el mercado. Para la fertirrigación, se colocan cuatro líneas de riego en cada cama (figura 13).



Foto: Alonso Lavado

Figura 13. Sistema convencional de producción de semilla de papa durante la fase I.

Después del proceso de endurecimiento, las plántulas se siembran en las camas con la mezcla de sustratos desinfectados, a una distancia de 0,20 m entre individuos y 0,18 m entre hileras de plantas, para un total de cinco hileras por cama. Esto corresponde a 25 plántulas/m de cama o 27,8 plántulas/m². La duración del cultivo depende de la variedad; en la Tuquerreña es de 170 a 200 días. La producción por planta es menor con respecto al sistema de aeroponía y se obtiene de una sola cosecha. En el grupo Andigena (*Andigenum*), por lo general se obtienen unos quince tubérculos por planta, aunque la Tuquerreña llega a producir de 20 a 25 tubérculos/planta, por lo cual se considera una de las variedades de este grupo con mayor tasa de multiplicación. La calidad de los tubérculos es buena: del 93 al 95 % del total son certificables. Los tubérculos que se descartan por lo general tienen deformaciones.

Después de la cosecha, los tubérculos se seleccionan, se clasifican y se desinfectan por inmersión en una mezcla de insecticida y fungicida con ingredientes activos como tiabendazol, clorpirifós y validamicina.

Producción de minitubérculos con sistema de aeroponía

La aeroponía es una técnica adaptada por el Centro Internacional de la Papa (CIP) para la producción de minitubérculos de papa (correspondientes a la categoría de semilla prebásica). En sus orígenes, se utilizó para siembra de hortalizas, pero cuando llegó al Centro de Investigación Tibaitatá de AGROSAVIA en 2007, fue adaptada por el investigador Julián Mateus. La técnica demostró sus buenos resultados y se acondicionó para respaldar la producción de semilla de calidad, especialmente para el altiplano cundiboyacense y la región Nudo de los Pastos (Nariño).

La técnica de producción de tubérculos con aeroponía ofrece ventajas como una mayor densidad de siembra, alta producción (mayor tasa de multiplicación por sitio y mayor número de cosechas), reducción de días para la primera cosecha, alta calidad fisiológica y sanitaria de los minitubérculos y ahorro de agua y fuentes de fertilizantes. Esto último se debe a la recirculación de soluciones nutritivas. La micronebulización distribuye de manera uniforme la solución, proporciona una buena oxigenación a las raíces y disminuye el impacto ambiental. Dado que no utiliza sustratos sólidos, esta técnica disminuye el riesgo de incidencia de patógenos como *Spongospora*, *Rhizoctonia* y nematodos, entre otros. La ausencia de contacto con el suelo impide la propagación de estos agentes.

La técnica, sin embargo, también tiene algunas desventajas, como el alto costo que demanda su infraestructura y el alto riesgo de pérdida por fallas en el sistema eléctrico, por ingreso de patógenos al sistema de riego o por desbalances en la solución nutritiva (Andrade-Piedra et al., 2015).

Los módulos utilizados en aeroponía tienen 1,20 m de ancho por 5 m de largo (figura 14a), para un área de 6 m²/módulo. En ellos se siembran cinco hileras, con una distancia de 20 cm entre plantas y 20 cm entre hileras, para un total de 120 plantas/módulo. El tamaño óptimo de las plántulas para el trasplante es de 6 a 9 cm de alto, con una longitud radicular similar (figura 14b). En el trasplante, las plántulas se manipulan con cuidado para no maltratar las raíces. Antes, se debe revisar que los micronebulizadores, los filtros y la presión de la electrobomba funcionen sin obstrucciones. La solución nutritiva es muy importante debido a que permite un crecimiento adecuado de las plantas, acorde con su estado fenológico.



Fotos: Alonso Lavado

Figura 14. Plantas de papa de la variedad Tuquerreña en un módulo del sistema aeropónico. a. Recién transplantadas; b. En etapa de producción.

La obtención de semilla de la variedad Tuquerreña por medio de esta metodología requiere dos etapas de fertilización. La primera se lleva a cabo durante el desarrollo vegetativo y se prolonga por un máximo de 35 días después de la siembra. Permite que las plantas desarrollen mayor área foliar y radicular, según las necesidades de cada una. La segunda se centra en el desarrollo de los estolones y la formación y llenado de los minitubérculos y tiene una fórmula de fertilización específica (tabla 6).

Tabla 6. Concentración de macro y micronutrientes (ppm) para la obtención de minitubérculos de papa con la técnica de aeroponía

Nutrientes (mg/L)	K	N	Ca*	S*	Mg*	P	Fe	Mn	B*	Zn	Cu	Mo
Primeros 35 días	108	250	196	45	58	80	3	0,5	0,5	0,15	0,1	0,03
Después de 35 días	180	150	140	50	35	92	3	0,5	0,1	0,5	0,15	0,03

* Incluye el aporte que hace el agua de riego.

Fuente: Andrade-Piedra et al. (2015)

Cosecha y almacenamiento

En la producción de minitubérculos por aeroponía, la primera cosecha de la variedad Tuquerreña es demorada. Comienza de 114 a 119 días después del trasplante, lo que contrasta con variedades como la Diacol Capiro, cuya primera cosecha se da a los 65 días después del trasplante. Se seleccionan minitubérculos con un peso superior a 25 g (figura 15). Las cosechas se deben programar en horas de la mañana, cuando la temperatura del invernadero aún

es baja (entre 10 y 15 °C). El sistema convencional permite una sola cosecha, pero el de aeroponía, con la variedad Tuquerreña, permite de 3 a 5 cosechas, con una diferencia de 13 a 17 días. Después de la cosecha, se seleccionan los minitubérculos. Se escogen los que exhiban las características de la variedad y los que estén sanos y sin daños físicos, y se clasifican según su tamaño o categoría (0, 1ª, 2ª, 3ª). Una vez clasificados los minitubérculos, se desinfectan con una solución de tiabendazol, validamicina y clorpirifós, en una concentración de 1 mL/L de agua. Después del tratamiento, los minitubérculos se colocan en ambientes secos y limpios a temperatura ambiente, para un proceso de curado que debe tardar dos semanas. Después de este proceso, los minitubérculos se trasladan a su ubicación final, que puede ser un cuarto frío, con temperaturas de 3 a 4 °C, o una bodega de almacenamiento, con temperaturas de 12 a 18 °C y luz difusa. Puesto que la aeroponía produce varias cosechas, los minitubérculos deben tener diferentes edades fisiológicas. Para ajustar esta diferencia, los de las primeras cosechas se almacenan en cuarto frío, y los de las últimas, en bodega con luz difusa. Los primeros se retiran del cuarto frío un mes antes de la siembra (Otazú, 2010).



Foto: Alonso Lavado

Figura 15. Minitubérculos de papa de la variedad Tuquerreña en sistema aeropónico.

El proyecto de producción comercial de minitubérculos adelantado en el Centro de Investigación Tibaitatá de AGROSAVIA arrojó los siguientes resultados: en el sistema de producción de aeroponía, la producción de la variedad Tuquerreña fluctuó entre 23 y 70 minitubérculos/planta certificables por el ICA, y en el sistema convencional, osciló entre 11 y 24 minitubérculos/planta. Los minitubérculos obtenidos fueron de muy buena calidad (figura 16), al punto que el 96,6 % del total cumplía con la norma de calidad nacional. El rendimiento de la variedad es mucho mayor que el de las variedades Diacol Capiro y Parda Pastusa, que es de 20 a 40 minitubérculos/planta. El 84,6 % de la producción en

aeroponía correspondió en tamaño a las categorías 2ª y 3ª, mientras que en el sistema convencional, el 70 % correspondió a las categorías 1ª y 2ª (tubérculos más gruesos) (tabla 7).



Fotos: Alonso Lavado

Figura 16. Minitubérculos de papa de la variedad Tuquerreña.

Tabla 7. Producción de minitubérculos de papa de la variedad Tuquerreña en los sistemas de aeroponía y convencional

Sistema Año N.º cosechas			Categoría de tubérculo por tamaño					Certificado	Minitubérculos/planta
			0	1ª	2ª	3ª	4ª		
Aeroponía	2017	5	0	372	1.824	1.320	0	3.516	70,3
Aeroponía	2018	4	50	530	2.350	1.650	470	5.050	42,1
Aeroponía	2018	3	30	190	1.070	1.250	160	2.700	22,5
Convencional	2017	1	24	400	480	530	700	2.134	24,0
Convencional	2017	1	100	250	840	1.200	0	2.390	11,4
Convencional	2018	1	1.400	2.400	2.700	1.640	900	9.040	13,9
Convencional	2020	1	1.525	2.400	3.740	2.000	0	9.665	14,9
Convencional	2020	1	1.135	2.760	3.712	3.700	0	11.307	17,4
Convencional	2020	1	1.037	2.254	2.900	2.100	0	8.291	12,8

Fuente: Elaboración propia con base en datos de F. Uribe, A. Lavado y G. Sánchez (comunicación personal, diciembre 1, 2020)

Producción semilla: fase II

La producción de semilla durante la fase II se inicia con la selección del lote, que debe tener vocación productiva para el cultivo de papa. Para la elección del lote, se debe considerar su historia, su función ecológica y la fragilidad de su

ecosistema. En lo posible, se debe sembrar en un terreno descansado, en el que no se haya sembrado papa mínimo dos años atrás y en el que el suelo no haya presentado patógenos.

Los minitubérculos o tubérculos-semilla producidos en la fase I se utilizan para establecer los campos de multiplicación de semilla de categoría básica. La densidad de estos campos debe ser de 33.000 puntos de siembra/ha, y las distancias, de 30 cm entre plantas y de 100 cm entre surcos. En cada punto de siembra se deposita un minitubérculo o tubérculo-semilla. Los lotes deben tener una buena preparación para que no haya cespedones o terrones gruesos. Se abren los surcos y se aplican fertilizantes, correctivos, insecticidas y fungicidas. Estos productos deben cubrirse ligeramente con una delgada capa de tierra para que no tengan contacto directo con los brotes de los tuberculillos y estos no acaben por dañarse (Corzo, 1999). Los minitubérculos se colocan sobre la capa de tierra y se tapan con una nueva capa de suelo de dos veces el diámetro de la semilla.

La nutrición del cultivo debe hacerse según las recomendaciones que se dan en el capítulo 7, en la sección "Fertilización y aplicación de enmiendas". Sin embargo, estas recomendaciones se deben ajustar a la densidad específica de las plantas en un lote de producción de semilla. La duración del cultivo es similar a la de uno comercial y depende de la altitud a la que se encuentra el terreno. Una vez realizada la cosecha, se seleccionan los tubérculos sanos, sin daño físico, que cumplan con las características de la variedad Tuquerreña. Se les hace un tratamiento para eliminar posibles plagas y se almacenan en bodegas con luz difusa. La brotación ocurre al cabo de cuatro meses y es entonces cuando se obtiene la semilla de categoría básica. Este material se lleva a los campos de multiplicación para obtener semillas de categorías registradas para su posterior certificación. La densidad de los campos de multiplicación debe ser de 28.100 plantas/ha, y las distancias, de 35 cm entre plantas y de 1 m entre surcos.

Sistemas informales de producción de semilla

Si no se dispone de semilla certificada, se puede obtener una semilla de buena calidad con alguna de las metodologías que se exponen a continuación.

Selección positiva o selección clonal

La selección positiva requiere un buen cultivo de papa y un lote que venga de descanso o en el que no se haya sembrado el tubérculo por dos o tres años. Se utiliza la mejor semilla y se le da un manejo adecuado en cuanto a fertilización, deshierbe, aporque y manejo sanitario. Se marcan las mejores plantas antes de la floración, en dos o tres ciclos consecutivos. Se eligen las que estén vigorosas y sanas, las que respondan a las características de la variedad y las que estén bien macolladas (con muchos tallos gruesos y fuertes).

En la floración, antes del cierre de las calles, se revisan las plantas de nuevo. En caso de encontrar plantas seleccionadas enfermas, se retiran las marcas y se ponen en otras plantas que estén grandes, sanas y fuertes. Posteriormente, en la cosecha, se saca primero la producción de las plantas marcadas. Esta producción se deja en el mismo sitio de las plantas. Luego se escogen los montones cuyos tubérculos sean más numerosos y luzcan más grandes y sanos y se llevan al sitio de selección para tomar las mejores semillas (Montesdeoca et. al., 2012; Panchi et. al., 2010).

Selección negativa

Este tipo de selección se realiza cuando se cuenta con un muy buen cultivo, en el que es difícil señalar las mejores plantas, ya que la mayoría son grandes, sanas y fuertes. Consiste en señalar las plantas pequeñas, enfermas y débiles, con el fin de no sacar semilla de ellas cuando llegue el momento de la cosecha (Montesdeoca et al., 2012).

Capítulo IV

Exigencias edafoclimáticas para el desarrollo del cultivo

El cultivo de papa tiene una amplia distribución geográfica en el mundo y está adaptado a diferentes climas. Sus características morfológicas, fisiológicas y metabólicas le permiten establecerse y completar su proceso productivo en un amplio rango de condiciones medioambientales (en muchas latitudes y altitudes) (Rodríguez-Pérez, 2010).

Condiciones climáticas para el cultivo de papa Tuquerreña

El cultivo de papa se adapta a climas fríos tropicales, con temperaturas medias de 15 a 18 °C en el suelo y el aire (Haverkort et al., 1990; Sarquís et al., 1996; Yuan & Bland, 2004). Temperaturas altas favorecen el desarrollo de follaje y retardan el proceso de tuberización. El estrés por calor da como resultado un alto número de tubérculos pequeños por planta, bajo contenido de materia seca y epidermis de colores pálidos. La temperatura puede afectar la relación fuente-demanda ya que la tasa máxima de asimilación del cultivo sucede entre los 15 y 18 °C (Ku et al., 1977).

La variedad Tuquerreña incluye un grupo importante de cultivares nativos seleccionados por los agricultores andinos y ubicados entre los 2.000 y los 4.000 m s. n. m. (Rodríguez-Pérez, 2010). La zona óptima de producción de la Tuquerreña en los municipios de Toca y Siachoque se encuentra por encima de los 2.900 m s. n. m., y presenta un rango de temperatura de 10 a 14 °C. Estas condiciones son las ideales para el desarrollo del cultivo de papa y son las que permiten a la variedad desplegar su mayor expresión fenotípica, que es la que la ha posicionado en el mercado de papa para consumo fresco en Colombia. La Tuquerreña forma parte del grupo de cultivares nativos, y como tal, sus plantas desarrollan tubérculos en un fotoperiodo de días cortos. Su mejor rango de adaptabilidad se localiza en zonas de 2.800 a 3.200 m s. n. m. (Núñez, 2011; Rodríguez-Pérez, 2010).

Factores que influyen en el crecimiento y desarrollo de la planta de papa

Existen diversos factores internos de la planta y ambientales que influyen en el desarrollo del cultivo. Algunos son favorables para la variedad Tuquerreña en el nicho productivo en el que se ha posicionado por décadas.

Fotosíntesis

La planta de papa tiene un metabolismo C3, caracterizado por altas tasas de transpiración y fotorrespiración y un punto alto de compensación de CO₂. A continuación se explican los factores que determinan la asimilación de carbono: estructura de la hoja, temperatura, intensidad de la luz, tasas de crecimiento del tubérculo (Li, 1985; Salisbury & Ross, 1992).

Estructura de la hoja e intensidad de luz

Los folíolos de la hoja de papa tienen estomas en ambos lados. Se ha demostrado que, después del proceso de tuberización, el CO₂ asimilado por las hojas de la papa se incrementa de dos a tres veces, lo cual se suma al incremento de carbono que se mueve dentro de la planta desde las hojas hacia el órgano de demanda. La fotosíntesis disminuye en la medida en que la senescencia de la planta avanza por las hojas y esto da como resultado una correlación entre la actividad enzimática y el contenido de clorofilas, proteínas y nitrógeno. La demanda de CO₂ disminuye y se incrementa la resistencia estomática y el peso específico de la hoja a medida que aumenta la edad de la planta (Ku et al., 1977; Li, 1985). La luz influye en la apertura estomática, pero la saturación del aparato fotosintético por luminosidad es baja.

Crecimiento del tubérculo

Existe evidencia del control de la tasa de asimilación neta que ejerce el tamaño de cada órgano-demanda sobre la cantidad de fotoasimilados que pide la planta. El crecimiento del tubérculo está relacionado con el aumento de la capacidad fotosintética, pese a que la tasa de fotosíntesis disminuye cuando empieza el desarrollo del tubérculo. La tasa fotosintética alcanza su periodo máximo en la floración y declina cuando esta finaliza (Li, 1985).

Duración del día o fotoperiodo

La duración del día influye en el crecimiento y el desarrollo y se considera un factor importante en la regulación de la tuberización. Además, desempeña un papel en la síntesis de proteínas y almidón del tubérculo. Las hojas de papa tienen un componente que induce respuestas fotomorfogénicas relacionadas con el crecimiento vegetativo corto, la tuberización y la floración (Li, 1985).

Los materiales de papa reaccionan a los días cortos con un fotoperiodo crítico que depende del cultivar. El fotoperiodo crítico determina la capacidad de adaptación a diferentes latitudes y fechas de siembra (Menzel, 1985). Las poblaciones de *S. tuberosum*, grupo Andigena (Andigenum) (como la variedad Tuquerreña), tienen fotoperiodos críticos de once horas. En este grupo, la tuberización se ve favorecida por la presencia de días cortos, pese a que la floración es independiente del fotoperiodo (Ewing & Wareing, 1978).

Temperatura

Este factor influye en la formación del tubérculo. Tiene una interacción con la longitud del día conocida como *termofotoperiodo*, cuyos efectos son fundamentales para el crecimiento temprano del tubérculo. Al igual que los días cortos, las bajas temperaturas en la noche son favorables para la tuberización y el crecimiento (Li, 1985; Van Dam et al., 1996). Así mismo, temperaturas de 15 a 19 °C son óptimas para dar comienzo al proceso de crecimiento del tubérculo, mientras que 17 °C es la temperatura promedio que se necesita para obtener una buena producción de papa.

Temperaturas más altas, de máximo 29 °C, incrementan el crecimiento del follaje, producen un mayor desarrollo de tallos y reducen el tamaño de hojas y folíolos. Además, disminuyen los niveles de almidón en las hojas, y retrasan tanto el crecimiento del tubérculo como su proceso de llenado. Las temperaturas altas también ocasionan cambios en la distribución de fotoasimilados, ya que aumentan en las hojas de manera significativa, pero decrecen en los tubérculos (Van Dam et al., 1996).

La temperatura tiene diferentes efectos según la etapa de desarrollo del cultivo, que están determinados por la relación entre fotosíntesis y respiración de la planta. La tasa de traslocación de fotosintetizados hacia los órganos de

almacenamiento está regulada principalmente por la temperatura (Govindakrishnan & Haverkort, 2006). La planta de papa, dado que tiene metabolismo de tipo C3, es menos resistente a las altas temperaturas y a los días demasiado largos. Además, la planta es termoperiódica y por tanto necesita una variación, entre temperaturas máxima y mínima, de mínimo 10 °C. Una diferencia menor inhibe el crecimiento y la tuberización. Las temperaturas altas son ideales para el crecimiento de tallos y hojas, pero no para el desarrollo de los tubérculos (Román Cortez & Hurtado, 2002). La papa se puede cultivar en lugares donde la temperatura mínima nocturna es de máximo 18 °C, aunque prefiere climas con temperaturas un poco más bajas. Si la temperatura mínima es más alta, la producción disminuye. Temperaturas de 12 a 18 °C favorecen el desarrollo de tallos y follaje y la producción de tubérculos (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 1991).

Las temperaturas máximas mayores a 25 °C aumentan la respiración y el consumo de asimilados disponibles para el crecimiento de la planta. Altas temperaturas antes del inicio de la tuberización favorecen el crecimiento del follaje, pero retrasan la producción de tubérculos (Aldabe & Dogliotti, 2006). Las temperaturas bajas en la noche son más efectivas para iniciar la tuberización que las temperaturas bajas en el día. Sarquis et al. (1996), citados por Rodríguez-Pérez (2010), reportan que temperaturas superiores a 23 °C retrasan el inicio de la tuberización. Sostienen que temperaturas de menos de 17 °C reducen la tasa de asimilación neta y retardan la tasa de aparición y expansión de hojas para alcanzar en corto tiempo una alta intercepción de razón de área foliar. Indican, además, que la temperatura óptima para la tuberización oscila entre 18 y 23 °C.

Las temperaturas demasiado bajas tienen el potencial de afectar significativamente el cultivo. Las heladas pueden ocasionar la muerte de algunas plantas. Los daños por helada dependen de factores como duración e intensidad del evento climático, contenido de humedad en el suelo y la planta y etapa de desarrollo fenológico del cultivo. Lo más común es que haya defoliación y daños en las hojas. Estudios con heladas simuladas mostraron que los estados fenológicos más susceptibles son el de emergencia y el de inicio de formación de estolones. En tales estados el daño de la parte aérea de la planta fue superior al 50 %. El daño ocasionado por una helada en el inicio de la floración puede disminuir el rendimiento final hasta en un 55 % (Fairlie & Ortega, 1995).

Intensidad de luz o fitocromo

El comienzo del crecimiento de los tubérculos está regulado por la intensidad de la luz. Esto tiene un efecto directo sobre el crecimiento posterior de los tubérculos, ya que la intensidad lumínica ejerce una fuerte influencia en la síntesis de carbohidratos durante la fotosíntesis. Es posible que el fitocromo B (Fb), el cual define el inicio del proceso de diferenciación floral, tenga un efecto sobre la tuberización y pueda medirse en la concentración de giberelinas en los meristemos apicales (Ewing & Wareing, 1978).

Reguladores de crecimiento

Estos elementos regulan la tuberización y la distribución de la materia seca en la planta. La tuberización es inducida básicamente por un balance hormonal, en el que sobre todo intervienen auxinas y giberelinas, estas últimas con efecto sobre la síntesis de proteínas en el tubérculo (Li, 1985; Luján, 1991). Algunos reguladores, como la mezcla de kinetina, ácido indolbutírico y ácido giberélico, o la de ácido gamma-aminobutírico y ácido L-glutámico, han mostrado efectos positivos en la tuberización, con el consecuente incremento de la producción, cuando son aplicados durante el desarrollo de las plantas y antes de la formación de los estolones (Pavlista, 2011). Otros reguladores, como el 2,4-D, han sido usados desde los años cincuenta para intensificar el color de la piel (Thornton et al., 2013).

Agua

El cultivo de papa tiene un alto uso productivo del agua. Con cada unidad de agua empleada, ofrece más alimento que cualquiera de los otros cultivos principales. Por cada metro cúbico de agua aplicado a su cultivo, la papa produce 5.600 calorías de energía alimentaria, 150 g de proteína y 540 mg de calcio, índices con los cuales supera al maíz, al trigo y al arroz (FAO, 2020).

Capítulo V

Manejo del recurso suelo y sistemas de siembra

Los productores de Toca y Siachoque, en Boyacá, adecúan el suelo con el fin de que el tubérculo-semilla tenga las mínimas condiciones para su emergencia y la planta pueda desarrollar tanto el dosel superior como el inferior. La preparación del suelo se realiza de manera mecanizada con tractor y con los implementos propios que requiere la preparación (apertura) de un lote proveniente de periodo de descanso². También se emplean los implementos que requieren las labores de arado y rastrillado del suelo.

Manejo de suelos en el municipio de Toca para el cultivo de papa de la variedad Tuquerreña

Los suelos presentes en la zona de Toca y Siachoque son los característicos de un relieve de tipo loma. Sus materiales mas comunes son arcillolitas, lutitas y areniscas. En este paisaje, los materiales predominantes son los conglomerados, componentes de origen volcánico (IGAC, 2005).

En zonas de aproximadamente 2.700 a 2.900 m s. n. m. también se pueden encontrar suelos pesados pertenecientes a la serie Cogua. Esta serie es la más importante en términos agrícolas y consecuencia de ello es su intensa explotación. Así mismo, se encuentran suelos de la serie Boyacá, con pendientes variables de 7 a 25 % y altamente erosionados (Bernal Duffo, 2020). En estos suelos de montaña predominan las texturas franco-finas. Los suelos derivados de arcillolitas favorecen la retención de agua, mientras que los derivados de areniscas tienen menor contenido de líquido, por lo cual son más propensos a procesos erosivos (IGAC, 2005).

La labor comienza con arado de disco o cincel, cuando se *va a abrir el lote*. Con esto se cortan las raíces de kikuyo y se genera la aireación necesaria. En esta labor, además, el suelo se voltea y se deja expuesto para eliminar

² Por *periodo de descanso* se entiende un lapso en el que el lote no se emplea para cultivo de papa.

microorganismos patógenos. Se ejerce un primer control de plagas y malezas, en el cual se corta la vegetación y se exponen organismos a factores externos.

Cerca de diez días después, se hace un pase con rastrillo, para romper terrones grandes y fraccionar más el terreno. Con esta labor se realiza, además, un segundo control de plagas o malezas. En esta etapa, pocos productores aplican e incorporan enmiendas, como producto de la recomendación de un análisis de suelos. Pasado un máximo de ocho días, con la ayuda de un arado artesanal llamado *de chuzo* o *gancho* y con tracción animal (yunta de bueyes o caballo), se realiza el trazado o surcado del lote (figura 17). Posteriormente, sobre los surcos, se siembran los tubérculos (figura 18).



Foto: Jorge Álvarez-Bernal

Figura 17. Surcado con tracción animal y arado de gancho.



Foto: Jorge Álvarez-Bernal

Figura 18. Siembra manual de papa de la variedad Tuquerreña.

En la zona, la principal limitante de las labores mecanizadas del suelo no son las condiciones topográficas, sino el perfil económico de los productores. No todos tienen acceso a maquinaria agrícola. Además, los municipios no cuentan con un banco de maquinaria suficiente y adecuado que supla las necesidades de los productores.

La Tuquerreña es una variedad de papa tardía o de ciclo largo³, que puede desarrollar mucho su follaje. Según Núñez (2011), el ciclo de cultivo tiene una duración de 210 días. En la zona productora de Toca, se cosecha de 150 a 180 días después de la siembra. El proceso de llenado y crecimiento del tubérculo, así como la maduración, comienzan más tarde que en otras variedades (Hernández & Rodríguez 1997). Esta larga duración del ciclo de cultivo exige una planificación diferente a la que se hace para las demás variedades de papa.

En el municipio de Toca, la variedad Tuquerreña se siembra de manera estacional y en la modalidad de monocultivo. El ciclo anual de lluvias tiene dos picos, uno en abril-mayo y otro en octubre-noviembre (tabla 4). Este ciclo determina las fechas de siembra ya que los agricultores las planean para que la germinación de la planta coincida con las épocas lluviosas. La siembra la llevan a cabo justo antes del inicio de las lluvias. Este es un factor primordial puesto que muchos productores (alrededor del 60 %) no cuentan con la infraestructura ni los equipos para realizar labores de riego. Luego de la siembra, el tiempo de emergencia de las plantas varía según el estado de brotación de la semilla.

En la zona, existen dos épocas de siembra. La primera se llama *de año grande* y se extiende de enero a marzo. Algunos productores con acceso a riego preparan el terreno en octubre y siembran en noviembre o diciembre. La semilla para la siembra de noviembre y diciembre se obtiene principalmente del municipio de Gámeza (Boyacá). Productores locales reconocen que la semilla proveniente de esa localidad tiene menos probabilidades de sufrir problemas fitosanitarios ya que la zona presenta altitudes mayores a los 2.900 m s. n. m. y bajas temperaturas. Aunque los redimientos en estas condiciones ambientales son bajos, los agricultores del municipio de Toca reconocen que la semilla es de excelente calidad.

³ Esta clasificación depende del tiempo de formación de los tubérculos: 90 días en variedades precoces, de 110 a 120 días en variedades de ciclo intermedio, y 120 días o más en variedades tardías (Román Cortez & Hurtado, 2002).

La otra época de siembra es la denominada localmente *sampedrana*. El terreno se prepara en los meses de junio, julio y agosto. Los cultivos, sembrados en julio y agosto, completan su ciclo hacia el mes de enero. Las heladas, frecuentes al inicio del año, encuentran al cultivo en época de maduración de los tubérculos, por lo cual la afectación no es considerable. En esta siembra, algunos productores emplean semilla proveniente del municipio de Viracachá (Boyacá) y otros utilizan semilla de la que han guardado o seleccionado de sus propios lotes. En ambos casos, la semilla llega a Toca sin selección ni tratamiento alguno.

La semilla se transporta en bultos de 50 kg, empacados en costales de material sintético y dispuestos en camiones sin mayor adecuación. Los productores suelen desplazarse a los municipios mencionados arriba para comprar la semilla directamente en los lotes de producción o para comprar el lote antes de cosechado. Los tubérculos así obtenidos se empacan sin pasarlos previamente por un proceso de selección y clasificación, lo cual aumenta el riesgo de sufrir pérdidas por daños mecánicos de la semilla o por transporte de material contaminado al lugar de siembra. Los agricultores, ante estas eventualidades, seleccionan la semilla en sus propias fincas antes de almacenarla.

Los terrenos que se prefieren para la siembra son los que han tenido un periodo de descanso de dos a tres años⁴. Los agricultores establecen sus cultivos en lotes cercanos a sus residencias para facilitar el traslado de la semilla. Como la semilla se empaqueta en costales sin ningún tipo de protección o acondicionamiento, corre el riesgo de deteriorarse por daños mecánicos (destalle), producto de una mala manipulación o por el roce entre tubérculos que se da durante el transporte desde la bodega de almacenamiento hasta el lote de siembra.

En la zona predominan los minifundios. En campo, se evidencia que los lotes destinados al cultivo en su gran mayoría no exceden las dos hectáreas. Lo más común para los terrenos cultivados con Tuquerreña son áreas de una a tres fanegadas (Alcaldía de Toca, 2004; Alcaldía de Siachoque, 2004; MADR & Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2002).

⁴ Durante los periodos de descanso, los lotes se destinan al pastoreo intensivo o al cultivo de maíz y habas principalmente. Este tiempo permite recuperar la actividad de los microorganismos antes de dar comienzo a un nuevo proceso de cultivo. Los residuos de la cosecha de maíz generalmente se usan como alimento para el ganado o son incorporados al suelo durante la preparación del terreno.

Los agricultores, dependiendo del tamaño, depositan en los puntos de siembra un tubérculo-semilla (si pesa de 50 a 60 g) o dos (si pesa menos de 50 g). Esta práctica determina la cantidad de semilla empleada por unidad de producción. Lo común en la zona es utilizar de 1 a 1,2 t/ha de semilla de 40 a 60 g. Las distancias de siembra suelen ser de 40 cm entre plantas y de 0,80 a 1 m entre surcos. Esta variación no obedece a una estandarización técnica, sino a los implementos usados, la pericia del operario y el terreno.

Estados fenológicos y desarrollo del cultivo

El cultivo se establece plantando tubérculos-semilla (reproducción asexual), de los cuales crecen uno o varios brotes dependiendo de la condición de dominancia apical (Rodríguez-Pérez, 2010). En las plantas tiene lugar una serie de procesos fisiológicos relacionados con la síntesis y translocación de fotoasimilados y la acumulación de materia seca.

Una planta sana de papa, con todo su potencial genético y que cumpla con todas sus funciones fisiológicas, pasa por las etapas de crecimiento y desarrollo (tabla 8). El cumplimiento adecuado de estas etapas requiere una rápida emergencia de brotes; desarrollo de raíces, estolones y dosel superior; eficiencia en el uso de nutrientes minerales y agua; tasas óptimas de fotosíntesis; uniformidad en el crecimiento; desarrollo de los tubérculos, y un máximo de transporte de fotoasimilados hacia los órganos de demanda, al final del periodo de crecimiento (Herrera Heredia et al., 2000).

En las primeras etapas de desarrollo de la planta, empieza el proceso de acumulación de almidones en los estolones. Esto altera el hábito de crecimiento. Los entrenudos sucesivos ubicados en la punta del estolón crecen y se desarrollan de manera radial y longitudinal gracias a procesos de división celular, y con ello se alcanza el crecimiento completo de los tubérculos (Rodríguez-Pérez, 2010).

Durante el almacenamiento, luego de cosechados los tubérculos, comienza el estado de reposo. Unas semanas después empiezan a crecer los brotes, proceso que depende de factores como temperatura y duración de almacenamiento y luminosidad (Menzel, 1985).

Tabla 8. Estadios principales de desarrollo de la planta de papa *S. tuberosum*., según escala BBCH⁵

Estado principal	Descripción
Germinación/brotación	Inicio de formación de brotes, tallos y raíces. Formación y desarrollo de estolones. Los tallos traspasan la superficie del suelo.
Desarrollo de hojas	Las hojas adquieren más de 4 cm ² de área foliar.
Formación de brotes laterales	Formación de brotes basales laterales visibles.
Crecimiento longitudinal (brotes principales)	Comprende desde el comienzo hasta la finalización de la cobertura del cultivo. Las plantas se tocan entre hileras.
Desarrollo de las partes vegetativas cosechables	Comienzo de la formación y llenado de tubérculos, que alcanzan la máxima masa total final. La epidermis madura.
Aparición de órgano floral	Formación de inflorescencias en la planta.
Floración	Flores en antesis, floración plena de cultivo y fin de la floración.
Formación del fruto	Formación de bayas.
Maduración de frutos y semillas	Desarrollo y maduración de bayas y semillas.
Senescencia	Amarillamiento de hojas, que posteriormente se tornan de color marrón. Hojas y tallos muertos, blanquecinos y secos. Momento para la cosecha.

Fuente: Meier (2001)

⁵ La Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemical Industry (BBCH) es una escala internacional originada en Alemania, que se usa para identificar los estados del desarrollo fenológico de una planta.

Capítulo VI

Manejo integrado de plagas y enfermedades (MIPE)

Las plantas se mantienen sanas cuando sus funciones fisiológicas se llevan a cabo hasta donde lo permite su potencial genético. Estas funciones comprenden la división celular normal y la diferenciación y desarrollo de las células; la absorción de agua y minerales del suelo y su translocación por toda la planta; la fotosíntesis y la translocación de todos los productos fotosintéticos hasta los órganos de demanda o utilización y de almacenamiento; el metabolismo de los compuestos sintetizados, y la reproducción y almacenamiento de las reservas necesarias para que se lleve a cabo (Agrios, 2008).

Las plantas han evolucionado en entornos que a menudo las exponen a diferentes tipos de estrés biótico y abiótico. Puesto que son organismos sésiles, han desarrollado mecanismos específicos para detectar cambios ambientales precisos y responder a condiciones de estrés complejas, minimizando el daño y conservando recursos valiosos para el crecimiento y la reproducción (Agrios, 2008). Cuando una planta es infectada por un patógeno, por lo general las células y los tejidos afectados se destruyen o se debilitan por acción de los agentes que ocasionan la enfermedad (Agrios, 2008).

Las condiciones climáticas imperantes en la zona de producción de la papa de la variedad Tuquerreña en Boyacá, así como la propagación vegetativa del cultivo, la movilización y transporte de material de siembra y de tubérculos para consumo en fresco y para semilla (cuando esta no es correctamente seleccionada), y la baja tasa de rotación de las áreas sembradas y cultivadas, contribuyen a la propagación y el establecimiento de muchos patógenos. Todo lo anterior se asocia a la ausencia de asistencia técnica especializada para los productores de la zona.

La variación en frecuencia y cantidad de las precipitaciones de los últimos años ha tenido consecuencias negativas en la sanidad y la productividad de la mayoría de cultivos. Esto se debe al incremento de la humedad en el suelo, el aumento de la humedad relativa, la disminución del brillo solar y la temperatura, aspectos estos que favorecen el desarrollo de plagas y enfermedades en el cultivo de la papa (ICA, 2015).

Principales enfermedades del cultivo

La gota de la papa es la enfermedad que más limita la producción de la variedad Tuquerreña en el nicho productivo de los municipios de Toca y Siachoque. El oomiceto *Phytophthora infestans* es el causante de la enfermedad y su ataque puede devastar el cultivo en poco tiempo, debido a la alta susceptibilidad de la variedad (Núñez, 2011).

En la zona se reportan otras patógenos que afectan en menor grado el desarrollo del cultivo. Algunos de tales patógenos son el hongo *Rhizoctonia solani*, causante de la costra negra y conocida también como *muñequero de la papa* o *peca de la papa*; el *Rosellinia* sp., que ocasiona la enfermedad conocida en la zona como *canizco*, *moho* o *papa salada*, y el hongo *Alternaria solani*, cuya enfermedad, llamada el *tizón temprano*, se registra con menos frecuencia.

Gota de la papa (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary)

La gota, tizón tardío o añublo de la papa, es la enfermedad que más limita la producción del cultivo de papa en todo el mundo. Típica de los climas fríos y húmedos, la gota fue la causante de la famosa hambruna de la papa, ocurrida en Irlanda entre 1845 y 1846, y se considera de carácter epidémico (Agrios, 2008). El patógeno es un oomiceto muy agresivo que afecta tallos, hojas e incluso tubérculos. Los síntomas varían según el órgano afectado. En las hojas, las lesiones aparecen inicialmente como manchas de color gris pálido o verde acuoso, que crecen rápidamente y de forma irregular (figura 19) y que en ocasiones presentan halos cloróticos a su alrededor (ICA, 2011).



Fotos: Berssy Tovar

Figura 19. Planta de papa de la variedad Tuquerreña afectada por el patógeno *Phytophthora infestans*, causante de la gota.

Bajo condiciones favorables, las lesiones se expanden rápidamente y adquieren tonalidades de marrón a negro púrpura a medida que el tejido se destruye y necrosa. Cuando la humedad relativa es alta, se puede observar la esporulación blanca del hongo en la periferia de las lesiones, principalmente en la parte inferior de las hojas. En los tallos y peciolo, las lesiones son de color marrón a negro y en ellas también se puede observar la esporulación del oomiceto. Los tubérculos infectados desarrollan una mancha marrón que comienza en el exterior y que luego puede extenderse hacia adentro, afectando los tejidos de los primeros 3 a 12 mm del interior (Núñez et al., 2008).

La gota de la papa en la variedad Tuquerreña

La variedad Tuquerreña es altamente susceptible al patógeno *Phytophthora infestans*, causante de la gota (Núñez, 2011). Las condiciones favorables para que este patógeno se desarrolle son una alta humedad relativa, temperaturas de 7 a 21 °C (Forbes et al., 2014), baja luminosidad y altas densidades de siembra. Los encharcamientos incrementan la severidad del daño, dada la alta susceptibilidad del material. Estas condiciones exigen un inmediato aumento en la frecuencia de las aplicaciones fitosanitarias para el manejo del patógeno, frecuencia que debe ser mayor que la requerida por otras variedades menos susceptibles.

Recomendaciones de manejo integrado

Para el manejo de esta enfermedad en la zona de Toca productora de la variedad Tuquerreña se pueden aplicar las prácticas de control cultural, químico y biológico que se presentan a continuación.

Prácticas culturales

Las prácticas culturales son muy importantes para la prevención y el manejo de la enfermedad. Una de ellas consiste en la destrucción de residuos de cosechas anteriores y toyas⁶ en el lote, además de la eliminación de partes aéreas y tubérculos infectados durante la cosecha y el almacenamiento. El agricultor debe asegurarse de que el follaje infectado esté completamente muerto y de que este material haya permanecido en el suelo mínimo de 2 a 3 semanas antes de la cosecha, dado que *Phytophthora infestans* no sobrevive mucho tiempo en los tejidos muertos. Las siguientes son otras recomendaciones para la prevención y el manejo de la enfermedad:

- Evitar las altas densidades de siembra y realizar una fertilización balanceada y oportuna (con base en análisis de suelo). La aplicación excesiva de nitrógeno tiene un efecto directo en el aumento de la incidencia y la severidad de la enfermedad.
- Evitar el riego en horas de la tarde ya que la humedad durante la noche genera condiciones propicias para la enfermedad (Robinson et al., 2017).
- Se debe usar semilla libre del patógeno, preferiblemente certificada. El micelio y los esporangios del patógeno pueden diseminarse por medio del tubérculo-semilla, y esto se evita en gran medida con el uso de un material de siembra certificado.
- Se deben seleccionar terrenos con buen drenaje y apropiada exposición al sol y el viento, y evitar sombras prolongadas en el terreno (Schumann & D'Arcy, 2018).
- Eliminar plantas hospederas, malezas y toyas de cultivos anteriores. El patógeno puede sobrevivir en restos del cultivo de papa y de otros cultivos o malezas (Schumann & D'Arcy, 2018).
- Se ha demostrado que rotar los cultivos de papa en intervalos de tres o más años reduce significativamente el impacto de la enfermedad (Lal et al., 2018).
- La siembra de cultivos barrera en los bordes del cultivo de papa retrasa significativamente la dispersión del patógeno.

⁶ Las toyas son plantas de papa que crecen en el lote, pero que no corresponden a las plantas del cultivo de interés. Son producto de tubérculos del cultivo anterior que germinan y se desarrollan espontáneamente.

Uso de agroquímicos

En relación con la aplicación de fungicidas, se deben tener en cuenta las sugerencias de un asistente técnico especializado y aplicar únicamente las dosis recomendadas. Los fungicidas sistémicos basados en cimoxanilo, propamocarb y mandipropamida son capaces de controlar efectivamente la enfermedad, pero son más efectivos cuando se aplican antes del inicio de la misma. Estos fungicidas se deben usar siempre con un protectante.

La aplicación continua de un mismo tipo de fungicida (principio activo) genera resistencia del patógeno. Por tanto, es aconsejable no realizar más de dos aplicaciones secuenciales del mismo. Por ejemplo, se puede aplicar un fungicida preventivo de contacto antes de la aparición de la enfermedad, seguido de un fungicida sistémico-translaminar con un fungicida de contacto, en intervalos de siete a diez días, según las condiciones climáticas y del cultivo (Lal et al., 2018). Se recomienda elaborar un programa detallado con el acompañamiento de un asistente técnico.

Los equipos de aplicación terrestre desden estar calibrados adecuadamente. El acondicionamiento del pH y de la dureza del agua para la mezcla de tanque y el empleo de coadyuvantes o aceites agrícolas se debe hacer de acuerdo con la condición climática.

Control biológico e inductores de resistencia

Es aconsejable informarse con un asistente técnico sobre las nuevas alternativas que pueden ayudar al manejo de la gota y que incluyen sustancias bioactivas (silicios y fosfitos), extractos vegetales y agentes biocontroladores (*Bacillus subtilis* y *Trichoderma* spp.), entre otros (Lal et al., 2018).

Rizoctoniasis o costa negra (*Rhizoctonia solani* Kühn)

La rizoctoniasis es una enfermedad muy importante en la zona de producción de Toca. Requiere de una correcta identificación de los síntomas, los cuales se expresan tanto en la parte aérea como en los tubérculos.

La rizoctoniasis en papa de la variedad Tuquerreña

Esta es una enfermedad de amplia distribución en el mundo, con una gran amplitud de hospederos, que ocasiona lesiones serias en tejidos de raíces, tallos y tubérculos (Porras Rodríguez & Herrera Heredia, 2015). El patógeno se disemina

mediante labores de remoción de suelo, lluvia y uso y transporte de semilla contaminada. Signo característico de la enfermedad son las costras o pecas que afectan a los tubérculos de papa (figura 20). Estas costras son estructuras de resistencia o esclerocios del hongo que facilitan su diseminación en campo y afectan visualmente la calidad del tubérculo. A partir de ellas, el hongo afecta los brotes del tubérculo y produce manchas y chancros de color café que pueden inducir la muerte de los meristemos apicales o puntos de crecimiento.



Foto: Jorge Álvarez

Figura 20. Tubérculo de papa de la variedad Tuquerreña con esclerocios de *Rhizoctonia solani*, patógeno causante de la costra negra.

La enfermedad presenta varios síntomas en el dosel superior. Uno de ellos es una epinastia en los folíolos que puede afectar inicialmente una porción del follaje (figura 21a) o la mayoría de este (figura 21b). Otros síntomas son la formación de tubérculos aéreos y la deformación de los tubérculos (Wharton et al., 2007).



Foto: Jorge Álvarez

Figura 21. Planta de papa de la variedad Tuquerreña afectada por *Rhizoctonia solani*, patógeno causante de la costra negra. a. Planta con avance medio de la afección; b. Planta con avanzado estado de afección.

Recomendaciones de manejo integrado de rizoctoniasis en papa de la variedad Tuquerreña

- Utilizar semilla libre de esclerocios o no contaminada.
- Realizar rotaciones con cultivos como frijol, arveja y maíz (Tsrer, 2010).
- Hacer una desinfección adecuada a la semilla durante el almacenamiento y sobre la rejada en el momento de la siembra, siempre con la asesoría de un asistente técnico.
- Realizar control de plantas arvenses hospederas.
- En caso de utilizar abono orgánico, verificar que esté bien compostado y que en lo posible tenga registro de la autoridad competente.

Mortaja blanca, papa salada o canizco (*Rosellinia* sp.)

Otra enfermedad importante de la variedad Tuquerreña es la mortaja blanca. Se origina en el suelo por lo que su manejo es complejo. Requiere una identificación adecuada de los síntomas y prácticas de manejo integrado.

La mortaja blanca en papa de la variedad Tuquerreña

El patógeno es un hongo saprófito facultativo (Porrás Rodríguez & Herrera Heredia, 2015), que normalmente se encuentra en suelos con buen contenido

de materia orgánica, muy húmedos, mal drenados, donde los residuos de cosecha tardan bastante tiempo en descomponerse por las bajas temperaturas. Se disemina principalmente por tubérculos-semilla infectados, suelo contaminado, agua y herramientas. Afecta la calidad de los tubérculos y sobrevive en el suelo por largo tiempo. Se presenta en focos y plantas aisladas, y se encuentra en lotes nuevos o lotes con alta presencia de *Rumex* sp. (conocida como *romasa* o *lengua de vaca*), barbasco y gualola (González, 2012).

Los síntomas externos de la enfermedad son flacidez del follaje y marchitamiento (ICA, 2015). Además, las plantas atacadas detienen su crecimiento, se amarillan, y sus hojas se mueren sin desprenderse de los tallos (Porras Rodríguez & Herrera Heredia, 2015).

Recomendaciones de manejo integrado de mortaja blanca en papa de la variedad Tuquerreña

- Implementar drenajes eficientes en el lote.
- Detectar tempranamente focos y aislarlos para evitar diseminación del hongo.
- Antes de sembrar en lotes nuevos, solicitar un servicio de análisis de suelo que incluya la identificación del patógeno.
- En un lugar alejado del lote, destruir las plantas y los tubérculos afectados por la enfermedad.
- Realizar solarización del suelo antes de siembra. Para ello, se debe humedecer el lote y posteriormente extender sobre el mismo un plástico negro (con calibre de 0,025 a 0,040 mm) para que el suelo se caliente a temperaturas de 36 a 50 °C en los primeros 30 cm de profundidad. El plástico se retira mínimo una semana después.

Tizón temprano (*Alternaria solani* (Ell. & Mart.) Jones & Grout)

Este hongo causa pérdidas en cultivos de papa de regiones húmedas y cálidas de todo el mundo. En los últimos quince años ha cobrado importancia en el departamento de Boyacá dado que se su presencia se ha generalizado y ha afectado todos los materiales de papa cultivada.

El tizón temprano en papa de la variedad Tuquerreña

Según Restrepo (2010), las plantas atacadas pierden vigor y disminuyen su rendimiento. El hongo afecta hojas y tallos, pero no los tubérculos. El ataque comienza en las hojas más viejas, en forma de pequeña manchas oscuras circulares con anillos concéntricos de color marrón a gris, rodeadas de un halo clorótico. El hongo *A. solani* sobrevive en residuos de cosecha, plantas de papa espontáneas y algunas malezas (ICA, 2011).

Recomendaciones de manejo integrado del tizón temprano en papa de la variedad Tuquerreña

- Recoger y eliminar residuos de cosecha, toyas, tubérculos dañados, papas *riche* y rastrojos del lote.
- Realizar un adecuado control de malezas.
- Hacer rotaciones con cultivos como fríjol, arveja y maíz (Tsrer, 2010).
- Emplear barreras rompevientos. Pueden ser barreras vivas en la periferia del lote, de un porte mayor que el de las plantas de papa.
- Aplicar fertilización balanceada basada en análisis de suelo y adecuada recomendación de un profesional.
- Realizar un control químico de carácter preventivo siguiendo las recomendaciones de un profesional.

Principales plagas del cultivo

Son varias las plagas que afectan a la variedad Tuquerreña en los municipios de Toca y Siachoque. Funcionarios de las oficinas de desarrollo agropecuario de estos municipios, al igual que productores de la zona, reconocen que la plaga más limitante es la polilla guatemalteca (*Tecia solanivora*). La plaga llegó a la región hace alrededor de 25 años y en 1997 ocasionó pérdidas de hasta el 100 % en los cultivos debido a que no se tomaron medidas mínimas para controlarla (Herrera, 1997). Otra plaga es el gusano blanco (*Premnotrypes vorax*), que ocasiona afectaciones importantes desde hace varias décadas. De menor relevancia en la zona son la palomilla de la papa (*Phthorimaea operculella*); la pulguilla de la papa (*Epitrix* sp.), que ataca las hojas, y la mosca blanca, mucho menos importante. El control y la prevención de estas plagas se debe hacer con enfoque de manejo integrado. Se debe buscar un control efectivo que no afecte la calidad del tubérculo por contaminación de plaguicidas y que brinde la máxima seguridad a productores y consumidores.

Polilla guatemalteca (*Tecia solanivora* [Povolny])

Conocida como *polilla guatemalteca*, esta plaga ingresó al país en 1985 por Norte de Santander y se reportó en el altiplano cundiboyacense en 1990. Es considerada la plaga de mayor importancia económica del cultivo de la papa en Colombia (ICA, 2011). Boyacá y sus zonas productoras de Tuquerreña no son la excepción. Para lograr un adecuado manejo de esta plaga, se requiere conocer bien sus características y comportamiento con el propósito de aplicar correctamente las medidas de control, las cuales incluyen varios aspectos.

Descripción y daños causados por la polilla guatemalteca

Es un insecto holometábolo, lo que significa que su ciclo de vida comprende los estados de huevo, larva, pupa y adulto. Los cuatro estados se pueden ver afectados por condiciones ambientales y entre ellas las más relevantes son la humedad del suelo y la temperatura (Niño, 2004). La duración del ciclo de vida varía de 65 a 93 días, dependiendo principalmente de la temperatura ambiental (Herrera, 1997).

Los adultos son polillas de aproximadamente 1 cm de longitud, de color marrón y bandas oscuras a lo largo de las alas (figura 22a). Los huevos son ovoides, casi esféricos, de aproximadamente 0,45 mm de longitud. Son de color blanco perla, pero a medida que transcurre el periodo de incubación adquieren una coloración amarillo oscura. Los huevos normalmente se pueden encontrar agrupados sobre tubérculos expuestos en los lotes de cultivo o almacenados, aunque también pueden hallarse en el suelo. Al eclosionar, salen larvas que inmediatamente penetran el tubérculo (o lo buscan con la intención de penetrarlo) para desarrollar sus cuatro instares (Herrera Heredia et al., 2000). La larva (figura 22b) es el estado de la plaga que ocasiona el daño directo (Niño, 2004) y lo produce cuando entra al tubérculo. El ataque puede presentarse en los tubérculos en fase de desarrollo. La larva consume la carne y forma galerías de profundidad variable, que dependen del estado de crecimiento de los individuos y la densidad de la población (Herrera, 1998). Con una alta densidad de larvas por tubérculo, se pueden llegar al consumo total de la carne (Niño, 2004). En un número muy alto (figura 23), pueden abandonar el tubérculo y migrar hacia otro cercano. Las larvas que completan su desarrollo dejan de alimentarse y abandonan el tubérculo o se ubican en su parte exterior. Forman entonces un capullo, dentro del cual se transforman en pupa. Las pupas pueden encontrarse adheridas a empaques, paredes y grietas en los sitios de almacenamiento o en el suelo. En su interior se produce la transformación al estado adulto (polilla), con el cual empieza un nuevo

ciclo. Un sitio de almacenamiento sin luz, que no brinde protección a los tubérculos, presenta las condiciones ideales para la reproducción de la *Tecia solanivora* (Herrera, 1998).



Figura 22. Polilla guatemalteca de la papa. a. Adulto; b. Larvas sobre tubérculo.



Figura 23. Daño en tubérculo ocasionado por larvas de polilla guatemalteca.

La variedad Tuquerreña posee algún grado de tolerancia al ataque de *T. solanivora*. En esta variedad, la polilla guatemalteca muestra menores niveles de pupamiento y emergencia de adultos, y altas tasas de mortalidad de pupas y larvas con respecto a otras variedades mejoradas (Bejarano et al., 1997).

En la Tuquerreña, el ciclo de vida de la polilla guatemalteca dura 75 días, nueve días más que en variedades más susceptibles (Ordóñez et al., 2012). El aumento del ciclo de vida de la plaga indica cierta resistencia de la variedad, ya que en ella se producen menos generaciones por año que en otras más susceptibles (Smith, 2005).

La evaluación de la tasa de ovoposición de la polilla en la Tuquerreña mostró que la variedad ejerce un efecto de no preferencia (propiedad de antixenosis) sobre la biología de la plaga. Esto convierte al genotipo de la Tuquerreña en una fuente de resistencia que podría ser implementada en programas de mejoramiento genético de papa para hacer frente al ataque de *T. solanivora*. (Ordóñez et al., 2012).

Estas propiedades de resistencia pueden estar asociadas a características propias de la variedad, que la diferencian de materiales mejorados: piel oscura, alta gravedad específica, consistencia dura. Tales atributos se consolidaron gracias a la selección que los antepasados hicieron a partir del material nativo (Luján & Arévalo, 1992).

Recomendaciones de manejo integrado de la polilla guatemalteca en papa de la variedad Tuquerreña

- Usar semilla de calidad o certificada.
- Emplear trampas con feromonas para seguimiento de la plaga y realizar controles adecuados (figura 24).
- Destruir los residuos de cosecha y eliminar toyas del lote.
- En la siembra, colocar la semilla profunda para que el tubérculo quede bien cubierto.
- Aplicar riego frecuentemente para disminuir la probabilidad de agrietamiento del suelo (por los cambios de temperatura). Con esto se dificulta el acceso de la plaga a los tubérculos.



Foto: Janeth Español

Figura 24. Inspección de trampa de feromonas para captura de adultos de polilla guatemalteca.

Palomilla de la papa (*Phthorimaea operculella* [Zeller])

Este insecto es una de las plagas de la papa de mayor impacto en el mundo. En su estado de larva afecta los tubérculos y las hojas de la planta (figura 25a) (Sporleder et al., 2001). Es un insecto holometábolo, que pasa por cuatro estados de desarrollo en su ciclo de vida. La duración de cada uno está influenciada por las condiciones ambientales (temperatura y humedad ambiental). El ciclo de vida varía de 22 a 55 días, dependiendo principalmente de la temperatura ambiental (López-Ávila, 2000). En un año pueden desarrollarse hasta doce generaciones. Durante el día, al igual que la polilla guatemalteca, los adultos (figura 25b) se ocultan bajo las hojas de la planta o los terrones y en las bodegas de almacenamiento (Ortega, 1995).



Fotos: Janeth Español

Figura 25. La palomilla de la papa. a. Larva; b. Adulto.

El ataque más severo puede ocurrir en las semanas siguientes a la emergencia de la planta. Las larvas hacen minas en las hojas y barrenan los tallos y peciolo. Forman túneles o galerías en el interior de los tubérculos en desarrollo hasta destruir la carne en su totalidad si el número de larvas es alto (figura 26a). Las plantas afectadas inicialmente se adormecen; los tallos se doblan, hay amarillamiento y al final las plantas se secan y mueren. El daño ocasionado en el tubérculo se caracteriza por la presencia de excremento, el cual tiene la apariencia de aserrín y se localiza de manera abundante en la entrada de las galerías (figura 26b) (López-Ávila, 2000).



Foto: Martha Díaz

Figura 26. Daño en tubérculos ocasionado por la palomilla de la papa. a. Daño interior; b. Daño exterior.

Recomendaciones de manejo integrado de la palomillada la papa en variedad Tuquerreña

- Usar semilla certificada. En la actualidad, está en desarrollo el programa para producción de esta semilla (ver capítulo 3, "Producción de semilla y propagación"). Si el productor no tiene posibilidad de acceder a material de siembra certificado, debe emplear semilla seleccionada que no contenga larvas de la plaga.
- Aplicar riego.
- Realizar siembra profunda (a mínimo 15 cm de la superficie del suelo).
- Eliminar restos de cosecha y toyas del lote.
- Utilizar trampas con feromonas para hacer seguimiento, y orientar la aplicación de un control adecuado.

Gusano blanco de la papa (*Premnotrypes vorax* [Hustache])

Conocido también como *gorgojo de los Andes*, este insecto es una de las plagas de mayor importancia económica del cultivo de papa en todas sus variedades. La zona de producción en el municipio Toca y sus alrededores es una de las más afectadas por esta plaga.

Descripción y daños causados por el gusano blanco

Pasa por cinco instares larvales. Recién nacidas, las larvas llegan a las raicillas y tubérculos en formación y penetran en estos por pequeñas perforaciones casi imperceptibles. A medida que crecen y se alimentan, forman galerías o túneles sinuosos hasta que finalmente destruyen el tubérculo por completo (figura 27a) (López-Ávila, 2000; Herrera, 1998).

La larva sale del tubérculo cuando termina su desarrollo (figuras 28a y 28b) y se entierra en el suelo para formar la pupa (figura 28c) y completar su transformación. Una vez terminada esta fase, el adulto (figura 28d) formado permanece bajo la superficie del suelo mientras completa su proceso de melanización. En campo, se confunde fácilmente con los terrones debido a que su cuerpo está recubierto de una película muy fina de polvo que toma el color de su entorno. No es un insecto volador, pero camina. Ocasiona mayores daños en los bordes del lote, los cuales se evidencian cuando se hace la cosecha. Los adultos

son muy activos durante la noche y suben por los tallos para alimentarse de las hojas tiernas y jóvenes de la planta, con lo cual dejan una marca característica en forma de media luna (figura 27b). La duración del ciclo de vida es muy variable y depende de la presencia y la cantidad de alimento, la humedad del suelo, la altura sobre el nivel del mar y la temperatura del ambiente (Calvache Guerrero & Alvarado, 1980; Salazar 1996). Las pérdidas económicas son causadas directamente por las larvas. Estas se alimentan de la carne del tubérculo y construyen galerías superficiales y profundas en su interior (figura 27a). Las galerías presentan suberización del tejido en sus paredes, posterior pudrición y acumulación de excrementos, lo cual le da un aspecto terroso al interior.

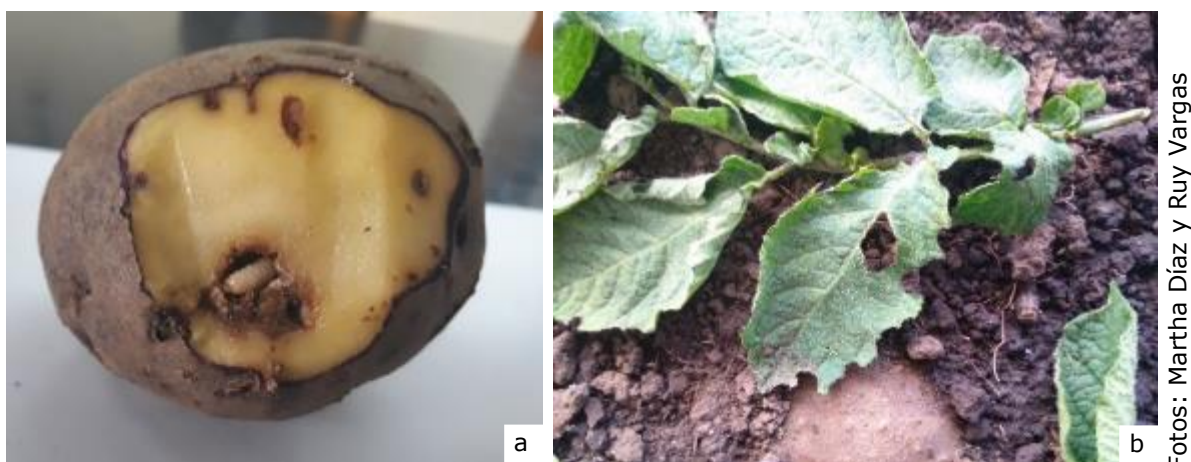


Figura 27. Daños causados por el gusano blanco de la papa. a. Daño en folíolos causado por adulto; b. Daño en tubérculo causado por larva.

Fotos: Martha Díaz y Ruy Vargas



Fotos: Janeth Español

Figura 28. El gusano blanco de la papa. a. Larva completamente desarrollada; b. Larvas en tubérculo; c. Pupa; d. Adulto.

Recomendaciones de manejo integrado del gusano blanco en papa de la variedad Tuquerreña

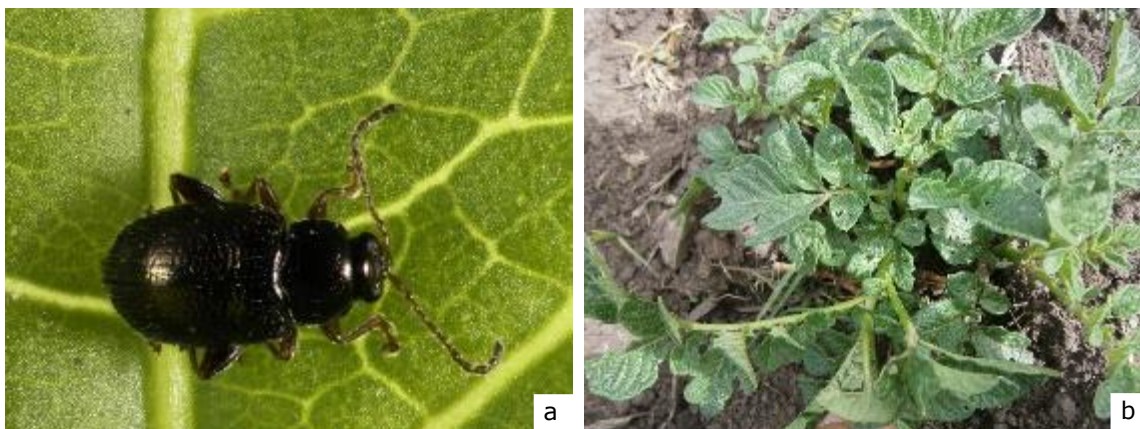
- Usar bandas de plástico en los bordes por donde entra la plaga al lote. Estos plásticos se colocan en zanjas para que el insecto caiga en ellos.
- Establecer cultivos-trampa días antes de la siembra. Los cultivos-trampa son surcos sembrados situados en el borde del lote a donde la plaga puede llegar y establecerse. Con ellos se puede concentrar la plaga en un área específica para facilitar su control y evitar que se disemine en el lote principal.
- Usar controladores biológicos como los hongos entomopatógenos *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*. Estos hongos se aplican en el surco como protección para la plantas. Se busca que el adulto se infecte y de esta manera se reduzca su reproducción y su ataque a las plantas del cultivo.

- Realizar inspecciones nocturnas al cultivo y capturar adultos presentes. Esta práctica es factible cuando la casa de habitación del productor está en la misma finca donde se encuentra el cultivo.
- Eliminar, antes de la siembra, las plantas hospederas del lote. Esta labor se puede hacer como complemento de la preparación de suelo.
- Realizar control químico con productos que tengan registro ICA para el control de la plaga en el cultivo de papa. Este control va dirigido a los adultos por lo que las aplicaciones se deben dirigir a la base de la planta y a los folíolos, que son las partes de la planta que frecuenta el adulto en su actividad nocturna. En el caso del gusano blanco, el control se optimiza dirigiendo la aplicación a los focos de la plaga.
- Cosechar en el momento oportuno.

Pulguilla (*Epitrix* spp.)

La pulguilla es un insecto defoliador. Está adaptada a la familia de las solanáceas. Es muy abundante en las etapas iniciales del cultivo de papa (Pérez-Otero et al., 2010). Al ser perturbada, escapa rápidamente, saltando como una pulga (Centro de Sanidad y Certificación Vegetal [CSCV], 2016).

Los huevos son de forma elíptica, de 0,4 mm de largo, de color blanquecino y adquieren un tono amarillento cuando se aproxima la eclosión. Las larvas son filiformes, con tres pares de patas cortas situadas cerca de la cabeza. Al final de su desarrollo llegan a medir 0,5 mm. Son blancas, con la cabeza de color castaño. Se alimentan de las raíces pequeñas de las plantas y duran hasta tres semanas. Las pupas son blancas, del tipo exarata, y en promedio miden 1,8 mm (CSCV, 2016; Pérez-Otero et al., 2010). Los adultos (figura 29a) son cucarroncitos diminutos, de 1,6 a 2 mm, de forma oval y convexa, patas de color claro y antenas y cuerpo marrones y oscuros (CSCV, 2016; ICA, 2011; Pérez-Otero et al., 2010).



Fotos: Janeth Español y Jorge Álvarez-Bernal

Figura 29. Pulguilla (*Epitrix* spp.). a. Adulto en foliolo de papa. b. Daño ocasionado por pulguilla en foliolos de planta de la variedad Tuquerreña.

Los adultos se alimentan de los foliolos o cogollos. El daño consiste en huecos de diferentes tamaños o cicatrices redondas en la superficie de la hoja (figura 29b). En las primeras semanas de cultivo, la pulguilla se convierte en una plaga limitante debido a que puede reducir el área foliar y dañar la estructura de la planta. Ocasionalmente, las larvas se alimentan de tubérculos y generan un daño superficial en él (ICA, 2011). Para su manejo, se debe hacer una estricta vigilancia en las primeras semanas después de la emergencia de las plantas. Esto en razón a que las plantas pequeñas, dada su poca superficie foliar, son más vulnerables al ataque. La acción curativa se basa en el uso de insecticidas de ingestión o contacto, en aplicaciones dirigidas al follaje, especialmente a las hojas más jóvenes.

Mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum* Westwood)

La mosca blanca es un insecto-plaga presente en la mayoría de zonas de producción agrícola en el mundo. En Colombia, en años recientes se ha consolidado como plaga de importancia en el cultivo de papa debido a que transmite el virus del amarillamiento de venas. Aunque en Boyacá no tiene la mayor incidencia, sí se debe conocer muy bien y manejar para evitar que transmita este perjudicial virus.

Descripción y daños causados por la mosca blanca

La mosca blanca es un insecto fitófago, chupador, polífago y cosmopolita. Pese a que sus poblaciones suelen ser abundantes, no genera un daño directo en el cultivo de papa. La oviposición se presenta preferentemente en hojas jóvenes.

La tasa de reproducción depende de las condiciones ambientales y la lluvia es un factor de control ya que puede tumbar las larvas de las hojas o impedir el vuelo de los adultos (Cardona et al., 2005; Malagamba & Cabello, 1996; Pérez Maldonado, 2008).

Es un insecto de metamorfosis incompleta que pasa por cuatro estados de desarrollo: huevo, ninfa, pupa (ninfa IV) y adulto. Los huevos son alargados, de 0,2 mm de longitud, inicialmente blancos y de color café oscuro cuando están próximos a eclosionar. Son fijados al envés de la hoja por medio de un pedicelo. Cabe resaltar que su reproducción puede ser asexual, por partenogénesis (de la que se forman machos), o sexual (Cardona et al., 2005; Pérez, 2008).

El primer ínstar ninfal, conocido como *gateador*, tiene forma oval y movimiento y por medio de este último localiza el sitio de alimentación. Este ínstar dura cerca de tres días y tiene coloración transparente. El segundo ínstar es de forma oval, con el doble de longitud (0,38 mm) y al igual que el primero dura tres días. El tercer ínstar se puede observar a simple vista y tiene la misma duración. El cuarto ínstar, llamado *pupa*, tiene una coloración opaca y se caracteriza por tener unos hilos de cera largos y erectos. Mide 0,73 mm y dura máximo ocho días (Cardona et al., 2005).

Los adultos tienen alas transparentes y una coloración amarillenta o su característico color blanco (figura 30), producto de una secreción cética y pulvurenta. Esta especie presenta dimorfismo sexual, con hembras más grandes que ponen de 80 a 300 huevos, los cuales duran de 5 a 28 días (Cardona et al., 2005; Malagamba & Cabello, 1996; Pérez Maldonado, 2008).

La mosca blanca no causa un daño directo de importancia económica en el cultivo de papa, pero sí dos tipos de daño indirecto: 1) transmite el virus PVV (*Potato yellow vein virus*), el cual puede causar una severa reducción de la producción (este daño se considera el más importante); 2) genera *fumagina*, una película de color negro que disminuye el área fotosintética activa de la planta, producto de hongos saprófitos que crecen sobre las sustancias azucaradas que las moscas excretan sobre las hojas. Este último daño se presenta sobre todo cuando hay grandes infestaciones en los cultivos (Cardona et al., 2005; MADR, 2015; Pérez Maldonado, 2008).



Fotos: Martha Díaz y Janeth Español

Figura 30. Mosca blanca en plantas de papa. a. Adultos en hoja; b. Panorama de adultos sobre foliolos.

Los ambientes secos y las temperaturas altas favorecen la aparición de la plaga. Los suelos con altas concentraciones de materia orgánica o con exceso de fertilización nitrogenada también contribuyen al desarrollo de altas poblaciones de la mosca blanca (ICA, 2011).

Recomendaciones de manejo integrado de la mosca blanca en papa de la variedad Tuquerreña

- Eliminar residuos de cosecha y toyas, tanto en lote de cultivo como en lotes aledaños.
- Rotar con cultivos que no sean atacados por la plaga, de gramíneas o aliáceas.
- Implementar controles etológicos. En presencia de altas poblaciones de la plaga, se pueden usar trampas pegajosas amarillas para capturar a los adultos. Estas trampas son bandas de plástico amarillo, impregnadas de pegante, colocadas verticalmente a la altura del follaje en las zonas del lote con mayor infestación.
- Aplicar insecticidas según recomendación técnica. Se deben emplear productos registrados ante el ICA, para esta plaga y para el cultivo.

Capítulo VII

Prácticas culturales

El cultivo de papa de la variedad Tuquerreña en Boyacá, al igual que el de otras variedades en el país, requiere prácticas y labores culturales para su adecuado establecimiento, crecimiento y desarrollo.

Labores generales del cultivo de papa de la variedad Tuquerreña, en Toca (Boyacá)

La fase de preparación del suelo comprende el laboreo inicial después del periodo de descanso del lote (fase denominada *ruptura del suelo*) y la labor de trazado. Esta última por lo general se lleva a cabo con tracción animal, con un arado de chuzo (figura 31), muchas veces perpendicular a la dirección de la pendiente del relieve. El tractor y la yunta son servicios que usualmente se pagan por horas de uso, aunque algunos productores disponen de yuntas propias (Osorio & Bucheli, 1996).



Foto: Jorge Álvarez-Bernal

Figura 31. Labor de trazado con tracción animal y arado de gancho para el cultivo de papa de la variedad Tuquerreña.

Las distancias de siembra son de 40 a 50 cm entre tubérculos y de 1 m entre surcos. La labor de desyerbe se lleva a cabo en promedio 20 días después de la emergencia. Esta labor consiste en acumular suelo alrededor de la planta, con lo cual se propicia el desarrollo del sistema radicular y adicionalmente se lleva a cabo un control de malezas o plantas arvenses. Esta labor de desyerbe se efectúa cuando la planta tiene de 15 a 20 cm de altura. Paralelamente se llevan a cabo dos labores muy importantes: la segunda aplicación de fertilizante edáfico y la aplicación de insecticidas dirigidos al suelo para el control del gusano blanco o la pulguilla. De 20 a 30 días después de realizada esta labor y dependiendo del crecimiento y desarrollo de la planta, se hace un segundo *atierre* o *agregada de suelo*, para mejorar las condiciones del proceso de tuberización y proteger los tubérculos.

En el aporque, normalmente no se incorpora fertilizante edáfico. Durante esta actividad, se aplican insecticidas al suelo, en una práctica denominada localmente *inyectada* o *chuntaqueda*. La aplicación incluye fertilizantes con potasio y boro para mejorar el proceso de llenado del tubérculo. Al igual que la mayor parte de las prácticas en la zona, esta labor se lleva a cabo por costumbre del productor y para mantener unos niveles aceptables de rendimiento de la cosecha.

La madurez comercial de la Tuquerreña, al igual que la de la mayoría de variedades de papa cultivadas en el país, requiere unas adecuadas condiciones climáticas, sanitarias, edáficas y nutricionales y se alcanza cuando el dosel superior (tallos principales, secundarios y follaje) presenta una condición de senescencia con amarillamiento del follaje y agobio de tallos.

Es imprescindible minimizar daños por patógenos o por la necesidad de obtener un buen precio de cosecha en el mercado. Los agricultores de la zona pueden acelerar el proceso de maduración mediante métodos como intoxicación de follaje con aplicaciones foliares y simultáneas de mancozeb, boro y potasio (estas aplicaciones incrementan el crecimiento radial e inhiben la producción de fenilalanina) y aplicación de madurantes. En la zona, y en la variedad Tuquerreña, aún no es muy común la práctica de eliminar follaje.

Aplicación de riego en papa de la variedad Tuquerreña, en Toca

El uso de tecnología de riego para el cultivo de papa en Colombia es muy limitado. En 2011, tan solo el 4 % del área contaba con alguna tecnología con estas características (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2014). Ese 4% correspondía a 2.622 ha, distribuidas de la siguiente manera: 56 ha por goteo, 2.212 ha por aspersión, 48 ha con riego por gravedad y 306 ha con irrigación artesanal (Cortés Bello et al., 2013). Aunque no se cuenta con un levantamiento en la zona que mida la proporción de áreas que cuentan con riego, adelante se describe una situación común a muchas de las unidades productivas de papa Tuquerreña en la zona productora de la variedad en Toca.

Las necesidades hídricas del cultivo de papa (en un ciclo fenológico de 100 a 120 días) son de 500 a 650 mm de agua por ciclo del cultivo, lo cual equivale a un volumen de 5.000 a 6.500 m³/ha (Cámara de Comercio de Bogotá, 2015). Se requieren de 0,35 a 0,8 m³ de agua para producir 1 kg de materia seca de tubérculos (Higuera Sánchez & Jaimes Hernández, 2019; Steduto et al., 2012). Las variedades modernas son sensibles a la falta de agua en el suelo y necesitan una irrigación frecuente y superficial (FAO, 2008). Aunque no se cuenta con información específica sobre este tema para la variedad Tuquerreña, se presenta aquí el contexto del cultivo en la zona de producción.

En el municipio de Toca, la mayoría de agricultores obtienen el agua que utilizan en sus casas y sistemas productivos de nacederos o fuentes naturales. El páramo La Cortadera abastece de líquido al municipio y por esta razón se ha buscado delimitarlo y convertirlo en Parque Regional Natural, y de paso posicionar la importancia de preservar el páramo (Centro de Estudios en Ecología Política [CEEP], Pontificia Universidad Javeriana [PUJ] & Universidad del Rosario, 2014). Aparte de esto, existen conflictos debido a inconformidades por el uso y el manejo del recurso hídrico con fines productivos y económicos, y el control de licencias de agua otorgadas a algunas empresas. Existe una reclamación contra empresas productoras de flores de Toca por su consumo de altas cantidades de agua. Según el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) de Toca para el periodo 2012-2015, estas empresas deben proveerse del río San Francisco, pero los agricultores de la parte alta señalan que el sistema de riego de la vereda es el que suministra el agua para las flores. Esta situación afecta a los agricultores, especialmente en época de verano (CEEP, PUJ & Universidad del Rosario, 2014).

En el páramo de La Cortadera predominan el monocultivo de papa y las áreas compuestas de pastos y diferentes cultivos. En la vereda de Tuaneca (Toca), estos cultivos por lo general se desarrollan a pequeña o mediana escala, en una dinámica de minifundio, en fincas de 1 a 5 ha. Esta es una de las zonas de Colombia con mayor número de minifundios (predios de 1 a 10 ha) por encima de los 3.000 m s. n. m. Existen parcelas en zonas altas y bajas del municipio, en las que el ganado pasta de forma rotativa y en las que, en algunos casos, los cultivos se rotan entre parcelas. Las herramientas principales son el tractor, el azadón, las motobombas y los cañones de riego. La mano de obra de este sistema por lo general es asalariada o familiar, aunque en algunos casos aún se acude a la dinámica de fuerzas prestadas (una persona le colabora a su vecino a cambio de recibir, posteriormente, ayuda en sus cultivos). También existe la figura del contrato, que consiste en contratar a una persona para una labor por un dinero determinado sin especificar el tiempo en el que debe hacer el trabajo. En la ganadería, la mano de obra es netamente familiar (CEEP, PUJ & Universidad del Rosario, 2014).

En Toca, los predios con nacederos de agua han adquirido un valor económico potencial, ya que suministran el líquido a pobladores, cultivos y animales localizados en fincas de menor altura. Cabe destacar que, desde el inicio de la década de 2000, las administraciones municipales, impulsadas por la Ley 99 de 1993, han comprado predios en las zonas altas con nacederos de agua. De esta manera el páramo está pasando de ser un recurso de uso común a ser un bien público, aunque en otras áreas se está privatizando (CEEP, PUJ & Universidad del Rosario, 2014).

La papa de la variedad Tuquerreña tiene unos estándares de calidad muy altos, que exigen lavar el tubérculo para poderlo seleccionar. Cuando la papa no pasa por este proceso, los comerciantes la compran a menor precio. El páramo, como lugar de trabajo, también ha sido objeto de un proceso de adaptación para adecuarlo a la necesidad de conducir el agua a las zonas de labor. En veredas como Tuaneca, el líquido se distribuye a través de zanjías. Adicionalmente, en algunos lugares se han dispuesto distritos de riego para tecnificar el sistema agropecuario. La construcción de represas superficiales para la obtención de agua se ha ido multiplicando gracias a iniciativas del gobierno nacional, con el fin de crear estos distritos. En Toca, los habitantes locales reconocen la gran importancia del páramo no solo como productor de agua, sino también como paisaje, aunque esto último implica desmontar los sistemas productivos que les dan el sustento (CEEP, PUJ & Universidad del Rosario, 2014).

La red hidrográfica del municipio de Toca está compuesta por un gran número de nacimientos de agua, situados sobre todo en las veredas de Chorrera, Centro Arriba, Tuaneca Arriba y Leonera. Gracias a su homogénea distribución, el 95 % de los predios cuenta al menos con un reservorio (Alcaldía de Toca, 2004). Estos reservorios se destinan a la producción agrícola principalmente.

Uno de los cambios que ha presentado el sistema de producción es el incremento de la superficie de riego. Con esta ampliación se ha buscado hacer frente a la irregularidad de los ciclos de lluvias. Fue promocionada por la Federación Nacional de Cultivadores de Cereales (Fenalce) para facilitar la apertura de reservorios de agua en las fincas y favoreció la diversificación de la cebada. Es común que los productores tengan reservorios de máximo 2.500 m³ de capacidad y motobombas para el riego, aunque algunos agricultores carecen de esta última herramienta y deben alquilarla (Osorio & Bucheli, 1996).

En la vereda de Tuaneca, los reservorios implementados por algunos productores en sus predios se usan principalmente para aplicar riego o para lavar el tubérculo después de la cosecha. Esta situación ha propiciado el uso de sistemas de riego por aspersión en los cultivos de papa de la región (figura 32). La aplicación del riego depende del comportamiento de las lluvias durante el ciclo de siembra de la variedad. El sistema, por tanto, es un complemento de las lluvias y se utiliza sobre todo en los cultivos que se siembran en los meses de octubre y noviembre.



Foto: Ruy Vargas

Figura 32. Riego por aspersión en cultivo de papa de la variedad Tuquerreña, municipio de Toca, Boyacá.

Frente a la escasez y el costo del agua para riego, se han propuesto desarrollos para optimizar el uso del recurso. En el segundo semestre de 2016, en el marco del proyecto “Estrategias de producción sostenible de papa en el altiplano cundi-boyacense y Nariño, que permitan la obtención de un producto inocuo y de mínimo impacto” (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica], 2017), se determinó que se puede optimizar el agua de un sistema de riego tradicional por aspersión de 15,21 mm/hora (152,1 m³/ha/hora) si la tasa de aplicación se reduce a 3,4 mm/hora mediante el uso de aspersores de bajo consumo tipo Xcel-Wobbler (figura 33). Esto se traduce en un ahorro de 34.000 L/ha de agua por cada hora de riego en el cultivo. Se deben promover mejores prácticas de riego para un aprovechamiento más eficiente del recurso agua, prácticas que impliquen un mínimo de erosión en las tierras cultivadas y que redunden en una mayor productividad agrícola y pecuaria (Alcaldía de Toca, 2004).



Foto: Ruy Vargas

Figura 33. Sistemas de riego en cultivo de papa de la variedad Tucarreña, municipio de Toca, Boyacá. *Izquierda*, riego por aspersión con dispositivos tipo Xcel-Wobbler. *Derecha*, riego por aspersión tradicional.

Manejo y control de plantas arvenses

Las especies denominadas *malas hierbas* se pueden clasificar de diversas formas de acuerdo con el hábitat en el que se desarrollan, las características de su ciclo biológico o su morfología:

- *Por su hábitat*: las que invaden otros cultivos, ruderales o adaptadas a zonas marginales, y las acuáticas, que reducen la circulación y aumentan las pérdidas de agua en canales de riego o drenaje.
- *Por su ciclo de vida*: anuales, bianuales, perennes y parásitas.
- *Por su forma de reproducción*: sexual y asexual.
- *Por su constitución*: de hoja ancha, de hoja angosta y ciperáceas.

Las relaciones de competencia entre los cultivos y las malezas están determinadas por la densidad del cultivo, las condiciones ambientales y los periodos de competencia. En la papa, para la mayoría de variedades de consumo en fresco, el periodo crítico de competencia con plantas arvenses o malezas se produce alrededor de 60 días después de la siembra (Herrera Heredia et al., 2000). El control o manejo de malezas se realiza con dos métodos principales:

- *Control químico*: se emplea normalmente en los primeros estados del cultivo, de 25 a 30 días después de la emergencia. Los herbicidas de mayor demanda para el control de malezas en el cultivo de la papa son los postemergentes. Para el caso de la variedad Tuquerreña, se emplean principalmente herbicidas selectivos como cletodine, 2,4-d éster, metribuzina y linurón. También se aplican herbicidas en el estado de preemergencia, como el glifosato.
- *Control mecánico*: generalmente se realiza durante las labores de desyerbe y aporque, mediante el uso del azadón. Este método disminuye la necesidad de acudir al control químico.

En la tabla 9 se relacionan las principales malezas del cultivo de papa en Colombia. Las malezas más comunes en Toca, en el sistema productivo de la variedad Tuquerreña, son el rábano, el pasto kikuyo, el ray-grass, el alpiste, la gualola y el *pelo e' burro*. Los periodos críticos de competencia por malezas son manejados adecuadamente por los agricultores.

Fertilización y aplicación de enmiendas

Por las condiciones naturales de los suelos de la zona y por los requerimientos del cultivo, el sistema de producción de la Tuquerreña en la región de Toca es altamente dependiente de correctivos para la acidez alta y de los elementos que suministran los fertilizantes para que sean absorbidos por la planta.

Tabla 9. Principales malezas del cultivo de papa

Nombre científico	Nombre común	Altitud (m s. n. m.)	Nivel de persistencia	Agresividad con respecto a la papa	Tipo de reproducción
<i>Taraxacum officinale</i>	Diente de león	2.500-3.000	Media	Baja	Semillas
<i>Chenopodium álbum</i>	Cenizo	2.500-2.800	Media	Media	Semillas
<i>Polygonum segetum</i>	Gualola	1.800-2.600	Alta	Media-alta	Semillas
<i>Amaranthus hybridus</i>	Bledo	2.000-2.800	Alta	Alta	Semillas
<i>Pennisetum clandestinum</i>	Kikuyo	2.500-2.800	Alta	Alta	Semillas
<i>Raphanus raphanistrum</i>	Rábano	2.500-2.800	Alta	Media-alta	Semillas
<i>Brassica spp.</i>	Nabo, alpiste	2.500-2.800	Alta	Media	Semillas
<i>Lolium multiflorum</i>	Ray-grass anual	2.500-3.000	Alta	Alta	Semillas
<i>Rumex crispus</i>	Lengua de vaca	2.500-3.100	Alta	Alta	Semillas
<i>Sonchus oleraceus</i>	Cerraja	2.000-2.800	Media	Media	Semillas
<i>Dactylis glomerata</i>	Pasto azul	2.500-3.000	Alta	Alta	Semillas

Fuente: Herrera Heredia et al. (2000)

Plan de fertilización

Como toda especie vegetal, la papa requiere mínimo 16 elementos esenciales. Unos los obtiene del agua o el dióxido de carbono, como carbono, oxígeno, hidrógeno, y otros los toma del suelo, como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, fósforo, azufre, silicio, cloro, hierro, boro, manganeso, sodio, zinc, cobre, níquel, molibdeno. Cada uno es esencial debido a que cumple una función específica durante el desarrollo de la planta de papa. Algunos forman la parte orgánica de la planta, otros son importantes para el almacenamiento de energía y el mantenimiento de la integridad de la estructura, y otros para la transferencia de electrones, entre otras funciones (Taiz & Zeiger, 2003). Si la planta no los encuentra en las cantidades requeridas, su rendimiento se ve afectado. Un

elemento en la cantidad suficiente influye de manera positiva en el crecimiento, siempre y cuando otro elemento no lo limite. Esta relación se conoce como *ley del mínimo* (Mengel & Kirkby, 2000). Es necesario, por tanto, adicionar aquellos elementos que estén en condición deficitaria. Normalmente se usan materiales fertilizantes de origen orgánico, sintético o mineral, con el fin de suplir estos déficits y lograr altos rendimientos del cultivo

No es común hacer análisis de aire para determinar si la disponibilidad de carbono, oxígeno e hidrógeno está limitando el crecimiento, dado que estos elementos son abundantes en la atmósfera. Sin embargo, aquellos elementos obtenidos del suelo sí pueden presentar déficits por factores como suelos con condición salina o una limitada absorción de nutrientes debido a un pH muy ácido o muy alcalino (Castro Franco & Gómez Sánchez, 2010).

En este sentido, el análisis de suelos es una herramienta muy útil para determinar la presencia de los elementos nutrientes en el suelo o la existencia de factores limitantes. El análisis permite identificar déficits que se pueden suplir con fertilizantes o factores que afectan la disponibilidad de los elementos nutrientes, como la acidez, que se puede corregir con el encalado.

Existen otras herramientas de diagnóstico como análisis de nutrientes en tejido vegetal y análisis de savia. Gómez et al. (2017) indican que esta técnica diagnóstica permite ajustar oportunamente la nutrición vegetal nitrogenada y potásica.

El plan de fertilización se refiere a la organización o planeación que hace el técnico o el agricultor para decidir cómo, cuándo y con qué se abonará el cultivo. Muchos agricultores lo hacen basados en sus conocimientos empíricos, pero se recomienda tomar también como base los resultados del análisis de suelo e información técnica del cultivo, como curvas de absorción de nutrientes y requerimientos del cultivo. Todo esto permite definir qué nutriente debe aportarse, cuál debe ser su dosis, con qué fuente fertilizante se va a suministrar y en qué momento se aplicará.

Lo aconsejable para enmiendas como cal dolomita, cal agrícola, cal apagada, roca fosfórica e incluso cal viva es incorporarlas mínimo de 30 a 40 días antes de la siembra. Las enmiendas calcáreas se aplican para disminuir la acidez del suelo. Esta disminución es un proceso que tarda tiempo y que requiere la presencia de agua (suelo húmedo) para que la reacción pueda llevarse a cabo.

El objetivo es que en el momento de la siembra existan unas mejores condiciones de acidez, más adecuadas para la germinación y emergencia de las plantas de papa.

Se recomienda también la aplicación de material orgánico, para mejorar las propiedades físicas y biológicas y para aportar carbono y nitrógeno. Es importante, sin embargo, que estos materiales estén correctamente compostados, con una baja o nula carga de patógenos. En los últimos años se han incrementado los problemas fitosanitarios debido a la aplicación de materiales orgánicos.

Las cantidades de elementos minerales extraídos por el cultivo de papa dependen directamente del rendimiento y la concentración de nutrientes, aspectos que a su vez están condicionados por la zona y la época (tabla 10) (Herrera Heredia et al., 2000).

Tabla 10. Absorción de nutrientes por tonelada de papa producida (kg de nutrientes/t)

Elementos	Extracción por parte de los tubérculos	Extracción por biomasa producida
N	3,2	4,5 a 5,9
P ₂ O ₅	1,6	1,5 a 2,0
K ₂ O	6,0	8,3 a 10
CaO	0,2	2,7 a 4,7

Fuente: Villamil (2005)

Los elementos más importantes en el cultivo de papa son nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio. El 50% del total de la absorción de estos nutrientes ocurre entre la emergencia y el inicio de floración (Villamil, 2005).

Es importante mencionar que los suelos paperos han cambiado las tendencias a lo largo del tiempo. En primer lugar, se ha dado un aumento del porcentaje de suelos con contenidos medios y altos de fósforo, potasio, materia orgánica y azufre. En segundo lugar, se registra una menor frecuencia de suelos con contenidos medios y altos de magnesio, situación que explica las respuestas positivas a la aplicación de fertilizantes magnésicos en cultivos de papa de diferentes regiones. Por otro lado, el comportamiento del pH y el calcio se ha mantenido estable (Guerrero, 2005).

La papa se cultiva en suelos con características ándicas especiales, que tienen su origen en materiales volcánicos. Son suelos con una concentración de materia orgánica de media a alta, altamente fijadores de fosfatos, con bajas densidades aparentes, texturas de francas a arcillosas, con presencia de arcillas amorfas (alófanas e imogolita) y con alta retención de agua y complejos de aluminio-humus. Por lo general, su capacidad de intercambio catiónico (CIC) es de media a alta, pero responden favorablemente a la aplicación de fertilizantes fosfóricos y potásicos, secundarios y menores (Calderón, 2004, citado por Ríos Quinocha et al., 2010). La fijación extremadamente alta de fosfatos es propia de las arcillas alófanas, típicas de los Andisoles y de otros suelos asociados a cenizas volcánicas. Los óxidos de hierro y aluminio, tales como la gibbsita y la goetita, también pueden atraer y retener fuertemente los iones de fósforo.

En Toca y Siachoque, buena parte de los agricultores aplican fertilizante fosfórico (similar a la cal) a los suelos, en concentraciones de 40 a 50 % y en el momento de la siembra. El buen desarrollo de las plantas en los estados iniciales se debe más al fósforo y el potasio existentes en el suelo o a la fertilidad natural de este, que a lo aplicado con fuentes externas o fertilizantes (Herrera Heredia et al., 2000). El porcentaje restante de fertilizante se aplica mediante incorporación al suelo en el momento del desyerbe o primer atierre.

La aplicación de fósforo en el momento de la siembra se hace en atención a factores como la solubilidad de la roca fosfórica fuente, que puede ser inferior al 10 % en citrato (Truong, 2007); la movilidad del elemento en el suelo, y la forma de absorción de la planta. El fósforo tiene una movilidad baja en el suelo y su absorción se lleva a cabo por difusión (Castro Franco & Gómez Sánchez, 2010), razón por la cual aún se debate la conveniencia de aplicar fósforo en el aporque. Elementos como nitrógeno, potasio y magnesio tienen mayor movilidad. El fraccionamiento de sus dosis en varias aplicaciones es efectivo para mejorar la respuesta fertilizante del cultivo y la productividad.

La papa extrae del suelo los nutrientes necesarios para su desarrollo, por lo cual estos elementos deben estar disponibles en las cantidades requeridas. Según la literatura, un rendimiento de 40 t/ha de papa demanda de cada hectárea de suelo 150 kg de N, 60 kg de P_2O_5 , 350 kg de K_2O , 90 kg de CaO y 30 kg de MgO (tabla 10). Los tubérculos absorben una buena cantidad de estos nutrientes y la biomasa aérea devuelve una importante cantidad al suelo (Villamil, 2005).

Clasificación de los elementos nutricionales

Los elementos nutricionales empleados principalmente por las plantas se clasifican en orgánicos (C, H y O₂) y minerales (mayores, secundarios y menores).

El nitrógeno (N) y su manejo

Después del agua, es el elemento más importante para el crecimiento de la planta de papa y en general para todos los cultivos. Es indispensable para el desarrollo de los vegetales, dada su abundancia en las biomoléculas de la materia viva (Azcón-Bieto & Talón, 2013), y para la síntesis de clorofila.

En el suelo, la mayor parte de este elemento corresponde a la fracción de nitrógeno orgánico presente en los materiales orgánicos y no es asimilable por las plantas (Azcón-Bieto & Talón, 2013). De ahí la dificultad de establecer el potencial nutritivo de N en los suelos y la importancia de los procesos dirigidos a mineralizarlos con este elemento (procesos que dependen de la presencia de microorganismos). La participación del nitrógeno en el total del peso seco de la planta es de 1,5 a 5 %.

Aplicar en exceso este elemento puede tener consecuencias negativas en el rendimiento del cultivo. En casos de exceso, la planta destina la mayor parte de la producción de fotoasimilados (azúcares) al crecimiento de la parte aérea y reduce la translocación a los tubérculos. Los efectos negativos son un incremento de las enfermedades (Mitchell et al., 2003) o un mayor ataque de las plagas (Huber et al., 2012).

En las condiciones de los Andes, el nitrógeno y el potasio son los dos nutrientes que la planta de papa extrae del suelo en mayor cantidad (Gómez & Torres, 2012). La planta toma el nitrógeno en forma de iones de amonio (NH₄⁺) y de nitrato (NO₃), y presenta sus mayores tasas de crecimiento cuando hay más abundancia de nitratos. Dado que el nitrógeno es un elemento muy volátil, su aplicación normalmente se fracciona en dos momentos: la siembra y el desyerbe. Las fuentes de este elemento más comunes para la fertilización de papa son urea, nitrato de amonio, sulfato de amonio, nitrato de calcio y fosfato diamónico.

El fósforo (P), importancia y manejo

Es un nutriente esencial para el crecimiento y el desarrollo del cultivo. No puede ser reemplazado por ningún otro elemento y es requerido por las plantas en una cantidad que equivale, aproximadamente, al 10 % del N y el K requeridos (Joiner et al., 1983). Este elemento promueve la formación y el crecimiento rápido de las raíces y tiene influencia directa en el número y el tamaño de los tubérculos (Herrera et al., 2000). Se encuentra disponible para la planta como ion fosfato y es absorbido preferentemente como H_2PO_4^- en suelos con pH inferiores a siete, y como el anión divalente HPO_4^{2-} en suelos básicos con pH superiores a siete (Azcón-Bieto & Talón, 2013).

El fósforo desempeña un papel fundamental en muchas moléculas y estructuras celulares. Una parte importante del fosfato de la planta se encuentra en forma iónica libre y, en la mayoría de plantas, se redistribuye fácilmente entre los órganos, acumulándose en las hojas jóvenes, las flores y las semillas en desarrollo (Azcón-Bieto & Talón, 2013).

En los suelos de los municipios de Toca y Siachoque se han acumulado altas cantidades de fósforo debido a las aplicaciones semestrales continuas que realizan los agricultores. Por tanto, es posible sustituir este elemento en la fertilización y aprovechar la reserva existente en el suelo durante algunos periodos o ciclos de cultivo y cosecha. (Herrera et al., 2000).

Independientemente de las fuentes utilizadas (superfosfatos, ácido fosfórico, fosfato de amonio y potasio), el P es relativamente insoluble y poco susceptible de lixiviarse. Además, es importante tener en cuenta el ciclo de mineralización e inmovilización del P, en el cual los microorganismos del suelo son fundamentales (Stevenson, 1986).

Las fuentes simples de fósforo disponibles en el mercado son el fosfato diamónico (DAP), las rocas fosfóricas parcialmente aciduladas y los fertilizantes en mezcla química o mezcla física.

El potasio (K), importancia y manejo

Junto con el fósforo y el nitrógeno, es el nutriente más absorbido por la planta en términos de cantidad, de ahí que sea el componente principal de los fertilizantes más comercializados. Este elemento, al igual que el N y el P, se redistribuye con mucha facilidad desde los órganos maduros a los órganos y

tejidos más jóvenes, dada su solubilidad y su baja afinidad con los ligandos orgánicos (Azcón-Bieto & Talón, 2013). Aunque no forma parte estructural de las plantas, está implicado en muchas de sus funciones, como la síntesis de almidón, la fotosíntesis, el transporte de azúcares, la activación enzimática y la regulación hídrica (Kalavati & Modi, 2012). Con su participación en estos procesos, determina la acumulación de materia seca y su transporte hacia los tubérculos. El potasio es el activador de más de 50 sistemas enzimáticos, y aunque en algunos casos puede ser sustituido (solo es necesario para el cambio conformacional de la apoenzima), es difícil encontrar un sustituto *in vivo*, dadas las altas concentraciones que esto demanda (Azcon-Bieto & Talón, 2013).

En el cultivo de la papa, el propósito de la fertilización potásica se orienta a incrementar el llenado de tubérculos. Por esto, cuando se fracciona la fertilización en dos aplicaciones, la mayor proporción de K debe aplicarse en el reabone, a diferencia del N, cuya mayor proporción se aplica en la siembra o emergencia del cultivo para promover el crecimiento vegetativo. Se debe tener cuidado, sin embargo, de no suprimir por completo uno de los dos elementos durante la fertilización. La planta de papa absorbe de manera similar ambos nutrientes a lo largo del tiempo.

En la nutrición de la papa, el K se destaca por ser el activador del mecanismo de la bomba de potasio o de agua de la planta. Además de su relevante papel en el llenado de tubérculos, el potasio es importante como inductor de la producción de osmolitos, los cuales regulan la apertura y cierre de estomas y con ello ayudan a la planta a resistir ataques de enfermedades y heladas. Según Herrera et al. (2000), el potasio es asimilado en grandes cantidades por la planta de papa y su deficiencia durante el periodo vegetativo disminuye el rendimiento. La tasa de asimilación de potasio en el cultivo es alta durante unas pocas semanas, desde después de la emergencia hasta el estado de máximo follaje. Se trata de un periodo relativamente corto, y por tal razón debe haber una buena disponibilidad del elemento.

De acuerdo con lo indicado por Herrera et al. (2000), es preferible aplicar el fertilizante potásico en la siembra, ya que las plantas absorben una buena proporción del elemento en etapas tempranas de crecimiento. Las bajas temperaturas reducen la disponibilidad del elemento y la absorción por parte del sistema radicular de la planta, razón por la cual, en tales condiciones, se debe incrementar la cantidad de fertilizante. En los suelos de zonas de páramo se incrementan las pérdidas de N y K y aumentan los procesos de inmovilización de P.

El potasio requerido para un óptimo crecimiento oscila entre el 2% y el 5% del peso seco aproximadamente (Marschner, 1986). El potasio, más que cualquier otro elemento, se ve afectado por deficiencia de aire y por carencia de agua (Barber, 1984). La cantidad absorbida por los cultivos es más grande que la de cualquier otro elemento mineral. El potasio controla el sistema enzimático, que es el que determina las tasas de fotosíntesis y respiratoria, el metabolismo de carbohidratos y la traslocación de ácidos orgánicos y de nitrógeno no proteico. Además, está catalogado como un activador primario de por lo menos 46 enzimas individuales (Joiner et al., 1983)

Elementos secundarios

Entre los elementos denominados *secundarios* se encuentran el calcio, el magnesio y el azufre. Es indispensable que el suelo tenga las cantidades de estos elementos que demanda el cultivo.

Calcio (Ca)

Desempeña un papel importante en la constitución de membranas celulares y de nuevas células. Como segundo mensajero en la respuesta al ambiente y a los estímulos hormonales, es fundamental para la resistencia contra plagas y enfermedades y para mantener la calidad de la planta. La mayor cantidad de calcio se utiliza para depurar microelementos y ácidos orgánicos, principalmente oxalatos (Joiner et al., 1983). La presencia de calcio incrementa la toma de otros iones; como el calcio permanece inmóvil en el suelo, debe incorporarse de manera uniforme en la zona de influencia de las raíces (el suelo), para asegurar el crecimiento rápido del cultivo. Su deficiencia se manifiesta como necrosis de tejidos (Taiz & Zeiger, 2003).

Magnesio (Mg)

Componente de la clorofila, es indispensable para la activación de carbohidratos e interviene en el metabolismo del fósforo. En las células vegetales, los iones de magnesio activan las enzimas de los procesos de respiración, fotosíntesis y la síntesis de ADN y ARN. Un síntoma característico de su deficiencia es la clorosis entre las venas filiales, que aparece primero en las hojas viejas. Con altos niveles de deficiencia, las hojas se amarillean y eventualmente se caen (Taiz & Zeiger, 2003). Está disponible en varias fuentes de fertilizantes (sulfato, nitrato, carbonato) y puede aplicarse vía edáfica o foliar en concentraciones de 1% a 20% (Durán, 1997). Las deficiencias de magnesio afectan más el crecimiento radicular que el de la parte aérea, lo cual conduce a un incremento de la relación vástago/raíz. Debido a su intervención en la síntesis de proteínas, su deficiencia se traduce en un incremento del nitrógeno no proteico (Marschner, 1986).

Azufre (S)

Actúa en la síntesis de proteínas, clorofilas y compuestos que confieren resistencia a la planta contra condiciones de estrés hídrico y estrés por temperatura. Este elemento forma parte de aminoácidos, vitaminas y hormonas; contribuye a la formación de proteínas, y estimula la asimilación de nitrógeno. La aplicación edáfica de S y Mg, como complemento a la de N, P y K, incrementa los rendimientos de la papa (Jiménez, 2017), pero se deben tomar como base los contenidos de S y Mg en el suelo y el desarrollo del cultivo. Es importante no excederse en las aplicaciones de P, como se hace en suelos derivados de cenizas volcánicas, ya que esto dificulta la toma del ion sulfato (Guerrero Barrantes & Tello Peramas, 2000) e induce una deficiencia de azufre. Fuentes comunes de S en fertilizantes disponibles en el mercado son el yeso, que contiene de 15 a 17 % de azufre; el sulfato de amonio, con 24 %; la sal de Epsom, con 13 %; la kieserita, con 23 %, la langbeinita, con 22 %; el sulfato de potasio, con 18 %; y los tiosulfatos, que tienen de 10 a 26 % de S (International Plant Nutrition Institute [IPNI], 2018).

Elementos menores

Los denominados *elementos menores* desempeñan papeles fundamentales en el metabolismo y el balance de otros nutrientes. Necesitan de máximo cuidado para garantizar su disponibilidad en las cantidades que requiere la nutrición de la planta.

Manganeso (Mn)

Los iones de manganeso (Mn^{2+}) activan varias enzimas de las células vegetales, en particular descarboxilasas y deshidrogenasas involucradas en el ciclo del ácido tricarbónico. El manganeso favorece la síntesis de las clorofilas, aumenta la disponibilidad de calcio y magnesio, es reductor del hierro y ayuda a la planta en el proceso de asimilación de nitratos. La principal función del manganeso está relacionada con la reacción fotosintética, en la cual se produce oxígeno a partir de agua (Taiz & Zaiger, 2003). En el cultivo de papa, las aplicaciones de Mn ayudan a incrementar la materia seca y favorecen la absorción de calcio, aunque tienen antagonismo con el cobre (Pérez et al., 2008).

Zinc (Zn)

Promueve el metabolismo vegetal, es precursor de la formación de auxinas y otras hormonas de crecimiento e interviene en el metabolismo del nitrógeno. Su papel mas importante lo desempeña en la formación de triptófano. Plantas con déficit de zinc también tienen concentraciones deficientes de auxinas (Mastalerz, 1977).

Boro (B)

La concentración de boro en la plantas oscila entre 3 y 350 ppm y el crecimiento normal requiere de 20 a 100 ppm (Mastalerz, 1977). Este elemento es muy importante en los procesos de floración y formación de frutos (en el caso de la papa, de las semillas sexuales), división celular, metabolismo del nitrógeno y de carbohidratos, movimiento hormonal, traslocación de azúcares, metabolismo de sustancias pécticas. Es constituyente de la membrana celular y es el único microelemento que se lixivia en el suelo (Joiner et al., 1983).

Los productores de papa Tuquerreña de Toca hacen un manejo tradicional del cultivo, incluso en un aspecto tan crucial como el de la fertilización. No es habitual que realicen análisis de suelo, pero a lo largo de los años y por conocimiento empírico han aplicado fertilizante en las fases de siembra y desyerbe. La fertilización fraccionada de esta variedad ha mostrado ser favorable para la obtención de mayores rendimientos (Huertas & Ramírez, 1985).

Capítulo VIII

Cosecha

El potencial productivo de la variedad Tuquerreña es de 20 t/ha (Núñez, 2011). Sin embargo, por diferentes factores, este potencial no se expresa plenamente. En los nichos productivos, la recolección de papa de la variedad Tuquerreña depende de los precios del mercado y se lleva a cabo una vez el tubérculo ha alcanzado un punto de maduración que lo habilita para el comercio. Este punto de maduración se reconoce porque la piel se ha fortalecido y se encuentra adherida firmemente al tubérculo. No se desprende al hacer una leve presión con los dedos o al rozarla con cualquier objeto de superficie rugosa. El tubérculo también puede cosecharse cuando alcanza su madurez fisiológica. Una práctica que no se realizaba hace unos años, pero que se ha venido implementando paulatinamente en la zona, consiste en remover o quitar el follaje (la rama) de la planta (soquearla), para inducir su madurez comercial cuando los precios están en alza. Si los precios no son favorables, el productor permite que la planta cumpla con su proceso completo de maduración, para almacenar un tubérculo con mejores condiciones fisiológicas.

La cosecha o *sacanza* (término empleado en la zona para referirse a la recolección de la papa) implica sacar manualmente el tubérculo del suelo con la ayuda de herramientas. Se emplea un instrumento conocido en la región como *gancho* (figura 34). Este gancho es una herramienta que se fabrica a partir de una hoja de resorte de vehículos o de una varilla de acero, a la cual se le da forma de uña o garra para minimizar los daños al tubérculo en el momento de la cosecha. Es importante hacer cateos durante el desarrollo del cultivo para estimar el rendimiento y verificar la calidad y la sanidad (ausencia de plagas en los tubérculos) del producto que se va a cosechar.



Foto: Jorge Álvarez-Bernal

Figura 34. Herramientas (ganchos) usadas para la cosecha manual de papa de la variedad Tuquerreña, Toca, Boyacá.

La recolección manual se hace con azadón (implemento tradicional y característico, ampliamente utilizado en la mayor parte de zonas productoras del país). En la mayoría de actividades de cosecha, se emplea principalmente el recurso humano familiar y de vecinos, en lo que se conoce como *convite*. Con el azadón, los trabajadores levantan el suelo para dejar al descubierto los tubérculos y luego proceden a extraerlos manualmente y colocarlos en bloques de a dos o tres surcos para su posterior empaque, pesaje y traslado al sitio de lavado. Otra manera de cosecha consiste en extraer los tubérculos a medida que se remueve el suelo para colocarlos directamente en una fibra y luego transportarlos al lugar de lavado. Una vez realizado el lavado, los tubérculos se clasifican por tamaño y calidad. Las pérdidas derivadas de este proceso de recolección se deben a los cortes que sufre el tubérculo por acción de la herramienta utilizada para remover el suelo.

Los rendimientos de producción obtenidos por los agricultores de la región son variables debido a la calidad de la semilla y oscilan entre 8 y 25 t/ha. En la zona, se puede superar el potencial reportado para la variedad, que es de 20 t/ha (Ñústez, 2011). Las mayores producciones se registran en lotes nuevos o que han tenido periodos de reposo amplios (mayores de tres años), según reportan los productores y profesionales encuestados.

Según productores y asistentes técnicos de la zona, es posible incrementar la producción hasta cifras de 25 a 30 t/ha. Esto, según indican, puede lograrse con la implementación de un paquete tecnológico adecuado, que contemple la utilización de semilla certificada, fertilización con base en análisis de suelo para manejo óptimo de nutrición, buenas prácticas agrícolas, aseguramiento del recurso hídrico y manejo integrado de plagas y enfermedades.

Capítulo IX

Poscosecha y valor agregado

Los tubérculos de papa de la variedad Tuquerreña normalmente se almacenan luego de la cosecha, ya sea por periodos iniciales de máximo un mes (cuando se destinan para consumo en fresco) o bien por periodos de tres meses (cuando se destinan para semilla). Cabe anotar que, debido a que los tubérculos de esta variedad tienen propiedades de larga duración en poscosecha, se presentan situaciones en las que, al cabo de un almacenamiento largo, si la condición comercial es favorable, los productores llevan la papa a plaza de mercado para el consumo en fresco. Con respecto a esto último, es importante tener en cuenta que, en ocasiones, el almacenamiento de Tuquerreña se hace como respuesta a una condición de sobreoferta del producto en el mercado (bajos precios), para disminuir pérdidas económicas.

De cualquier manera, una vez cosechado el tubérculo, se debe tener presente un fenómeno fisiológico y bioquímico conocido como *madurez*. Desde el punto de vista del desarrollo vegetal, este fenómeno implica una serie de procesos bioquímicos, hormonales, enzimáticos, anatómicos y biofísicos, los cuales definen la calidad del producto, la brotación de las yemas y las características de la nueva generación de plantas en caso de que el tubérculo se almacene como futura semilla.

Lavado y clasificación

En los municipios de Toca y Siachoque, una vez cosechados los tubérculos, y antes de ser empacados, los productores tienen dos opciones para el beneficio o lavado de la papa. La primera consiste en lavarlos en la misma finca y la segunda en llevarlos a una lavadora de papa cercana, para realizar el beneficio. Los tubérculos limpios se seleccionan mediante observación visual (se verifica que estén libres de daño mecánico, de plagas o que no tengan defectos en la coloración morada propia de la variedad). Los tubérculos con predominio del color crema se conocen como *palomas* y son retirados ya que esta pigmentación es atípica y reduce su precio hasta en un 50 %. También se clasifican por tamaños en la lavadora, haciendo pasar los tubérculos por una banda con agujeros de diámetros diferentes. Los tubérculos caen en diferentes costales para que se sequen y para apilarlos posteriormente (figura 35).



Fotos: Jorge Álvarez-Bernal y Berssy Tovar

Figura 35. Proceso de acopio, lavado, clasificación y empaque de papa de la variedad Tuquerreña en la vereda Centro Arriba del municipio de Toca, Boyacá. a. Estado inicial al llegar al punto de lavado; b. Ingreso a la banda transportadora; c. Lavado y selección de los tubérculos; d. Segmento de la banda transportadora y clasificadora; e. Tubérculos *paloma* con predominio de color crema; f. Pesaje y estandarización del contenido de los bultos; g. Bultos de papa lavada y apilada listos para ser subidos al transporte que los llevará a Corabastos.

Una vez realizado el proceso de lavado, selección y clasificación, la papa se empaca y se pesa en costales con capacidad de 50 kg. Se apila y se deja en proceso de secado para evitar la aparición de materiales fungosos o bacterianos mientras llega al consumidor final. Este proceso se lleva a cabo bajo condiciones de luz difusa y al aire libre para evitar el verdeamiento. Una vez el material está seco, se embarca en el transporte para llevarlo a los centros de comercialización.

Durante la fase de clasificación, la papa se clasifica en dos categorías según el tamaño: la pareja (figura 36a) y la gruesa (figura 36b). La pareja se destina al mercado local, en el que también se comercializa la papa denominada *paloma*. La gruesa se envía a Bogotá, donde se comercializa principalmente en las plazas mayoristas.

En algunas plazas de mercado, el producto se prepara para exhibirlo con un grado de presentación adecuado; en otras, simplemente se muestra a los compradores tal como se descarga del camión (figura 36).



Fotos: Jorge Álvarez-Bernal

Figura 36. Presentación de tubérculos de papa de la variedad Tuquerreña, en bultos de 50 kg, tal como se comercializan en centros de acopio y mercados locales. a. Tubérculo de categoría “pareja”; b. Tubérculo de categoría “gruesa”.

Mercados especializados

El mercado de papa de la variedad Tuquerreña ha comenzado un proceso de especialización, que conviene mucho a los productores de Boyacá y en especial a los agricultores de Toca y Siachoque. Los consumidores finales cada vez son mas exigentes en términos de calidad y presentación del producto, y es así como la oferta ha venido desarrollando la tendencia a presentarla por calidades (tamaños) y a empacarla según las necesidades o requerimientos de los clientes en las diferentes ciudades del país.

En el municipio de Toca, por ejemplo, se está incursionando en la oferta de papas *gourmet*, que son papas pequeñas, conocidas como *riche*, que normalmente no se recogían del lote durante la cosecha. Estas papas, empleadas ahora por algunos restaurantes, se empacan y se ofertan en almacenes de cadena, lo cual le da valor agregado al producto y lo posiciona en un mercado cada vez más competido. Se hacen procesos de selección más rigurosos en cuanto a calidad y apariencia, en los cuales se excluyen tubérculos afectados por daños mecánicos o por ataque de plagas (figura 37). La finalidad es ofertar un producto diferenciado y de excelente calidad.



Foto: Jorge Álvarez-Bernal

Figura 37. Clasificación y selección de tubérculos de tamaño pequeño, destinados a comercializarse bajo la categoría *gourmet*. a. Entrada de los tubérculos a la bandeja de selección y clasificación; b. Operario en la labor de selección y clasificación; c. Tubérculos seleccionados, clasificados y listos para comercialización.

Sobre el mercado de papas pequeñas, cabe decir que en Toca existe un centro de acopio, comercialización y generación de valor agregado en el que, a diferencia del producto que sale para plazas de mercado locales, Corabastos y otras centrales mayoristas en Bogotá, la papa Tuquerreña se divide por tamaños luego del proceso de lavado, selección y clasificación. Esta papa se dirige a un mercado especializado, que pide un producto con un mejor proceso de selección y clasificación. El proceso en este centro de acopio da como resultado un producto final seleccionado, clasificado, lavado, diferenciado, empacado y listo para ser transportado (figura 38). Este mercado especializado funciona por medio de alianzas con almacenes de grandes superficies, cuyas marcas diferencian el producto desde el origen.



Foto: Jorge Álvarez-Bernal

Figura 38. Papa Tuquerreña lista para ser comercializada en almacenes de grandes superficies. a. Varias presentaciones de papa Tuquerreña para los mercados de grandes superficies; b. Presentación de papa tipo *riche* para mercado especializado; c. Papa Tuquerreña lista para comercialización en volúmenes variados según la casa comercializadora.

El tubérculo de la variedad Tuquerreña presenta un porcentaje de materia seca de 24 % a 25 % (Núñez, 2011). La variedad, en el presente, no es objeto de procesos de agroindustrialización o de transformación conocidos. Por excelencia, es una papa para consumo en fresco, que requiere de estudios detallados en aspectos de transformación o agroindustrialización para poder explotar al máximo su potencial.

Capítulo X

Indicadores económicos

En Colombia, se producen cerca de 3,1 millones de toneladas de papa, cosechadas en 141.300 hectáreas y con un rendimiento promedio cercano a las 22 t/ha (FAO, 2019). Desde el punto de vista social, la papa vincula aproximadamente a 100.000 productores y genera alrededor de 264.000 empleos totales, de los cuales aproximadamente 75.000 son empleos directos y 189.000 indirectos (MADR, 2018). Según área cultivada, los productores se clasifican en pequeños (cultivan menos de 3 ha), medianos (cultivan de 3 a 10 ha) y grandes (cultivan más de 10 ha). Se estima que 85 % de la producción de papa sale de los pequeños productores, 10 %, de los productores medianos, y 5 %, de los productores grandes (Superintendencia de Industria y Comercio, 2011).

La producción de papa contribuye con un 3,3 % al producto interno bruto (PIB) agropecuario del país y representa uno de los principales rubros de producción para departamentos como Cundinamarca, Boyacá y Nariño y para 283 municipios (MADR, 2018). Se estima que aproximadamente 93 % de la papa en Colombia se destina al consumo en fresco y 7 % al procesamiento industrial, y se calcula un consumo per cápita promedio de 57 kg/año (Berdugo, 2018). Según cálculos del balance alimentario de 2017, la papa aporta cerca de 2 % al consumo de calorías (FAO, 2020) y representa 2,2 % del gasto en alimentos de los colombianos (DANE, 2020).

Comercialización y mercadeo de la papa

La producción de papa en Colombia se presenta en un rango altitudinal de 2.000 a 3.500 m s. n. m. y para uso comercial se cultiva entre 2.500 y 3.000 m s. n. m. (MADR, 2018). Cundinamarca es el mayor departamento productor (40 % del total nacional), seguido de Boyacá (25 %) y Nariño (17 %). Otros departamentos productores son Antioquia, Cauca, Santander y Norte de Santander (MADR, 2019b).

Según el diagnóstico realizado en el Acuerdo de Competitividad de la Papa, el proceso de comercialización es altamente ineficiente debido al elevado número de niveles de intermediación y a que no existe una agregación de valor significativa en el proceso. Con frecuencia, en este proceso solo se cumplen las funciones básicas de acopio, transporte y distribución (MADR, 2010).

En primer lugar, el acopiador rural desempeña la función de comprar y agrupar cantidades de papa provenientes de varios productores de una región para entregarlas posteriormente a otros comercializadores por medio de los camioneros. El camionero transporta el producto desde la región de producción hasta otros lugares de distribución en pueblos o ciudades. Lo entrega a comercializadores mayoristas o minoristas, y a cambio de su servicio cobra una comisión que depende de la cantidad transportada. En la comercialización de la papa, el mayorista constituye el principal eslabón de la estructura dado que concentra altos volúmenes del tubérculo y tiene un mayor poder para fijar los precios de compra y venta. Este último actor generalmente se ubica en las centrales mayoristas de las principales ciudades del país y desde allí vende a otras plazas públicas, galerías, instituciones y tiendas de barrio. Los comercializadores de estos últimos sitios, por su escala de comercialización más reducida, actúan como distribuidores minoristas y se encargan de la venta directa a los consumidores en las cantidades, presentaciones y empaques requeridos por estos últimos. En los últimos años, se ha hecho más frecuente la comercialización en almacenes de cadena, grandes superficies y supermercados, los cuales ofrecen al consumidor una gran diversidad de productos alimentarios y no alimentarios y concentran una buena porción del mercado minorista. En este canal, es frecuente que la comercialización se haga por medio de productores e intermediarios específicos, los cuales se encargan de acopiar y colocar el producto en las bodegas o en los diferentes puntos o almacenes de distribución.

Respecto a la agregación de valor, en los últimos años se ha hecho más frecuente la comercialización de papa lavada, seleccionada, clasificada por tamaños y empacada. Estas labores están siendo realizadas por asociaciones de productores, por distribuidores minoristas o por supermercados e implican un mayor valor de venta del producto al consumidor, pues el precio debe incorporar los costos de lavado y empaque, las pérdidas por desecho que se dan en la selección del producto y las ganancias o utilidades de quien desarrolla la labor.

Un análisis de los márgenes de comercialización presentado en el Plan Sectorial de la Papa (Fedepapa, 2017) indica que, del valor de venta final al consumidor de papa sin lavar, al agricultor le queda 59 %, al mayorista 6 % y al minorista o tendero 35 %. En el caso de la papa lavada y empacada, al agricultor le queda 51 % del precio al consumidor, al mayorista 4 %, al lavador-empacador 19 % y al supermercado 26 % (cuando participa en lugar del tendero).

Los porcentajes relativamente altos de tenderos y lavadores-empacadores se explican por las pérdidas de papa de desecho (15 % a 20 %) que se presentan en la venta fraccionada de pequeños volúmenes (en el caso de tenderos) y por los costos de selección y adecuación (cuando la papa se vende lavada y empacada) (Fedepapa, 2017).

De acuerdo con cifras de la Federación Colombiana de Productores de Papa (Fedepapa) citadas por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) (2017a), en el país existen cerca de 250 variedades de papa y de estas unas 30 son comerciales. Las más importantes son la Pastusa Suprema, la Diacol Capiro, la Ica Única, la Parda Pastusa, la Ica Puracé, la Tuquerreña y la Roja Nariño.

Aunque la papa sin lavar representa el mayor porcentaje del producto comercializado en el país, se observa un crecimiento importante de papa con valor agregado en términos de limpieza con lavado, cepillado, selección, clasificación y empaque (MADR, 2010), como sucede, principalmente, con el caso de la variedad Tuquerreña.

La Tuquerreña es una variedad de papa nativa muy reconocida en el mercado de Bogotá, en donde se le conoce con el nombre de *sabanera*. Como se mencionó anteriormente, es la única variedad cultivada en el país que los agricultores pueden almacenar luego de la cosecha en óptimas condiciones para el mercado durante unos tres meses. Esta situación favorece a los productores, ya que les permite regular la oferta en busca del precio de venta de cosecha más favorable (Herrera Heredia et al., 2000).

Las principales zonas de producción de la variedad Tuquerreña se encuentran en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, y su principal punto de comercialización es Corabastos (Bogotá), desde donde se distribuye a otros puntos de la ciudad. La variedad tiene una demanda consolidada en la capital debido a su calidad culinaria y a que forma parte de platos típicos del altiplano cundiboyacense como el popular ajíaco santafereño (MADR, 2010).

Los costos de producción que se presentan a continuación se obtuvieron de talleres de consenso llevados a cabo en el periodo de marzo a mayo de 2017, con productores de Boyacá que habían cosechado la variedad Tuquerreña durante el último año. En estos talleres participaron productores de los municipios de Gámeza, Toca y Mongua.

Previo a los talleres de consenso, se hizo una caracterización de productores de papa Tuquerreña de Boyacá, con la que se pudo establecer que dichos agricultores por lo general manejan un sistema de producción tradicional (con bajo nivel de tecnificación), en el cual utilizan semilla propia, no hacen análisis de suelo, no llevan registros escritos de las actividades que realizan o de los costos del cultivo y cuentan con una asesoría técnica que proviene básicamente de las casas comerciales que distribuyen los agroinsumos. El destino de esta producción es el mercado en fresco.

La relación entre papa cosechada y semilla sembrada para este tipo de productores es en promedio de 16:1 y el rendimiento promedio es de 20 t/h. En 2017, el costo total de producción por hectárea fue de \$11.140.580 y el costo unitario de producción por kilogramo de \$557,5 (tabla 11).

Para los productores de papa Tuquerreña el costo de los insumos representa un poco más del 47 % de los costos totales. El costo de mayor relevancia es el de los fertilizantes (23,7 %), seguido del de los plaguicidas y coadyuvantes (11,2 %), la semilla (7,9%), los empaques (2,9 %) y los combustibles (1,3 %). En los talleres se pudo identificar que entre los fertilizantes predomina el uso de abonos compuestos de nitrógeno, fósforo y potasio para aplicación en suelo, de elementos menores para aplicación foliar, de gallinaza compostada como abono orgánico y de cal dolomítica como correctivo de acidez. En cuanto al manejo fitosanitario de plagas y enfermedades, se realizan entre cinco y nueve aplicaciones foliares y dos aplicaciones a la raíz. Se emplean diversos ingredientes activos y marcas comerciales de insecticidas y fungicidas para el manejo de plagas como la polilla y el gusano blanco y del hongo causante de la gota de la papa. El control de plantas arvenses combina la utilización de herbicidas y el desyerbe manual. La semilla corresponde a tubérculos que el productor selecciona por tamaño y sanidad de la cosecha anterior y que reserva como material de propagación. Los empaques corresponden a lonas de polipropileno con capacidad de 50 kg por bulto. Los combustibles corresponden a la gasolina utilizada para accionar la motobomba de riego. Este último se aplica en promedio tres veces durante el ciclo del cultivo según las condiciones de pluviosidad.

La mano de obra utilizada por hectárea se estima en 90,5 jornales en un ciclo de cultivo y representa el 33,5 % del costo total de producción. Tiene mayor representación la mano de obra que se emplea en la cosecha con respecto a la mano de obra utilizada en el resto de labores del cultivo. En 2017, el jornal de las actividades de precosecha se pagó en promedio a \$35.000; los trabajos de cosecha se pagaron por contraro e incluyeron las labores de recolección, selección y empaque de tubérculos.

Se contratan los servicios de alquiler de maquinaria e implementos para la preparación del terreno y se paga el transporte de insumos y de la papa cosechada hasta la puerta de la finca. En total, estos servicios representan 5,7 % del costo total de producción, de los cuales 3,0 % corresponde a transporte y 2,7 % a alquiler de equipos para la preparación del suelo (arado y rastrillado con tractor, arado de cincel y rastrillo, surcado con yunta de bueyes). Vale la pena anotar que esta estructura de costos no incluye el precio de transporte de la papa al sitio de venta, dado que este concepto presenta grandes variaciones que dependen de si el producto se vende en el mercado local, en la Central de Abastos o en otro mercado.

Los costos indirectos equivalen al 13,8 % del costo total de producción y dentro de ellos el alquiler de la tierra representa el 5,6 %, los intereses de capital el 5,4 %, la administración el 2,6 % y la depreciación de equipos y herramientas propias el 0,2 %. La mayor parte de los productores toman en alquiler los lotes de cultivo, pero cuando son propietarios consideran el costo de uso de la tierra por su valor de oportunidad de alquiler. Los intereses de capital se calculan tomando los costos directos hasta antes de la cosecha y aplicando una tasa de interés de 1,5 % mensual (por seis meses). Según información aportada por los productores en los talleres, la administración se calcula como el 3 % de los costos directos y la depreciación de equipos y herramientas se obtiene considerando una vida útil de cinco años para equipos como la estacionaria y de dos años para las herramientas.

En la tabla 11, se observan los rubros desagregados que conforman esta estructura de costos. La tabla diferencia los valores reportados por los productores como desembolsados o pagados (costos monetarios) de los que constituyen aportes propios (no monetarios), como el valor de la semilla, la mano de obra propia y los costos de administración. El aporte de recursos propios corresponde al 12,8 % de los costos totales y en la mayoría de los casos el agricultor no lo contabiliza dentro de los costos de producción.

La diferencia entre costos monetarios y no monetarios permite explicar por qué los productores de agricultura familiar, en épocas de precios bajos, venden su producto a valores por debajo del costo de producción y aun así pueden continuar en el mercado. Esto, sin embargo, a costa de no recuperar completamente la inversión de recursos propios en mano de obra familiar, semilla, costo de oportunidad de su tierra, costo del tiempo empleado en la administración y costo del capital invertido.

Tabla 11. Estructura de costos de producción de papa de la variedad Tuquerreña en Boyacá, 2017

Concepto	Tipo	Unidad	Cantidad	Precio unitario (\$)	Valor total (\$)	Monto pagado (\$)	Aporte propio (\$)
COSTOS DIRECTOS							
INSUMOS							
Semilla							
Semilla	Tradicional seleccionada	Bulto	25	35.000	875.000	0	875.000
Subtotal semilla					875.000	0	875.000
Correctivos y fertilizantes							
Correctivo de acidez	Cal dolomítica	Bulto	12,5	9.000	112.500	112.500	0
Abono orgánico	Gallinaza compostada	Bulto	18,75	16.000	300.000	300.000	0
Fertilizante edáfico (1)	15-15-15	Bulto	25	70.000	1.750.000	1.750.000	0
Fertilizante edáfico (2)	10-20-30	Bulto	6,25	70.000	437.500	437.500	0
Fertilizante foliar	Elementos menores	Litro	1,25	28.000	35.000	35.000	0
Subtotal correctivos y fertilizantes					2.635.000	2.635.000	0
Plaguicidas y coadyuvantes							
Insecticida biológico + micorrizas		Litro	1	46.000	46.000	46.000	
Insecticida	Metamidofos	Frasco (250 ml)	5	12.000	60.000	60.000	0
Insecticida (ovicida)	Fenazaquin	Bolsa (250 g)	8,75	15.000	131.250	131.250	0
Insecticida	Carbosulfan	Litro	3	46.000	138.000	138.000	0
Insecticida	Clorpirifós	Litro	1,25	28.000	35.000	35.000	0
Insecticida	Cipermetrina + profenofos	Litro	1	53.000	53.000	53.000	0

Insecticida	Clorpirifós	Litro	2	27.000	54.000	54.000	0
Herbicida	Glifosato	Litro	1,25	15.000	18.750	18.750	0
Herbicida	Diquat	Litro	3,75	20.000	75.000	75.000	0
Fungicida	Metalaxil + mancozeb	Bolsa (375 g)	5	18.000	90.000	90.000	0
Fungicida	Clorotalonil	Frasco (250 ml)	5,5	13.000	71.500	71.500	0
Fungicida curativo-preventivo	Propineb + fluopicolide	Bolsa (400 g)	2	18.000	36.000	36.000	0
Fungicida curativo	Dimetomorf	Bolsa (120 g)	2	16.000	32.000	32.000	0
Fungicida	Propineb + cymoxanil	Bolsa (500 g)	7,5	18.000	135.000	135.000	0
Fungicida	Mandipropamid	Frasco (125 ml)	7,5	18.000	135.000	135.000	0
Fungicida	Mancozeb + cymoxamil	Bolsa (500 g)	7,5	17.000	127.500	127.500	0
Coadyuvante	Adherente	Litro	1	13.500	13.500	13.500	
Subtotal plaguicidas y coadyuvantes					1.251.500	1.251.500	0
Combustibles							
Combustible para riego		Galón	15	10.000	150.000	150.000	0
Subtotal combustibles					150.000	150.000	0
Empaques							
Costales para la cosecha	Costales de polipropileno	Costal	400	800	320.000	320.000	0
Subtotal empaques					320.000	320.000	0
TOTAL INSUMOS					5.231.500	4.356.500	875.000
MANO DE OBRA							
Aplicación de herbicidas		Jornal	1	35.000	35.000		35.000

Siembra y aplicación de fertilizantes		Jornal	6	35.000	210.000	210.000	0
Aplicación de insecticidas y fungicidas		Jornal	13	35.000	455.000	227.500	227.500
Desyerbe		Jornal	6	35.000	210.000	210.000	0
Aplicación de riego		Jornal	7,5	35.000	262.500	262.500	0
Cosecha, selección y empaque	Contrato	Jornal	57	45.000	2.565.000	2.565.000	
TOTAL MANO DE OBRA			90,5		3.737.500	3.475.000	262.500
SERVICIOS							
Alquiler de maquinaria							
Arado y rastrillado del lote	Con tractor, arado de cincel, rastrillo	Hora	5	50.000	250.000	250.000	0
Surcado	Con tracción animal	Yunta	1,25	40.000	50.000	50.000	0
Subtotal alquiler maquinaria					300.000	300.000	0
Servicios de transporte							
Transporte de fertilizantes		Bulto	62,5	2.000	125.000	125.000	
Transporte cosecha a puerta de finca	Flete en bestia	Bestia	7	30.000	210.000	210.000	
Subtotal transporte					335.000	335.000	0
TOTAL SERVICIOS					635.000	635.000	0
TOTAL COSTOS DIRECTOS					9.604.000	8.466.500	1.137.500
COSTOS INDIRECTOS							
ALQUILER DE LA TIERRA		Hectárea	1	625.000	625.000	625.000	0
DEPRECIACIÓN MAQUINARIA	Estacionaria			18.750	18.750	18.750	0

INTERÉS CAPITAL	1,5 % mensual				604.710	604.710	0
ADMINISTRACIÓN	3 % sobre costos directos				288.120	0	288.120
TOTAL COSTOS INDIRECTOS					1.536.580	1.248.460	288.120
TOTAL COSTOS					11.140.580	9.714.960	1.425.620

Fuente: Elaboración propia con base en información brindada por productores de Boyacá en talleres de consenso

Referencias

- Agrios, N. G. (2008). *Fitopatología* (2ª ed.). Limusa.
- Alcaldía de Siachoque. (2004). *Esquema de ordenamiento territorial: municipio de Siachoque: 2001-2010*.
- Alcaldía de Toca. (2004). *Esquema de ordenamiento territorial: Toca, Boyacá*.
- Ames, M., & Spooner, D. M. (2008). DNA from herbarium specimens settles a controversy about origins of the European potato. *American Journal of Botany*, 95(2), 252-257.
https://www.researchgate.net/publication/51183654_DNA_from_herbarium_specimens_settles_a_controversy_about_origins_of_the_European_potato
- Andrade-Piedra, J., Kromann, P., & Otazú, V. (Eds.). (2015) *Manual para la producción de papa usando aeroponía: diez años de experiencias en Colombia, Ecuador y Perú*. Centro Internacional de la Papa; Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/76513>
- Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (2013). *Fundamentos de fisiología vegetal* (2ª ed.). McGraw-Hill.
<http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FundamentosdeFisiologiaVegetal2008Azcon.pdf>
- Barber, S. A. (1984). *Soil nutrient bioavailability: A mechanistic approach*. John Wiley & Sons, Inc.
- Barrientos, J., & Núñez, C. (2014). Difusión de seis nuevas variedades de papa en Boyacá y Cundinamarca (Colombia) entre 2003 y 2010. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(1), 126-141.
- Bejarano T., V., Núñez L., C. E., & Luque Z., J. E., (1997). Respuesta de 10 variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) y 3 híbridos interespecíficos al ataque de la polilla (*Tecia solanivora* Povolny), en condiciones de almacenamiento. *Agronomía Colombiana*, 14(2), 138-143.
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/21480/22472>
- Berdugo, J. (2018). *Las 5 claves de éxito en el cultivo de la papa*. Agro Bayer Colombia. <https://www.cropscience.bayer.co/Centro-de-Noticias/Noticias/2018/07/Cinco-Claves-Papa.aspx>
- Bernal Duffo, E. (2020). *Geografía cultural de Boyacá*. Boyacacultural.
http://www.boyacacultural.com/index.php?option=com_content&view=article&id=24&Itemid=25

- Bukasov, S. M. (1971). Cultivated potato species. In S. M. Bukasov (Ed.), *Flora of cultivated plants* (Vol. IX, pp. 5-40). Publishing House Kolos.
- Calvache Guerrero, H., & Alvarado, L. F. (1980). *El gusano blanco de la papa* *Premnotrypes vorax (Hustache) y su control* [Documento de trabajo cod. 05-6-009-80]. Instituto Colombiano Agropecuario.
https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/2244/43206_50946.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cámara de Comercio de Bogotá. (2015). *Manual papa: programa de apoyo agrícola y agroindustrial: vicepresidencia de fortalecimiento empresarial*.
<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:4LaqAXOeFTsJ:https://www.ccb.org.co/content/download/13727/175111/file/Papa.pdf+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=co>
- Cardona, C., Rodríguez, I. V., Bueno, J. M., & Tapia, X. (2005). *Biología y manejo de la mosca blanca Trialeurodes vaporariorum en habichuela y frijol*. Centro Internacional de Agricultura Tropical; Department for International Development. http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/Car%C3%A1tula.pdf
- Castro Franco, H. E., & Gómez Sánchez, M. (2010). Fertilidad de suelos y fertilizantes. En H. Burbano Orjuela & F. Silva Mojica (Eds.), *Ciencia del suelo: principios básicos* (pp. 213-304). Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
- Centro de Estudios en Ecología Política, Pontificia Universidad Javeriana & Universidad del Rosario. (2014). *Caracterización socioeconómica y cultural del complejo de páramos Tota-Bijagual-Mamapacha*. Instituto de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
<http://repository.humboldt.org.co/bitstream/20.500.11761/9562/1/14-13-014-071CE.pdf> X
- Centro de Sanidad y Certificación Vegetal. (2016). *Epitrix spp.: pulgillas de la patata* [Informaciones técnicas 2/2016]. Unión Europea; Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural; Departamento de Desarrollo Rural y Sostenibilidad del Gobierno de Aragón. <http://aprogip.chil.me/download-doc/120676>
- Centro Internacional de la Papa. (2010). *Inventario de tecnologías e información para el cultivo de papa en Ecuador*.
<https://cipotato.org/papaenecuador/2017/10/12/24-diacol-capiro/>

- Chase, M. W., & Reveal, J. L. (2009). A phylogenetic classification of the land plants to accompany APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 161(2), 122-127.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1095-8339.2009.01002.x>
- Corporación Colombia de Investigación Agropecuaria. (2017). *Informe final de meta: recomendaciones de MIRFE y labranza para el cultivo de papa en el altiplano cundiboyacense y Nariño*.
- Cortés Bello, C. A., Bernal Patiño, J. G., Díaz Almanza, E. D., & Méndez Monroy, J. F. (2013). *Uso del modelo AquaCrop para estimar rendimientos para el cultivo de papa en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/3/i3428s/i3428s.pdf>
- Corzo C., P. (1999). *Producción biotecnológica de semilla de papa*. Departamento Administrativo del Medio Ambiente; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2014). *Colombia: encuesta nacional agropecuaria (ENA): 2011-2012*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística; Dirección de Metodología y Producción Estadística. <http://microdatos.dane.gov.co/index.php/catalog/25>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2017a, enero). *El cultivo de la papa (Solanum tuberosum L.) y un estudio de caso de los costos de producción de papa Pastusa Suprema* [Boletín mensual n.º 55].
https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_ene_2017.pdf
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2017b, octubre). *Metodología general: sistema de información de precios y abastecimiento del sector agropecuario-SIPSA_P*.
https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/fichas/DSO-SIPSA_P-MET-001.pdf
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2020). *IPC: Índice de Precios al Consumidor*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/precios-y-costos/indice-de-precios-al-consumidor-ipc/ipc-actualizacion-metodologica-2019/ipc-ponderadores>
- Doria, J. (2010). Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos tropicales*, 31(1), 74-85.
<http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v31n1/ctr11110.pdf>

- Estrada Ramos, N. (2000). *La biodiversidad en el mejoramiento genético de la papa*. Plural Editores.
- Ewing, E. E., & Wareing, P. F. (1978). Shoot, stolon, and tuber formation on potato (*Solanum tuberosum* L.) cuttings in response to photoperiod. *Plant Physiol*, 61, 348-353.
- Fairlie, T., & Ortega, A. (1995). Efecto de la presencia de heladas simuladas en diferentes estados fenológicos y su impacto en el rendimiento de la papa cv. *Ccompis*: estudio preliminar. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 7/8(1), 86-93.
https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:tkb_Y1egmMQJ:https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5512072.pdf+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=co
- Federación Colombiana de Productores de Papa. (2017). *Plan estratégico del subsector de la papa visión 20-20 contexto sectorial*.
<https://fedepapa.com/wp-content/uploads/2017/01/Plan-sectorial.pdf>
- Federación Colombiana de Productores de Papa & Fondo Nacional de Fomento a la Papa. (2019). *Informe trimestral del subsector papa: I trimestre-2019*. Federación Colombiana de Productores de Papa.
<https://fedepapa.com/wp-content/uploads/2017/01/Informe-de-Coyuntura-1er-Trimestre-2019.pdf>
- Forbes, G. A., Pérez, W., & Andrade-Piedra, J. (2014) *Field assessment of resistance in potato to Phytophthora infestans: International cooperators guide*. Centro Internacional de la Papa. <http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/06/006154.pdf>
- Gardiner, B., Berry, P., & Moulia, B. (2016). Review: Wind impacts on plant growth, mechanics and damage. *Plant Science*, 245, 94-118.
https://www.researchgate.net/publication/292186532_Review_Wind_impacts_on_plant_growth_mechanics_and_damage
- Ghislain, M., Andrade, D., Rodríguez, F., Hijmans, R. J., & Spooner, D. M. (2006). Genetic analysis of the cultivated potato *Solanum tuberosum* L. Phureja Group using RAPDs and nuclear SSRs. *Theoretical and Applied Genetics*, 113(8), 1515-1527.
https://www.researchgate.net/publication/6819090_Genetic_analysis_of_the_cultivated_potato_Solanum_tuberosum_L_Phureja_Group_using_RAPDs_and_nuclear_SSRs

- Ghislain, M., Núñez, J., Herrera, M. R., & Spooner, D. M. (2009). The single *Andigenum* origin of Neo-*Tuberosum* potato materials is not supported by microsatellite and plastid marker analyses. *Theoretical and Applied Genetics*, 118(5), 963-969.
https://www.researchgate.net/publication/23767090_The_single_Andigenum_origin_of_Neo-Tuberosum_potato_materials_is_not_supported_by_microsatellite_and_plastid_marker_analyses
- Gómez, M. I., & Torres, P. (2012). Absorción, extracción y manejo nutricional del cultivo de papa. *Revista Papa* (26), 20-25.
- Gómez S., M. I., Magnitskiy, S., & Rodríguez, L. E. (2017). Diagnóstico de K⁺ y NO₃⁻ en savia para determinar el estado nutricional en papa (*Solanum tuberosum* L. subsp. *andigena*). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(1), 133-142.
 doi:<http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.6132>
- González, M. (2012). *Optimización de un manejo integrado de Rosellinia sp. en papa* (*Solanum tuberosum* L.). Segundo Curso Nacional de Actualización en el Cultivo de la Papa, Federación Colombiana de Productores de Papa, Paipa, Colombia.
- Govindakrishnan, P. M., & Haverkort, A. J. (2006). Ecophysiology and Agronomic Management. En J. Gopal & S. M. P. Khurana (Eds.), *Handbook of potato production, improvement, and postharvest management* (pp. 179-278). Food Products Press.
- Guerrero, R. (2005). Caracterización de los suelos paperos en Colombia. En Centro virtual de investigación de la cadena agroalimentaria de la papa (Ed.), *Memorias: I taller nacional sobre suelos, fisiología y nutrición vegetal en el cultivo de la papa: presente y futuro de la investigación en la cadena agroalimentaria de la papa en Colombia* (pp. 62-65).
 Repositorio AGROSAVIA
https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/17441/41887_44470.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Guerrero Barrantes, J., & Tello Peramas, L. (2000). Efecto de la aplicación de azufre en los cultivos de cebolla y papa bajo condiciones de campo. *Anales Científicos Unalm*, 35, 323-339.
https://www.academia.edu/7630145/EFEECTO_DE_LA_APLICACION_DE_AZUFRE_EN_LOS_CULTIVOS_DE_CEBOLLA_Y_PAPA_BAJO_CONDICIONES_DE_CAMPO

- Hardigan, M. A., Laimbeer, P. E., Newton, L., Crisovan, E., Hamilton, J. P., Vaillancourt, B., Wiegert-Rininger, K., Wood, J. C., Douches, D. S., Farré, E. M., Velleux, R. E., & Buell, C. R. (2017). Genome diversity of tuber-bearing *Solanum* uncovers complex evolutionary history and targets of domestication in the cultivated potato. *Proceedings of the National Academy of Sciences of The United States of America*, 114(46), E9999-E10008.
<https://www.pnas.org/content/pnas/114/46/E9999.full.pdf>
- Haverkort, A. J., Van de Waart, M., & Bodlaender, K. B. A. (1990). The effect of early drought stress on numbers of tubers and stolons of potato in controlled and field conditions. *Potato Research*, 33, 89-96.
<https://link.springer.com/article/10.1007/BF02358133>
- Hawkes, J. G., Francisco-Ortega, J. (1992) The potato in Spain during the late 16th century. *Economic Botany*, 46, 86-97.
<https://doi.org/10.1007/BF02985257>
- Hernández, C. E., & Rodríguez, B. A. (1997). *Catálogo de variedades colombianas de papa*. Instituto Colombiano Agropecuario.
- Herrera, F. (1997). *La polilla gutemalteca de la papa: biología, comportamiento y prácticas de manejo integrado*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.
- Herrera, F. (1998). *La polilla guatemalteca de la papa: biología, comportamiento y prácticas de manejo integrado* (2ª ed.). Ministerio de Agricultura de Desarrollo Rural; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.
- Herrera Heredia, C. A., Fierro Guzmán, L. H., & Moreno Mendoza, J. D. (2000). *Manejo integrado del cultivo de la papa: manual técnico*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.
<https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/34707>
- Higuera Sánchez, C. C., & Jaimes Hernández, O. J. (2019). *Evaluación de indicadores de huella hídrica en la producción de un cultivo de cebolla de bulbo y papa en los municipios de Duitama y Samacá, Boyacá* [Trabajo de grado de especialización, Universidad Católica de Colombia].
https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/24084/1/1.%20Trabajo%20de%20Grado%20Higuera_Jaimes.pdf
- Hosaka, K. (2003). T-type chloroplast DNA in *Solanum tuberosum* L. ssp. *tuberosum* was conferred from some populations of *S. tarijense* Hawkes. *American Journal of Potato Research*, 80(1), 21-32.
<https://link.springer.com/article/10.1007/BF02854553>

- Huamán, Z., & Spooner, D. M. (2002). Reclassification of landrace populations of cultivated potatoes (*Solanum* sect. *Petota*). *American Journal of Botany*, 89(6), 947-965.
<https://bsapubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdfdirect/10.3732/ajb.89.6.947>
- Huber, D., Römheld, V., & Weinmann, M. (2012). Relationship between nutrition, plant diseases and pests. En P. Marschner (Ed.), *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants* (3th ed., pp. 283-298). Academic Press.
https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:o_6zSnbAYdMJ:https://www.researchgate.net/profile/Anoop_Srivastava7/post/Citrus_roots_nutrition_content/attachment/59d6550f79197b80779ac60a/AS%253A523950364663808%25401501930909640/download/3-s2.0-B9780123849052000108-main.pdf+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=co
- Huertas, E., & Ramírez, A. (1985). *Respuesta del cultivo de la papa Solanum tuberosum L. variedad Tuquerreña a la aplicación fraccionada de dos niveles de fertilizante en el municipio de Toca (Boyacá)* [Tesis de pregrado, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia].
- Instituto Colombiano Agropecuario. (2011). *Manejo fitosanitario del cultivo de la papa (Solanum tuberosum subsp. andigena y S. phureja): medidas para la temporada invernal*.
<https://www.ica.gov.co/getattachment/b2645c33-d4b4-4d9d-84ac-197c55e7d3d0/Manejo-fitosanitario-del-cultivo-de-la-papa-nbsp;-.aspx>
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2015, septiembre 7). *Resolución 3168. "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"*.
<https://www.ica.gov.co/Normatividad/Normas-Ica/Resoluciones-Oficinas-Nacionales/2015/2015R3168.aspx>
- Instituto Colombiano Agropecuario. (2020). *Pruebas de evaluación agronómica*. <https://www.ica.gov.co/getdoc/8090033d-7489-4ba4-a954-7e177c6ea186/evaluacion-agronomica-y-control-en-comercializacio.aspx>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2017, agosto). *Reporte de estaciones meteorológicas*.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2004). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Boyacá* (Tomo I).

- Instituto Geografico Agustín Codazzi. (2005). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Boyacá* (Tomo II).
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2017). *Glosario de términos estadísticos*. https://www.inec.cr/sites/default/files/_book/index.html
- International Plant Nutrition Institute. (2018, octubre 1). *Fuentes de nutrientes específicos*. <http://www.ipni.net/publication/nss-es.nsf/catalog?ReadForm&cat=N>
- Joiner, J. N., Poole, R. T., & Conover, C. A. (1983). Nutrition and Fertilization of Ornamental Greenhouse Crops. In J. Janick (Ed.), *Horticultural Reviews* (Vol. 5, pp. 317-403). The Avi Publishing Company, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781118060728.ch7>
- Juzepczuk, S. W., & Bukasov, S. M. (1929). A contribution to the question of the origin of the potato. Proceedings of the U.S.S.R. *Congress Genetics, Plant, and Animal Breeding*, 3, 592-611.
- Kalavati, P., & Modi, H. A. (2012). The importance of potassium in plant growth: A review. *Indian Journal of Plant Sciences*, 1(2-3), 77-186. <https://www.cibtech.org/J-Plant-Sciences/PUBLICATIONS/2012/Vol-1-No-2%263/19-027...Prajapati...The...Importance...Growth.pdf>
- Ku, S., Edwards, E. G., & Tanner, B. C. (1977). Effects of light, carbon dioxide, and temperature on photosynthesis in potatoes (*Solanum tuberosum*). *Annals of Botany*, 64, 643-650. <http://www.plantphysiol.org/content/59/5/868/tab-article-info>
- Lal, M., Sharma, S., Yadav, S., & Kumar, S. (2018). Management of Late Blight of Potato. In M. Yildiz (Ed.), *Potato: From incas to all over the world* (pp. 83-106). https://www.researchgate.net/publication/325623205_Management_of_Late_Blight_of_Potato
- Lechnovich, V. S. (1971). Cultivated potato species. In S. M. Bukasov (Ed.), *Flora of cultivated plants* (Vol. 9, pp. 41-304). Kolos.
- Li, H. P. (1985). Environmental effects on growth and development of potato plants. In P. Li (Ed.), *Potato Physiology* (pp. 482-500). Academic Press.
- López-Ávila, A. (2000). Insectos plaga del cultivo de la papa en Colombia y su manejo. *Ventana al Campo Andino*, 3(1-2), 152-159. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/20385>

- López Estupiñán, L. (2015). Papas y tierras en Boyacá: investigación etnobotánica y etnohistórica de uno de los principales productos de la alimentación colombiana. *Boletín de Antropología de la Universidad de Antioquia*, 30(50), 170-190.
<https://www.redalyc.org/pdf/557/55743108009.pdf>
- Luján, L. (1970). *Evolución de la papa en Colombia*. Repositorio AGROSAVIA.
https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/29197/26614_13335.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Luján, L. (1991). Morfología, estructura y morfología de la planta de papa. Repositorio AGROSAVIA.
https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/16934/41182_27162.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Luján, L., & Arévalo, H. (1992). Variedades de papa colombiana. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 4, 9-20.
- Malagamba, P., & Cabello, R. (1996). Producción de semilla sexual de papa. En Centro Internacional de la Papa (Ed.), *Manual de producción de papa con semilla sexual* (Fasc. 2.1, pp. 1-7).
<https://nfxms1019hx1xmtstxk3k9sko-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2014/09/2-1-Manual-produccion.pdf>
- Marschner, H. (1986). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Academic Press.
- Mastalerz, J. W. (1977). *The greenhouse environment*. John Wiley & Sons.
- Meier, U. (2001). *Estadios de las plantas mono- y dicotiledóneas* (2a. ed.). Centro Federal de Investigaciones Biológicas para Agricultura y Silvicultura de Alemania.
https://www.academia.edu/24750111/Estadios_de_las_plantas_mono_y_dicotyled%C3%B3neas_BBCH_Monografia_Centro_Federal_de_Investigaciones_Biol%C3%B3gicas_para_Agricultura_y_Silvicultura
- Mengel, K., & Kirkby, E. A. (2000). *Principios de nutrición vegetal* (4ª ed.). International Potash Institute.
https://www.academia.edu/38985839/Mengel_Principios_de_Nutricion_Vegetal
- Menzel, C. M. (1985). The control of storage organ formation in potato and other species: a review: part I. *Field Crops Abstracts*, 38, 527-537.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2010). *Acuerdo de competitividad de la cadena agroalimentaria de la papa en Colombia*.
<https://sioc.minagricultura.gov.co/DocumentosContexto/P008-NUEVO%20ACUERDO%20DE%20COMPETITIVIDAD%20PAPA.pdf>

- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2015). *Virus del amarillamiento de las venas de la papa, una amenaza que se puede controlar*. Red de información y comunicación del sector Agropecuario Colombiano.
<https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Noticia1382.aspx>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2018). *La producción de papa en 2018 podría llegar a 2 millones 690 mil toneladas*.
<https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/La%20producci%C3%B3n%20de%20papa%20en%202018%20podr%C3%ADa%20llegar%202%20millones%20690%20mil%20toneladas.aspx>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2019a). *Estrategia de ordenamiento de la producción: cadena productiva de la papa y su industria*.
<https://sioc.minagricultura.gov.co/Papa/Normatividad/Plan%20de%20Ordenamiento%20papa%202019-2023.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2019b). *Reporte: comparativo de área, producción, rendimiento y participación departamental por cultivo*. Red de información y comunicación del sector Agropecuario Colombiano.
<https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020a). *Glosario*.
<https://www.minagricultura.gov.co/Paginas/Glosario.aspx#>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020b). *Reporte: PIB regional/departamental (valor en millones \$)*. Red de información y comunicación del sector Agropecuario Colombiano.
<https://www.agronet.gov.co/Paginas/inicio.aspx>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural & Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2002). *I Censo Nacional del Cultivo de Papa: departamento de Boyacá: I separata de resultados: I Semestre de 2002*. Biblioteca Digital Agronet.
<http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4570/1/014.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (1991). *Aspectos técnicos sobre cuarenta y cinco cultivos agrícolas de Costa Rica*.
- Mitchell, C. E., Reich, P. B., Tilman, D., & Groth, J. V. (2003). Effects of elevated CO₂, nitrogen deposition, and decreased species diversity on foliar fungal plant disease. *Global Change Biology*, 9(3), 438-451.
https://www.researchgate.net/publication/229448300_Effects_of_elevated_CO2_nitrogen_deposition_and_decreased_species_diversity_on_foliar_fungal_plant_disease

- Monteros, C., Cuesta, X., Jiménez, J., & López, G. (2005). *Las papas nativas en el Ecuador: estudios cualitativos sobre oferta y demanda*. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias; Proyecto Papa Andina; Programa Nacional de Raíces y Tubérculos de Papa. https://nqxms1019hx1xmtstxk3k9sko-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/Documentacion%20PDF/papas_nativas_ecuador.pdf
- Monteros, C., & Reinoso, I. (2010). *Biodiversidad y oportunidades de mercado para las papas nativas ecuatorianas*. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. https://nqxms1019hx1xmtstxk3k9sko-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/Documentacion%20PDF/Papas%20Nativas_Biodiversidad_mercados.pdf
- Montesdeoca, F., Panchi, N., Pallo, E., Yumisaca, F., Taipe, A., Mera, X., Espinoza, S., & Andrade-Piedra, J. (2012). *Produzcamos nuestra semilla de papa de buena calidad: guía para agricultoras y agricultores*. Centro Internacional de la Papa; Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias; Consorcio de Pequeños Productores de Papa; Fundación McKnight. <https://es.slideshare.net/jorgealonso24/produzcamos-nuestra-semilla-de-papa-de-buena-calidad>
- Niño, L. (2004). Revisión sobre la polilla de la papa *Tecia solanivora* en Centro y Suramérica. *Suplemento Revista Latinoamericana de la Papa*.
- Núñez, J., Haviland, D. R., Aegerter, B. J., Baldwin, R. A., Westerdahl, B. B., Trumble, J. T., & Wilson, R. G. (2008). *UC IPM pest management guidelines: Potato* [Publication 3463]. University of California, Agricultural and Natural Resources.
- Ñústez, C. E. (2011). *Variedades colombianas de papa*. Universidad Nacional de Colombia. <https://drive.google.com/file/d/0B0d7qZ6xkUiiRTVzdzd5dnFsdjg/view>
- Ochoa, C. M. (1990). *The potatoes of South America: Bolivia*. Cambridge University Press.
- Ochoa, C. M. (1999). *Las papas de Sudamérica*. Centro Internacional de la Papa.
- Ordóñez, M. C., Rosero, J. F., & Bacca, T. (2012). Resistencia de cinco variedades de (*Solanum* spp., *Solanaceae*) al ataque de *Tecia solanivora* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Boletín Científico Museo de Historia Natural*, 16(1), 108-119.

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2008). *Año Internacional de la Papa 2008: la papa y los recursos hídricos*. <http://www.fao.org/potato-2008/es/lapapa/agua.html#:~:text=Necesidades%20de%20agua%20de%20la%20papa&text=Un%20cultivo%20de%20papas%20de,durante%20el%20per%C3%ADodo%20de%20crecimiento>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019). *Cultivos*. Faostat. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2020, mayo 4). *Nuevos balances de alimentos*. Faostat. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/FBS>
- Ortega, E. (1995). Tecnología para el control integrado de la palomilla de la papa. *FONAIAP Divulga* (48), 3-5.
- Ortiz, L. Y. & Flórez, V.C. (2008). Comparación cuantitativa de ácido abscísico y citoquininas en la tuberización de *Solanum tuberosum* L. y *Solanum phureja* Juz et Buk. *Agronomía Colombiana*, 26(1), 32-39.
- Osorio, F., & Bucheli, M. (1996). Los productores y la producción de papa en el municipio de Toca, Boyacá. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, (37), 101-123. <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/desarrolloRural/article/view/2386>
- Otazú, V. (2010). *Manual de producción de semilla de papa de calidad usando aeroponía*. Centro Internacional de la Papa. <https://issuu.com/internationalpotatocenter/docs/005566>
- Panchi, N., Pallo, E., Yumisaca, F., Espinoza, S., Montesdeoca, F., & Andrade-Piedra, J. (2010). *Usemos la selección positiva para mejorar la calidad de nuestra semilla: guía de campo para el agricultor*. Centro Internacional de la Papa.
- Pavlista, A. D. (2011). Growth Regulators Increased Yield of Atlantic Potatoes. *American Journal of Potato Research*, 88(6), 479-484. https://www.researchgate.net/publication/257776393_Growth_Regulators_Increased_Yield_of_Atlantic_Potato
- Pérez Maldonado, D. E. (2008). *Efecto del parasitoide Encarsia formosa (Hymenoptera: Aphelinidae) sobre una población de Trialeurodes vaporariorum (Westwood) (Hemiptera: Aleocharidae) en un cultivo comercial de tomate (Lycopersicon esculentum, Mill) bajo condiciones de invernadero* [Tesis de pregrado, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio Unimilitar. <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/10168/PerezMaldonadoDianaElizabeth2008.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

- Pérez-Otero, R., Nicolás, R., & Mansilla, P. (2010). *Epitrix similaris Gentner: pulguilla de la patata*. Estación Fitopatológica do Areeiro, Deputación de Pontevedra.
https://www.asturias.es/Asturias/descargas/PDF_TEMAS/Agricultura/ficha_epitrix.pdf
- Porras Rodríguez, P. D., & Herrera Heredia, C. A. (2015). *Modelo productivo de la papa variedad Diacol Capiro para el departamento de Antioquia*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.
https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13751/76688_66357.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Restrepo, S. (2010). *Enfermedades foliares de papa y su manejo* [Trabajo presentado en el Primer Curso de Actualización en el Cultivo de la Papa]. Federación Colombiana de Productores de Papa.
- Ríos Quinocha, J. Y., Jaramillo Villegas, S. C., González Santamaría, L. H., & Cotes Torres, J. M. (2010). Determinación del efecto de diferentes niveles de fertilización en papa (*Solanum tuberosum* ssp. *Andigena*) Diacol Capiro en un suelo con propiedades ándicas de Santa Rosa de Osos, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 63(1), 5225-5237. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v63n1/a02v63n01.pdf>
- Robinson, A., Secor, G., & Gudmestad, N. (2017). *Late blight in potato*. North Dakota State University.
<https://www.ag.ndsu.edu/publications/crops/late-blight-in-potato/pp1849.pdf>
- Rodríguez B., G. A. (2000). Almacenamiento de papa para consumo directo e industrial. En C. A. Herrera, L. H. Fierro & J. D. Moreno (Eds.), *Manejo integrado del cultivo de la papa: manual técnico* (pp 170-179). Ed. Produmedios.
- Rodríguez, L. E. (2009). Teorías sobre la clasificación taxonómica de las papas cultivadas (*Solanum* L. sect. *Petota* Dumort.). Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 27(3), 305-312.
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/13273/13948>
- Rodríguez, L. E. (2010). Origen y evolución de la papa cultivada. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 28(1), 9-17.
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/17588/18423>
- Rodríguez-Pérez, L. (2010). Ecofisiología del cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 4(1), 97-108.
https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_hortícolas/article/view/1229/1228

- Román Cortez, M., & Hurtado, G. (2002). *Guía técnica: cultivo de la papa*. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal.
<http://www.centa.gob.sv/docs/guias/hortalizas/Guia%20Papa.pdf>
- Salaman, R. N., & Hawkes, J. G. (1949). The character of the early european potato. *Proceedings of the Linnean Society of London*, 161(1), 71-84.
<https://academic.oup.com/proceedingslinnean/article-abstract/161/1/71/2254774?redirectedFrom=fulltext>
- Salazar, B. E. (1996). Ciclo biológico y dinámica poblacional del gusano blanco de la papa *Premnotrypes vorax* Hustache en el municipio de Motavita (Boyacá) [Tesis de grado, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja].
- Salisbury, F. B., & Ross, C. W. (1992). Fotosíntesis. En *Fisiología vegetal* (pp. 157-205). Grupo Editorial Iberoamérica.
- Sánchez, G. D., Yepes, L. A., & Villareal, H. (2016). Cadena agroalimentaria de la papa: anexo 5. En Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación; Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural; Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Eds.), *PECTIA: Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sector Agropecuario Colombiano (2017-2027)*.
https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/1424/1/09758_67685.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Sarquís, J. I., González, H., & Bernal-Lugo, I. (1996). Response of two potato clones (*S. tuberosum* L.) to contrasting temperature regimes in the field. *American Potato Journal*, 73, 285-300.
<https://doi.org/10.1007/BF02855207>
- Schumann, G. L., & D'Arcy, C. J. (2018). Late blight of potato and tomato. *The Plant Health Instructor*.
<https://www.apsnet.org/edcenter/disandpath/oomycte/pdlessons/Pages/LateBlight.aspx>
- Secretaría de Fomento Agropecuario de Boyacá. (2018). *Diagnóstico de la cadena de la papa*. Departamento de Boyacá. Gobernación de Boyacá.
- Servicios de Información Espacial [Series]. (2009) *Departamentos de la República de Colombia*. <https://sites.google.com/site/seriescol/shapes>
- Smith, C. M. (2005). *Plant resistance to arthropods: Molecular and conventional approaches*. Springer.

- Spooner, D., Rodríguez, F., Polgár, Z., Ballard, H. E., & Jansky, S. H. (2008). Genomic origins of potato polyploids: GBSSI gene sequencing data. The plant genome. *Crop Science*, 48(S1), 27-36.
<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2135/cropsci2007.09.0504tpg>
- Spooner, D. M., & Castillo T., R. (1997). Reexamination of series relationships of South American wild potatoes (Solanaceae: *Solanum* Sect. *Petota*): Evidence from chloroplast DNA restriction site variation. *American Journal of Botany*, 84(5), 671-685.
<https://naldc.nal.usda.gov/download/2517/PDF>
- Spooner, D. M., & Hetterscheid, W. L. A. (2005). Origins, evolution, and group classification of cultivated potatoes. In T. J. Motley, N. Zerega & H. Cross (Eds.), *Darwin's Harvest: New approaches to the origins, evolution, and conservation of crops* (pp. 285-307). Columbia University Press.
- Spooner, D. M., & Hijmans, R. J. (2001). Potato systematics and germplasm collecting, 1989-2000. *American Journal of Potato Research*, 78(4), 237-268.
<https://vcru.wisc.edu/spoonerlab/pdf/potato%20systematics%20and%20germplasm%20collecting,%201989-2000.pdf>
- Spooner, D. M., Núñez, J., Trujillo, G., Herrera, M. R., Guzmán, F., & Ghislain, M. (2007). Extensive simple sequence repeat genotyping of potato landraces supports a major reevaluation of their gene pool structure and classification. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(49), 19398-19403.
<https://doi.org/10.1073/pnas.0709796104>
- Spooner, D. M., & Salas, A. (2006). Structure, biosystematics, and genetic resources. In J. Gopal, & S. M. Khurana (Eds.), *Handbook of potato production, improvement, and postharvest management* (pp. 1-39). Food Products Press.
- Spooner, D. M., & Sytsma, K. J. (1992). Reexamination of series relationships of Mexican and Central American wild potatoes (*Solanum* sect. *Petota*): Evidence from chloroplast DNA restriction site variation. *Systematic Botany*, 17(3), 432-448. <https://www.jstor.org/stable/2419483?seq=1>

- Sporleder, M., Zegarra, O., Kroschel, J., Huber, J., & Lagnaoui, A. (2001). Assessment of the inactivation time of *Phthorimaea operculella* Granulovirus (PoGV) at different intensities of natural irradiation. *CIP Program Report 1999-2000*, 123-128.
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.582.8071&rep=rep1&type=pdf>
- Steduto, P., Hsiao, T. C., Fereres, E., & Raes, D. (2012). *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua* [Estudio FAO: Riego y Drenaje n.º 66]. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/3/a-i2800s.pdf>
- Stevenson, F. J. (1986). *Cycles of soil: Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients*. John Wiley & Sons.
- Superintendencia de Industria y Comercio. (2011). *Cadena productiva de la papa: diagnóstico de libre competencia*.
https://www.sic.gov.co/recursos_user/documentos/promocion_competencia/Estudios_Economicos/PAPA.pdf
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2003). *Plant physiology* (3th ed.). Sinauer Associates.
<http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/PlantPhysiologyTaiz2002.pdf>
- Thornton, M. K., Lee, J., Jhon, R., Olsen, N., & Navarre, R. (2013). Influence of growth regulators on plant growth, yield, and skin color of specialty potatoes. *American Journal of Potato Research*, 90(3), 271-283.
https://www.researchgate.net/publication/244830435_Influence_of_Growth_Regulators_on_Plant_Growth_Yield_and_Skin_Color_of_Specialty_Potatoes
- Torres, L., Motesdeoca, F., & Andrade-Piedra, J. (2013) *Manejo del tubérculo semilla*. Centro Internacional de la Papa. <https://cipotato.org/es/sin-categorizar/manejo-del-tuberculo-semilla/>
- Troncoso, C., & Lobos A., G. (2004). Márgenes de comercialización y concentración industrial en el mercado de frutas y hortalizas en Chile. *Agroalimentaria*, 9(18), 75-86.
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-03542004000100006&lng=es&tlng=e
- Truong B. (2007). Evaluación de las rocas fosfóricas para la aplicación directa. En F. Zapata & R. N. Roy, *Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible* [Boletín FAO 13, pp. 27-42). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

- Tsrer, L. (2010). Biology, Epidemiology and management of *Rhizoctonia solani* on potato. *Journal of Phytopathology*, 158(10), 649-658.
<https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2010.01671.x>
- United States Department of Agriculture. (2020). *Natural resources conservation service*.
<https://plants.usda.gov/java/ClassificationServlet?source=display&classified=SOTU>
- Van Dam, J., Kooman, P. L., & Struik, P. C. (1996). Effects of temperature and photoperiod on early growth and final number of tubers in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Potato Research*, 39, 51-62.
<https://link.springer.com/article/10.1007/BF02358206>
- Van den Berg, R. G., & Jacobs, M. M. J. (2007). Molecular taxonomy. En: D. Vreugdenhil (Ed.), *Potato biology and biotechnology advances and perspectives* (pp. 55-76). Elsevier.
- Van den Berg, R. G., Miller, J. T., Ugarte, M. L., Kardolus, J. P., Nienhuis, J., & Spooner, D. M. (1998). Collapse of morphological species in the wild potato *Solanum Brevicaule* complex (Solanaceae: sect. *Petota*). *American Journal of Botany*, 85(1), 92-109.
<https://vcru.wisc.edu/spoonerlab/pdf/brevicaule%20morphology.pdf>
- Van der Hammen, T., Pabón Caicedo, J. D., Gutiérrez, H., & Alarcón, J. C. (2002). El cambio global y los ecosistemas de alta montaña de Colombia. En C. Castaño Uribe (Ed.), *Páramos y ecosistemas alto andinos de Colombia en condición Hotspot y Global Climatic Tensor* (pp. 162-209). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/002898/Capitulo3.pdf>
- Vejarano Geldres, A. H., & Morales Skrabonja, C. G. (2014). Almacenamiento de la semilla de papa bajo condiciones de luz difusa. *Pueblo Continente*, 25(2), 93-101.
<https://www.semanticscholar.org/paper/Almacenamiento-de-la-semilla-de-papa-bajo-de-luz-Geldres-Skrabonja/d10db59205a6bd5d81dc252aec27333ae5487f35>
- Villamil, H. J. (2005). Fisiología de la nutrición de la papa. En Centro virtual de investigación de la cadena agroalimentaria de la papa (Ed.), *Memorias: I taller nacional sobre suelos, fisiología y nutrición vegetal en el cultivo de la papa: presente y futuro de la investigación en la cadena agroalimentaria de la papa en Colombia* (pp. 17-25). Repositorio AGROSAVIA.

- https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/17441/41887_44470.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Wharton, P., Kirk, W., Berry, D., & Snapp, S. (2007). *Rhizoctonia stem canker and black scurf of potato* [Extension Bulletin E-2994]. Michigan State University Extension; Michigan Agricultural Experiment Station; Project Green; Michigan Potatoes Industry Commission.
<https://silo.tips/download/rhizoctonia-stem-canker-and-black-scurf-of-potato>
- Yuan, F.-M., & Bland, W. L. (2004). Light and temperature modulated expolinear growth model for potato (*Solanum tuberosum* L.). *Agricultural and Forest Meteorology*, 121(3-4), 141-151.
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2003.08.032>
- Zúñiga Chila, S. J., Morales Espinoza, C., & Estrada Martínez, M. E. (2017). Cultivo de la papa y sus condiciones climáticas. *Gestión, Ingenio y Sociedad*, 2(2), 140-152.
<http://gis.unicafam.edu.co/index.php/gis/article/view/60>

Glosario

Acopiador rural: persona natural o jurídica que se dedica a la compra y recepción de productos agropecuarios de fincas. Constituye el primer enlace entre el productor y el resto de intermediarios. Acopia la producción y forma lotes uniformes para luego venderlos a otros intermediarios más grandes o transportistas comerciantes (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2017).

Aeroponía: tecnología de cultivo que no necesita suelo, derivada de la hidroponía. Las plantas crecen suspendidas en el aire dentro de módulos cerrados (cajones) y se alimentan mediante una solución nutritiva que es nebulizada y recirculada.

Cadena productiva: conjunto de actividades articuladas técnica y económicamente, desde el inicio de la producción y elaboración de un producto agropecuario hasta su comercialización final (MADR, 2020a).

Casa de malla: estructura metálica o de madera, cubierta de materiales transparentes que dejan pasar los rayos solares para calentar el interior, con paredes de malla antiáfidos, que protege las plantas de lluvia, granizo, pájaros e insectos-plaga (Andrade-Piedra et al., 2015).

Central mayorista: persona natural o jurídica que concentra la producción y hace lotes grandes y uniformes que permiten la formación del precio y que facilitan operaciones masivas y especializadas de almacenamiento, transporte y preparación con miras a la siguiente etapa, la distribución para el abastecimiento de los comerciantes minoristas (INEC, 2017).

Certificación de semillas: proceso por el cual, bajo propia responsabilidad, un productor cumple los requisitos establecidos en la resolución ICA vigente (3168 de 2015) sobre el conocimiento del origen del material inicial y el registro de las generaciones, mediante control de calidad en las etapas del proceso productivo.

Citoquininas: grupo de hormonas vegetales que promueven la diferenciación celular y el crecimiento de brotes y raíces.

Colección Central Colombiana de papa (ccc): una de las colecciones pertenecientes al Banco de Germoplasma Vegetal de la Nación. Considerada patrimonio de la república colombiana, contiene accesiones de diversas colectas realizadas en el país.

Costos monetarios: valoración monetaria de los gastos aplicados para la obtención de un bien. Incluye el costo de materiales, mano de obra y los gastos indirectos de fabricación cargados a los trabajos del proceso. Se define como el valor de los insumos que requieren las unidades económicas para producir bienes y en ellos se consideran los pagos a los factores de producción (al capital y al trabajo), así como los bienes y servicios consumidos durante el proceso (INEC, 2017).

Costos no monetarios: valoración no monetaria de los gastos aplicados en la obtención de un bien, como por ejemplo la mano de obra familiar que no es remunerada económicamente.

Cultivar: nombre genérico que se utiliza para referirse indistintamente a variedades, líneas, híbridos y clones que se utilizan como materiales comerciales de siembra.

Enclave: territorio inserto dentro de otro con características diferentes, especialmente de tipo geográfico, ambiental, político, administrativo, religioso o étnico.

Endurecimiento: acción de acondicionar las plántulas provenientes del laboratorio *in vitro*, en donde están en un contenedor de vidrio con una humedad del 100 %, para que se adapten a las condiciones de la casa de malla y estén listas para el trasplante.

Entomopatógeno: microorganismo que tiene la capacidad de producir una enfermedad en insectos u otros artrópodos. Los entomopatógenos son empleados como agentes de control biológico de plagas.

Entrojado: práctica cultural de los productores para el almacenamiento de papa.

Epinastia: crecimiento más fuerte de tejidos en la superficie superior que en la inferior de una planta. Provoca que una parte de la planta, como una hoja, se curve hacia abajo.

Esclerocio: masa compacta de consistencia dura desarrollada por algunos hongos, que contiene reservas alimenticias y permite la supervivencia del microorganismo por largos periodos de tiempo.

Esporulación: tipo de reproducción asexual por medio de esporas.

Estolones de papa: tallos subterráneos modificados, de los cuales se forman uno o varios tubérculos. Pueden ser vegetativos (en presencia de luz) o reproductivos.

Estrés por calor: estrés producido por exposición a temperaturas que exceden la óptima de desarrollo. Su efecto depende de la duración de la exposición, de la temperatura y del estatus general de la planta (qué tan apta es para evadir o adaptarse al estrés).

Exarata: tipo de pupa de insectos, propia de varias familias de insectos coleópteros. La pupa exarata generalmente se ubica en el suelo y no está confinada en un capullo o receptáculo.

Exigencias edafoclimáticas: condiciones mínimas de suelo y clima para el desarrollo normal u óptimo de un cultivo.

Feromonas: sustancias químicas volátiles emitidas por los seres vivos, que sirven como inductores de alguna respuesta de comportamiento en individuos de la misma especie o de otras con las cuales también interactúan.

Fitófago: organismo que se alimenta de tejido vegetal.

Foliolo: porción de la hoja de una planta que por su forma tiene la apariencia de ser una hoja por sí misma.

Germoplasma: conjunto de genes que se transmite por reproducción a la descendencia por medio de gametos o células reproductoras. El concepto de *germoplasma* se utiliza comúnmente para designar la diversidad genética de las especies vegetales, silvestres y cultivadas de interés para la agricultura y, en tal sentido, se asimila al concepto de *recurso genético*.

Halo clorótico: círculo difuso de color amarillo en las partes verdes de la planta que se produce por deficiencias en la actividad de los cloroplastos de la célula.

Hibridación: en ecología, es el proceso por el cual se crea un híbrido a partir de la mezcla de diferentes especies o variedades de organismos.

Hospedero susceptible: planta susceptible en la cual se establece el patógeno y se desarrolla la enfermedad.

In vitro: técnica de cultivo que consiste en tomar una porción de la planta para regenerarla muchas veces.

Ínstar (plural, ínstares): estadio de los artrópodos en su fase de desarrollo y crecimiento, desde la etapa de huevo hasta antes de la de adulto. Existe el ínstar larval (para insectos de metamorfosis completa) y el ínstar ninfal (para insectos de metamorfosis incompleta).

Larva: fase de desarrollo de los insectos holometábolos o de metamorfosis completa. Comienza con la eclosión del huevo y transcurre a lo largo de mudas sucesionales que permiten el aumento de tamaño del individuo a medida que se alimenta. Es una fase muy activa, principalmente en la alimentación. Finaliza cuando la larva alcanza el máximo de crecimiento y consumo de alimento. Es seguida por la fase de pupa, que a su vez precede a la de adulto.

Malla antiáfidos: malla plástica de tejido fino que protege los invernaderos o casas de malla de los insectos-plaga.

Manejo fitosanitario: métodos y técnicas empleados para prevenir y controlar enfermedades y plagas en plantas y que procuran estabilidad y bienestar al cultivo o al agroecosistema.

Margen de comercialización: diferencia entre el precio que paga el consumidor y el precio que obtiene el productor. En la literatura se definen dos tipos de márgenes de comercialización: los absolutos y los relativos. Los absolutos son aquellos que, sumado el precio que recibe el productor, conducen al precio mayorista. Los relativos se expresan en términos porcentuales e indican el costo relativo de la comercialización y la producción en un momento determinado (Troncoso & Lobos A., 2004).

Materiales silvestres: todos los vegetales, animales, hongos y demás organismos no domesticados que habitan un lugar sin haber sido introducidos por los seres humanos.

Mercados de acopio: mercados que cumplen una doble función, la de acopio y la de redistribución a otros mercados, especialmente a mercados terminales y fronterizos, por lo cual también se denominan *mercados de tránsito*. Tienen amplias áreas de influencia tanto para el acopio como para la distribución. En ellos concurren, como principales oferentes, los productores y los acopiadores rurales, y como demandantes, los acopiadores de ferias, los mayoristas locales y los consumidores (INEC, 2017).

Metabolismo C3: metabolismo de fotorrespiración de plantas C3. Las plantas C3 no tienen adaptaciones fotosintéticas para reducir la fotorrespiración y utilizan solo el mecanismo de fijación de dióxido de carbono de la enzima ribulosa-1,5-bifosfato carboxialasa/oxigenasa (RuBisCo). Se llaman *plantas C3* por el compuesto de tres carbonos (3-PGA) que produce la reacción. Casi el 85% de las especies de plantas del planeta son C3.

Micelio: estructura vegetativa de los hongos constituida por filamentos pluricelulares denominados *hifas*, que vistos en el microscopio semejan largos hilos.

Minitubérculos: semillas de papa de alta calidad, producidas en la fase I (prebásica), obtenidas bajo condiciones protegidas en aeroponía o un sistema convencional de producción de semillas. Se originan a partir de plántulas provenientes de propagación *in vitro* o de minitubérculos de una categoría anterior.

Módulos de aeroponía: cajones rectangulares compuestos de una estructura de madera o metal, cuyos lados interiores se recubren con una lámina de icopor de 4 a 5 cm de espesor, que soporta las plantas y aísla las raíces de las condiciones ambientales (Andrade-Piedra et al., 2015).

Nebulizadores: dispositivo ubicado en las líneas de riego, cuyo propósito es asperjar el agua y la solución nutritiva en partículas muy finas para que sean absorbidas por las raíces.

Necrosis: degeneración de un tejido por muerte de sus células.

Palatabilidad: cualidad de un alimento que define si es agradable o no al paladar.

Papa nativa: variedad de papa típica o propia de una región específica de los Andes.

Pentamera: flor compuesta de corola y cáliz, de cinco pétalos y cinco sépalos respectivamente

Plántula: planta en sus primeros estados de desarrollo, desde que germina hasta que desarrolla las primeras hojas verdaderas.

Ploidía: cantidad de cromosomas que tiene una célula. Por ejemplo, diploide (2n), triploide (3n), tetraploide (4n), etc.

Precio: valor que el comprador está dispuesto a dar al vendedor por una unidad de producto (DANE, 2017b).

Producto interno bruto agropecuario: suma total de los valores monetarios de la producción primaria del sector agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca (MADR, 2020b).

Pupa: fase de desarrollo entre larva y adulto, en la metamorfosis completa de los insectos holometábolos. Es una fase de inactividad en la que se da la transformación hacia el estado de adulto.

Registro nacional de cultivos comerciales: inscripción ante el ICA de cultivos obtenidos por mejoramiento genético, con el fin de autorizar su producción y comercialización para la subregión natural donde fueron evaluados o aprobados (ICA, 2015).

Síntoma: manifestación en la planta del proceso de la enfermedad y que puede ser detectada por mínimo uno de los cinco sentidos.

***Solanum* sect. *Petota*:** sección del género *Solanum* de la familia Solanaceae.

Solución nutritiva: medio acuoso en el que se encuentran disueltos los nutrientes principales, intermedios y secundarios que requiere la planta para un adecuado desarrollo. Es muy usada en aeroponía, hidroponía y fertirrigación.

Sustrato: mezcla de uno o varios medios de cultivo que sirven de soporte a las plantas o plántulas durante un tiempo determinado.

Toyas: plantas espontáneas de papa que se generan por la brotación y desarrollo de tubérculos semilla que quedan en el suelo después de la cosecha. Las plantas toyas se desarrollan en el siguiente periodo de cultivo, pero no son deseables por ser potenciales hospederas de plagas o enfermedades.

Tubérculo: parte de un tallo subterráneo que se desarrolla mediante crecimiento radial debido a la acumulación de sustancias de reserva en el nivel celular.

Turba: sustrato orgánico natural resultante de la descomposición de árboles en zonas de alta humedad. Es una masa ligera y esponjosa, fácil de manipular, con alta capacidad de retención de humedad, que brinda a los cultivos condiciones adecuadas para su desarrollo.

Variedades mejoradas: son el resultado de un proceso de mejoramiento genético direccionado según el interés del mejorador.

Variedades nativas o de agricultor: son el resultado de un proceso de domesticación, selección y conservación ancestral (Monteros et al., 2005; Monteros & Reinoso, 2010).

