

Modelo productivo

para el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*), variedad **Perla Negra**, en el altiplano cundiboyacense

Colección Transformación del Agro



El campo
es de todos

Minagricultura

Modelo productivo para el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*), variedad Perla Negra, en el altiplano cundiboyacense

Autores

Raul Iván Valbuena Benavides
Zahara Lucía Lasso Paredes
César Augusto Terán Chaves
Elías Alexander Silva Arero
Erika Patricia Martínez Lemus
Germán David Sánchez León
Gustavo Maldonado Ferrucho
Juan Clímaco Hio
Juan David Santa Sepúlveda
Mauricio Soto Suárez
Nancy del Carmen Barreto Triana
Nubia Liliana Cely Pardo
Olga Yanet Pérez Cardona
Rafael Antonio Pedraza Rute
Roger Alonso Bautista Cubillos
Andrés Felipe Uribe Gaviria
Ingrid Marcela Preciado Mongui

Mosquera, Colombia 2019

Modelo productivo para el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*), variedad Perla Negra, en el altiplano cundiboyacense/ Raúl Iván Valbuena Benavides [y otros dieciséis] -- Mosquera, (Colombia): AGROSAVIA, 2019.

214 páginas (Colección Transformación del Agro)
Incluye referencias bibliográficas, tablas y fotos
ISBN E-book: 978-958-740-273-5

1. Papa 2. *Solanum tuberosum* 3. Anatomía de la planta 4. Producción de semillas 5. Aplicación de abonos 6. Plagas de plantas 7. Resistencia genética 8. Enfermedades de las plantas 9. Análisis de costos 10. 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 del macroproyecto: "Aprovechamiento de los recursos genéticos para la valorización de sistemas productivos sostenibles de papa", el cual tiene los siguientes productos: "Una variedad de papa para uso industrial con tolerancia a gota, alto rendimiento para el Altiplano Cundiboyacense. 2014". Y "Una variedad de papa de doble propósito para consumo fresco e industrial. 2016".

Fecha de recepción: 15 de mayo de 2018
Fecha de evaluación: 19 de septiembre de 2018
Fecha de aceptación: 12 de diciembre de 2018

Colección Transformación del agro

Publicado en Mosquera, Colombia, mayo de 2019

Preparación editorial

Editorial AGROSAVIA
editorial@agrosavia.co

Editora: Liliana Gaona García

Corrección de estilo: Paola González Osorio

Línea de atención al cliente: 018000121515
atencionalcliente@agrosavia.co
www.agrosavia.co

Citación sugerida: Valbuena Benavides, R. I., Lasso Paredes, Z. L., Terán Chaves, C. A., Silva Arero, E. A., Martínez Lemus, E. P., Sánchez León, G. D., ... Preciado Mongui, I. M. (2019). *Modelo productivo para el cultivo de la papa (Solanum tuberosum), variedad Perla Negra, en el altiplano cundiboyacense*. Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

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, declarando 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.

DOI <https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7402735>



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

Contenido

| | |
|--|-----------|
| Introducción..... | 14 |
| Capítulo I | |
| Área geográfica y entorno ambiental | 16 |
| Introducción | 16 |
| Referencias | 19 |
| Capítulo II | |
| Evolución y origen de las papas cultivadas | 21 |
| Origen de la papa diploide cultivada | 21 |
| Origen de la papa tetraploide cultivada..... | 22 |
| Origen de la papa tetraploide cultivada_tipo Chilotanum | 22 |
| Taxonomía de las especies de papa | 24 |
| Referencias | 25 |
| Capítulo III | |
| Descripción y características de la variedad Perla Negra | 29 |
| Descripción fenotípica..... | 29 |
| Comportamiento del rendimiento en Pruebas de Evaluación Agronómica (PEA) | 32 |
| Comportamiento del rendimiento a nivel de pruebas semicomerciales | 35 |
| Propiedades nutricionales de la variedad..... | 36 |
| Perla Negra | 36 |
| Referencias | 38 |
| Capítulo IV | |
| Aspectos fisiológicos de la variedad Perla Negra | 39 |
| Periodo vegetativo | 39 |
| Etapas fenológicas de la especie papa | 42 |
| Etapa 1. Desarrollo de hojas verdaderas | 44 |
| Etapa 2. Formación de tallos principales y secundarios | 44 |
| Etapa 3. Desarrollo de las partes vegetativas | 44 |
| Etapa 4. Inicio de botones florales y floración | 45 |
| Etapa 5. Formación de bayas..... | 45 |
| Etapa 6. Inicio de madurez fisiológica | 46 |
| Etapa 7. Terminación de madurez fisiológica e inicio de senescencia | 46 |
| Etapa 8. Corte de rama del follaje | 46 |

| | |
|--|-----------|
| Comparación de la variedad Perla Negra frente a Diacol Capiro | 47 |
| Caracterización fisiológica de la variedad | 48 |
| Perla Negra en condiciones de invernadero | 48 |
| Transpiración y conductancia estomática | 49 |
| Transpiración y conductancia estomática en condiciones de estrés hídrico | 49 |
| Eficiencia en el uso del agua | 50 |
| Referencias | 50 |
| Capítulo V | |
| Producción de semilla de Perla Negra | 52 |
| Introducción | 52 |
| Los sistemas formales de producción | 53 |
| Fase I | 54 |
| Fase II | 54 |
| Producción de semilla en fase II | 64 |
| Referencias | 66 |
| Capítulo VI | |
| Exigencias edafoclimáticas y manejo agronómico | 67 |
| Condiciones edafoclimáticas | 67 |
| Proceso productivo y manejo agronómico | 67 |
| Selección del lote | 67 |
| Preparación del terreno | 68 |
| Sistemas de siembra | 71 |
| Establecimiento del cultivo | 71 |
| Referencias | 75 |
| Capítulo VII | |
| Aspectos relevantes para el manejo integrado de la fertilización en la variedad | |
| Perla Negra | 77 |
| Diagnóstico de la fertilidad | 78 |
| Muestreo de suelo | 78 |
| Manejo de enmiendas y nutrientes | 81 |
| Materia orgánica (MO) | 82 |
| pH, aluminio (Al), calcio (Ca), magnesio (Mg) y silicio (Si) | 82 |
| Nitrógeno (N) y potasio (K) | 87 |
| Fósforo (P) e interacciones P/Zn | 89 |
| Azufre (S) y elementos menores: boro (B), zinc (Zn) y manganeso (Mn) | 90 |
| Historial del lote y meta de rendimiento | 92 |
| Demandas nutricionales de la variedad Perla Negra | 94 |

| | |
|--|------------|
| Fertilización foliar y en <i>drench</i> | 98 |
| Fertilización biológica..... | 99 |
| Conclusiones | 103 |
| Referencias | 103 |
| Capítulo VIII | |
| Manejo del agua para papa Perla Negra en el altiplano cundiboyacense | 110 |
| Introducción | 110 |
| Requerimientos hídricos en papa Perla Negra | 111 |
| Estrés hídrico de la variedad de papa Perla Negra | 117 |
| Sistemas de riego recomendados para el cultivo de papa | 118 |
| Determinación de la lámina de riego en cultivos de papa | 123 |
| Determinación de la cantidad de agua a aplicar | 124 |
| Lámina bruta de riego (Lb)..... | 124 |
| Frecuencia de riego | 125 |
| Tiempo de riego..... | 126 |
| Referencias | 127 |
| Capítulo IX | |
| Resistencia genética de la variedad Perla Negra a <i>Phytophthora infestans</i>..... | 130 |
| Características del patógeno..... | 130 |
| Síntomas y signos..... | 131 |
| Resistencia genética de Perla Negra a <i>Phytophthora infestans</i> | 132 |
| Evaluación de Perla Negra al ataque de gota | 133 |
| Recomendaciones para el manejo..... | 137 |
| integrado de gota | 137 |
| Referencias | 140 |
| Capítulo X | |
| Manejo integrado de las enfermedades que afectan a la variedad Perla Negra en el altiplano cundiboyacense | 143 |
| Sarna polvosa, roña o camanduleo de la papa..... | 145 |
| Agente causal..... | 145 |
| Importancia | 146 |
| Sintomatología | 146 |
| Recomendaciones de manejo integrado | 147 |
| Sarna común..... | 149 |
| Agente causal..... | 149 |
| Importancia | 149 |

| | |
|--|------------|
| Sintomatología | 150 |
| Recomendaciones de manejo integrado | 150 |
| Costra negra o rizoctoniasis | 151 |
| Agente causal..... | 151 |
| Importancia | 151 |
| Sintomatología | 151 |
| Recomendaciones de manejo integrado..... | 152 |
| Enfermedades causadas por virus..... | 153 |
| Enrollamiento, enrollado de las hojas | 153 |
| Mosaico rugoso..... | 154 |
| Virus S de la papa..... | 155 |
| Afectación por las enfermedades según las etapas fenológicas de la papa Perla Negra | 156 |
| Referencias | 157 |
| Capítulo XI | |
| Manejo integrado de los principales insectos plaga que afectan el cultivo de papa variedad Perla Negra | 160 |
| Introducción..... | 160 |
| Polilla guatemalteca <i>Tecia solanivora</i> (Povolny) (Lepidoptera: Gelechiidae) | 161 |
| Ciclo de vida | 162 |
| Épocas y métodos de muestreo | 163 |
| Recomendaciones de manejo | 164 |
| Gusano blanco de la papa <i>Premnotrypes vorax</i> (Hustache) (Coleoptera: Curculionidae) | 167 |
| Ciclo de vida | 168 |
| Épocas y métodos de muestreo | 170 |
| Recomendaciones de manejo | 171 |
| Pulguilla <i>Epitrix cucumeris</i> Harris, 1851 (Coleoptera: Chrysomelidae) | 173 |
| Ciclo de vida | 174 |
| Épocas y métodos de muestreo | 175 |
| Recomendaciones de manejo | 176 |
| Tostón o minador <i>Liriomyza quadrata</i> Malloch. (Diptera: Agromyzidae) | 177 |
| Ciclo de vida | 178 |
| Épocas y métodos de muestreo | 179 |
| Recomendaciones de manejo | 181 |
| Complejo de chisas <i>Ancognatha scarabaeoides</i> (Burmeister), <i>A. ustulata</i> (Burmeister), <i>Clavipalpus ursinus</i> (Blanchard) (Coleoptera: Melolonthidae) | 182 |

| | |
|---|------------|
| Ciclo de vida | 182 |
| Épocas y métodos de muestreo | 183 |
| Recomendaciones de manejo | 184 |
| Recomendaciones generales | 185 |
| Referencias | 186 |
| Capítulo XII | |
| Transformación | 191 |
| Parámetros de calidad: materia seca, gravedad específica y azúcares reductores..... | 191 |
| Parámetros de calidad en la variedad Perla Negra | 192 |
| Pruebas de calidad de la variedad | 193 |
| Perla Negra con agricultores..... | 193 |
| Referencias | 194 |
| Capítulo XIII | |
| Indicadores financieros..... | 195 |
| Costos de producción | 195 |
| Costos directos | 195 |
| Costos indirectos | 203 |
| Rendimientos | 204 |
| Precio..... | 205 |
| Referencias | 205 |
| Los autores..... | 206 |

Lista de figuras

| | | |
|------------------|---|----|
| Figura 1 | Características fenotípicas de la planta | 30 |
| Figura 2 | Características morfológicas de la planta de papa variedad Perla Negra.... | 31 |
| Figura 3 | Características fenotípicas del tubérculo: piel y carne | 32 |
| Figura 4 | AMMI Biplot para clones y ambientes para la variable 'peso total de tubérculos'. Perla Negra está codificado como el clon E..... | 34 |
| Figura 5 | AMMI Biplot para clones y ambientes para la variable 'número de tubérculos total'. Perla Negra está codificado como el clon E | 35 |
| Figura 6 | Desarrollo fenológico de la papa variedad Perla Negra | 41 |
| Figura 7 | Plántulas de papa variedad Perla Negra producidas en condiciones in vitro ... | 55 |
| Figura 8 | Técnica de endurecimiento de plántulas de papa en piscina..... | 56 |
| Figura 9 | Técnica de endurecimiento de plántulas de papa o adaptación de material inicial en vasos plásticos | 57 |
| Figura 10 | Sistema convencional de multiplicación de semilla de papa en fase I ... | 58 |
| Figura 11 | Distribución de plántulas de la variedad Perla Negra en un módulo del sistema aeropónico | 60 |
| Figura 12 | Minitubérculos de la variedad Perla Negra en el sistema aeropónico listos para ser cosechados..... | 63 |
| Figura 13 | Campo de multiplicación de semilla de la variedad Perla Negra categoría registrada | 65 |
| Figura 14 | Surcado para la siembra de papa realizado con un implemento manual de tracción animal..... | 71 |
| Figura 15 | Siembra manual de la variedad de papa Perla Negra | 72 |
| Figura 16 | Aporque de Perla Negra (formación de los surcos) | 73 |
| Figura 17 | Cosecha manual de Perla Negra | 74 |
| Figura 18 | División de un lote heterogéneo para toma de tres muestras de suelo ... | 79 |
| Figura 19 | Toma de muestra de suelo de 0 a 20 cm de profundidad con un barreno y una pala..... | 80 |
| Figura 20 | Alistamiento de la muestra | 81 |
| Figura 21 | Disponibilidad de los nutrientes según el valor de pH en la solución del suelo..... | 83 |
| Figura 22 | Representación gráfica de la ley del mínimo de Liebig. Las láminas de madera indican la cantidad disponible de cada nutriente para la planta, | |

mientras que la fuga de agua representa la pérdida en el rendimiento del cultivo por bajos niveles de Mg 92

Figura 23 Porcentajes acumulados de consumo de N, P y K de la variedad Perla Negra, a lo largo del ciclo del cultivo determinados, en Villapinzón (Cundinamarca). Barras: extracción del tubérculo 95

Figura 24 Porcentajes acumulados de consumo de Ca, S y Mg de la variedad Perla Negra, a lo largo del ciclo del cultivo, determinados en Villapinzón (Cundinamarca). Barras: extracción del tubérculo 96

Figura 25 Porcentaje acumulado de consumo de Zn, Mn, B y Cu de la variedad Perla Negra, a lo largo del ciclo del cultivo, determinados en Villapinzón (Cundinamarca). Barras: extracción del tubérculo..... 97

Figura 26 Propuesta de aplicaciones de fertilización en Perla Negra..... 101

Figura 27 Curva de requerimientos hídricos (Kc, aprox.) para el cultivo de papa variedad Perla Negra 113

Figura 28 Evaluación del porcentaje de severidad de gota (*Phytophthora infestans*) para la variedad Perla Negra y el testigo Diacol Capiro, en dos ambientes del altiplano cundiboyacense 2014 135

Figura 29 Comparación del comportamiento en campo entre la variedad Perla Negra (tolerante a tizón tardío) y una variedad susceptible con síntomas de infección 135

Figura 30 Evaluación del porcentaje de severidad de gota (*Phytophthora infestans*) para la variedad Perla Negra y el testigo Diacol Capiro, en dos ambientes del altiplano cundiboyacense, 2014 136

Figura 31 Modo de acción de principales fungicidas utilizados para el control de gota o tizón tardío en papa..... 138

Figura 32 Recomendación de manejo químico de gota para la variedad Perla Negra en condiciones de temporada seca y húmeda de acuerdo con la escala fenológica..... 140

Figura 33 Enfermedades que afectan el cultivo de la papa, encontradas en la variedad Perla Negra en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá 145

Figura 34 Camanduleo de papa ocasionado por *S. subterranea* en la variedad Perla Negra 148

Figura 35 Esporosoros de *S. subterranea* obtenidos a partir de agallas presentes en raíces de Perla Negra 149

Figura 36 Relación de las etapas fenológicas del cultivo de la variedad de papa Perla Negra con la aparición de los síntomas de las enfermedades encontradas en las distintas evaluaciones en el altiplano cundiboyacense 157

Figura 37 Principales plagas presentes en el cultivo de papa variedad Perla Negra... 161

Figura 38 Daño causado en tubérculo por polilla guatemalteca de la papa 162

Figura 39 Trampas con feromona sexual para captura de adultos macho de polilla guatemalteca de la papa 164

Figura 40 Etapas fenológicas en las que se presenta *Tecia solanivora* en el cultivo, estado biológico de la plaga y método de muestreo..... 167

Figura 41 Daños generados por *Premnotrypes vorax*..... 168

Figura 42 Etapas fenológicas en las que se presenta *Premnotrypes vorax* en el cultivo, estado biológico de la plaga, época y método de muestreo.. 171

Figura 43 Trampas para seguimiento de adultos de gusano blanco..... 172

Figura 44 Daño causado en follaje por pulguilla de la papa..... 174

Figura 45 Etapas fenológicas en las que se presenta *Epitrix* sp. en el cultivo. Estado biológico de la plaga, época y método de muestreo 177

Figura 46 Daño causado en follaje por minador o tostón de la papa..... 178

Figura 47 Trampas amarillas pegajosas para control y seguimiento de adultos de minador o tostón 180

Figura 48 Etapas fenológicas en las que se presenta *Liriomyza* spp. en el cultivo, estado biológico de la plaga y método de muestreo 181

Figura 49 Etapas fenológicas en las que se presenta el complejo de chizas en el cultivo, estado biológico de la plaga y método de muestreo..... 185

Figura 50 Época y método de muestreo de cada insecto plaga, de acuerdo con el estado fenológico del cultivo de papa Perla Negra 186

Lista de tablas

| | | |
|-----------------|--|-----|
| Tabla 1 | Principales departamentos productores de papa en Colombia | 16 |
| Tabla 2 | Áreas con aptitud para el cultivo de papa en Colombia. Semestre I-2016... | 17 |
| Tabla 3 | Características agronómicas y nutraceuticas entre las variedades Perla Negra y Diacol Capiro | 47 |
| Tabla 4 | Concentración de macro y micronutrientes en partes por millón (ppm) para la obtención de semillas de calidad en la variedad Perla Negra ... | 61 |
| Tabla 5 | Producción de minitubérculos de la variedad Perla Negra en condiciones de aeroponía | 64 |
| Tabla 6 | Clasificación por tamaños según norma NTC 341 | 74 |
| Tabla 7 | Peso de los tubérculos según su clasificación para las variedades de papa Perla Negra y Diacol Capiro en diferentes ambientes | 75 |
| Tabla 8 | Rangos de niveles edáficos que se correlacionan con las exigencias físico-nutricionales del cultivo de papa | 81 |
| Tabla 9 | Extracción de nutrientes por tonelada producida de la variedad Perla Negra en dos municipios de Cundinamarca | 93 |
| Tabla 10 | Distancia entre aspersores recomendada, de acuerdo con la velocidad del viento presente | 123 |
| Tabla 11 | Valores de severidad de gota (RAUDPC) en las variedades Perla Negra y Diacol Capiro en seis localidades del altiplano cundiboyacense, entre los años 2011 y 2013 | 134 |
| Tabla 12 | Principales enfermedades de la variedad de papa Perla Negra en el altiplano cundiboyacense | 144 |
| Tabla 13 | Consolidado de resultados de peso específico y porcentaje de 'materia seca' de Corpoica, McCain y Yupi. Parcelas semicomerciales, año 2015 | 193 |
| Tabla 14 | Costos de adecuación del terreno para una hectárea de Perla Negra en el municipio de Ventaquemada (Boyacá) | 196 |
| Tabla 15 | Costos de siembra para una hectárea de Perla Negra en el municipio de Ventaquemada (Boyacá) | 197 |
| Tabla 16 | Costos de control de malezas, reabonada y aporque para una hectárea de Perla Negra en el municipio de Ventaquemada (Boyacá) | 198 |
| Tabla 17 | Costos de control de plagas y enfermedades para una hectárea de Perla Negra en el municipio de Ventaquemada (Boyacá) | 199 |

| | | |
|-----------------|---|-----|
| Tabla 18 | Costos de corte de ramas para una hectárea de Perla Negra en el municipio de Ventaquemada (Boyacá) | 202 |
| Tabla 19 | Cosecha de una hectárea de Perla Negra en el municipio de Ventaquemada (Boyacá) | 202 |
| Tabla 20 | Total de costos directos de producción para una hectárea de Perla Negra en el municipio de Ventaquemada (Boyacá) por grandes rubros | 203 |
| Tabla 21 | Total de costos indirectos de producción para una hectárea de Perla Negra en el municipio de Ventaquemada (Boyacá) | 203 |
| Tabla 22 | Costos totales de producción para una hectárea de Perla Negra en el municipio de Ventaquemada (Boyacá) | 204 |
| Tabla 23 | Rendimientos por hectárea de Perla Negra, dos variedades referentes y el promedio nacional | 205 |
| Tabla 24 | Precios por kg para Suprema y Pastusa, en Corabastos, serie de tiempo 2013-2017 | 205 |

Introducción

Perla Negra es una nueva variedad de papa que se registró en Colombia en el año 2016, para el altiplano cundiboyacense. Este material genético se caracteriza por presentar tolerancia a gota, 50 % menor número de aplicaciones. En relación con la variedad Diacol Capiro, el rendimiento se ubicó en el rango de 38,37 a 43,10 t/ha, con un número promedio de 385 tubérculos y una proporción del 72 % de papa categoría cero y primera, y con adaptación específica. El uso de la variedad Perla Negra es de doble propósito: para consumo en fresco y para la industria (elaboración de papas chips y bastones).

Esta variedad tiene altos contenidos de hierro (Fe), zinc (Zn) y cobre (Cu) (39,5, 18,9 y 14,1 mg/kg respectivamente), en comparación con la variedad Diacol Capiro, los cuales fueron más bajos. Además, Perla Negra se caracteriza por un mayor contenido de antioxidantes, como vitamina C —ácido ascórbico, 16,73 mg; fenoles totales, 168 μ mol trolox/100 g; y capacidad antioxidante 10.040 Teac (μ mol trolox/100 gr de muestra)—.

La variedad Perla Negra, en condiciones de la sabana de Bogotá (2.600 m s. n. m.), no presenta diferencias significativas con respecto a la variedad Diacol Capiro, si se tiene en cuenta su concentración de azúcares reductores (baja menos a < 2), el alto contenido de sólidos totales, la gravedad específica y el color de hojuela.

En el año 2010 se evaluaron en condiciones de campo 25 clones introducidos del Centro Internacional de la Papa, con características de tolerancia a gota, alto rendimiento y calidad industrial, en las localidades de Zipaquirá y Carmen de Carupa (Cundinamarca). De estos clones se seleccionaron los ocho mejores, los cuales presentaron un mejor comportamiento agronómico y las características deseables del tubérculo (forma, color, piel y carne). Los seleccionados se evaluaron, durante los años 2011 y 2013, con Pruebas de Evaluación Agronómica inscritas ante el ICA para el altiplano cundiboyacense. Al final del proceso de evaluación se seleccionó un clon 391691-96 como candidato a una nueva variedad, que se denominó Perla Negra.

El *Modelo productivo para la variedad Perla Negra* se presenta en forma de capítulos, conformados por áreas temáticas que dan a conocer las cualidades y ventajas de la nueva variedad y tienen como aspectos relevantes la descripción fenotípica, las características y propiedades, el comportamiento agronómico y fisiológico, el requerimiento nutricional, los tratamientos para evitar o erradicar las plagas y las enfermedades relevantes de la variedad, así como los diferentes esquemas de producción de semilla básica para la multiplicación del material e indicadores económicos.

Este documento está dirigido a la cadena productiva de la papa en el altiplano cundiboyacense, especialmente, a la comunidad de asistentes técnicos, productores y estudiantes de facultades de agronomía, quienes encontrarán información técnica desde el punto de vista de las diferentes áreas temáticas del comportamiento y el manejo de la variedad para el altiplano cundiboyacense.

Capítulo I

Área geográfica y entorno ambiental

Introducción

Según la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA), para el 2016 se registró un total de 160.595 hectáreas cosechadas con una producción de 3.034.031 toneladas de papa, lo cual representó un incremento de un 14,89 %, en comparación con la producción reportada para el año 2015 (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2017).

El cultivo de papa es uno de los sistemas productivos más importantes del país y es la base de subsistencia de 110.000 familias. Los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Nariño son los principales productores; allí se concentra el mayor porcentaje de participación por área sembrada, área cosechada y producción a nivel nacional, como se muestra en la tabla 1 (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2015).

Tabla 1. Principales departamentos productores de papa en Colombia

| Departamento | Área sembrada (Ha) | Área cosechada (Ha) | Producción (t) | Participación (%) |
|--------------|--------------------|---------------------|----------------|-------------------|
| Cundinamarca | 66.622 | 62.424 | 1.454.767 | 43,5 |
| Boyacá | 47.203 | 46.212 | 823.039 | 24,6 |
| Nariño | 39.384 | 32.722 | 619.699 | 18,5 |

Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural MADR (2015)

De acuerdo con el Sistema de Información para la Planificación Rural Agropecuaria (Sipra), según lo publicado en el año 2016, en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Nariño, se concentra el 77 % del área con mayor aptitud para el cultivo de papa, correspondiente a 388.207 ha (Sipra, 2016) (tabla 2).

Tabla 2. Áreas con aptitud para el cultivo de papa en Colombia. Semestre I-2016

| Departamento | Alta | Media | Baja | Total |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|------------------|
| Cundinamarca | 144.982 | 232.836 | 72.778 | 450.596 |
| Boyacá | 123.818 | 199.869 | 34.834 | 358.521 |
| Nariño | 119.407 | 77.361 | 57.870 | 254.638 |
| Antioquia | 74.711 | 98.314 | 39.969 | 212.994 |
| Santander | 2.049 | 75.176 | 45.260 | 122.485 |
| Norte de Santander | 4.525 | 42.953 | 26.889 | 74.367 |
| Tolima | 3.991 | 44.440 | 50.550 | 98.981 |
| Cauca | 21.695 | 115.763 | 76.297 | 213.755 |
| Valle del Cauca | 8.912 | 21.945 | 9.965 | 40.822 |
| Total | 504.090 | 908.657 | 414.412 | 1.827.159 |

Fuente: Elaboración propia con base en información del Sipra (2016)

La producción de papa en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá se localiza en la cordillera Oriental, donde se incluyen las zonas altas del sistema andino y ecosistemas de montaña y páramo hasta 3.600 m s. n. m. En Cundinamarca, cerca del 40 % de los cultivos se encuentran por encima de los 3.000 m s. n. m., lo cual afecta los ecosistemas de páramo (Fondo Nacional de Fomento de la Papa [Fedepapa], 2004).

Para el cultivo, las temperaturas óptimas están entre los 12 y los 14 °C. En lo referente al suministro de agua, el cultivo de papa requiere lluvias bien distribuidas de 600 a 800 mm en el año (Cámara de Comercio Bogotá, 2015). En este sentido, las zonas de producción de los departamentos mencionados anteriormente presentan una precipitación pluvial entre 700 y 2.000 mm/año, distribuidos en dos periodos de lluvia: entre febrero y mayo y de septiembre a noviembre; la temperatura varía entre 12 y 18 °C, y la humedad relativa fluctúa entre el 70 y 90 %, con probabilidad variable de ocurrencia de heladas entre diciembre y febrero (Fedepapa, 2004).

Los suelos donde se realiza el cultivo de la papa cuentan con diversas características dependiendo de la altitud, topografía predominante, régimen climático e historial de utilización agrícola. De manera general, para el altiplano cundiboyacense, los suelos, por la condición de origen geológico, contienen

arcillas amorfas de origen volcánico, que generan alta fijación de fósforo; además, por la condición de clima frío son suelos con altos contenidos de materia orgánica, acidez moderada a alta y contenidos variables con tendencia a altos en elementos como el K, y moderados o bajos contenidos en elementos como calcio y magnesio (Barrera, 1998).

En cuanto a las variedades cultivadas, en Colombia se dispone de alrededor de 250 variedades de papa, sin embargo, solo hay cerca de 30 variedades comerciales, entre las cuales, en orden de importancia, se encuentran: Pastusa Suprema, Diacol Capiro y Parda Pastusa; la primera corresponde a una variedad relativamente nueva que ha ido reemplazando paulatinamente a la última (Barrientos & Núñez, 2014). En el mismo sentido, existen otras variedades que se cultivan en menor escala como son Ica Única, Ica Puracé, Tuquerreña y Roja Nariño (MADR, 2010). Sin embargo, el mantenimiento y la mejora de los sistemas productivos de papa demandan investigación, generación y entrega de nuevas variedades con mejor adaptación a los cambios ambientales, que permitan superar la pérdida de resistencia a limitantes fitosanitarios y contribuyan a mantener, incrementar o realizar la producción de papa de manera eficiente y sostenible.

Respecto a los sistemas de producción de papa, en el altiplano cundiboyacense se presenta un mosaico determinado por la variabilidad en la oferta ambiental y la articulación con los mercados. En dicho escenario se encuentra un primer sistema empresarial en zonas de menor altitud, con relieves de baja pendiente, donde los productores son propietarios o tienen acceso a maquinaria, realizan alto uso de insumos agropecuarios, disponen de agua para riego, realizan arrendamiento de tierras y se articulan con el sistema financiero (Castaño & Uribe, 2002). Un segundo sistema de producción está ubicado en zonas de mayor pendiente, con áreas de menor extensión y menor acceso a maquinaria, donde la producción se realiza bajo modalidades asociativas, con alto uso de mano de obra familiar y donde ocurre la producción de otros cultivos como arveja, maíz y zanahoria, entre otros. Existe un tercer sistema de rotación con papa, en el que se realizan dos ciclos de producción de papa en rotación con dos a cuatro años, en potreros que se destinan a la producción pecuaria con ganado bovino de leche (Gutiérrez, 2016).

En cuanto al tamaño de las explotaciones agrícolas productoras de papa o del sistema productivo de papa, los agricultores se tipifican en pequeños (quienes siembran menos de 3 hectáreas, corresponden al 95 % de los agricultores y generan cerca del 45 % de la producción), medianos (siembran de 3 a 5 hectáreas y aportan alrededor del 35 % de la producción) y grandes (siembran más de 5 hectáreas y participan con alrededor del 20 % de la producción) (MADR, 2010).

Referencias

- Barrera, L. (1998). Fertilización del cultivo de la papa en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá. En R. Guerrero (Ed.), *Fertilización de cultivos de clima frío* (pp. 47-67). Barranquilla, Colombia: Monómeros Colombo Venezolanos.
- Barrientos, J. C., & Núñez, C. E. (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.
- Cámara de Comercio de Bogotá. (2015). *Manual Papa. Programa de apoyo agrícola y agroindustrial vicepresidencia de fortalecimiento empresarial cámara de comercio de Bogotá* (pp. 54). Bogotá: Cámara de Comercio.
- Castaño-Uribe, C. (Ed.). (2002). *Páramos y ecosistemas altoandinos de Colombia en condición HotSpot & Global climatic tensor*. Bogotá, Colombia: Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (Ideam).
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE] (2017). *Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA-2016) (Boletín técnico)*. Bogotá, Colombia: DANE. Recuperado de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/2016/boletin_ena_2016.pdf.
- Fondo nacional de fomento de la papa [Fedepapa]. (2004). *Guía ambiental para el cultivo de la papa. Colombia: Fedepapa*. Recuperado de http://www.siame.gov.co/siame/documentos/Guias_Ambientales/Guias_Resolución_1023_del_28_de_julio_de_2005/AGRICOLA_Y_PECUARIO/Guia_Ambiental_para_el_cultivo_de_la_papa.pdf.

- Gutiérrez Herrera, R. 2016. *Recomendaciones sobre la inclusión de la biodiversidad en las políticas y programas de seguridad alimentaria*. Bogotá, Colombia: Instituto de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2010). *Acuerdo de competitividad de la cadena agroalimentaria de la papa*. Recuperado de [https://sioc.minagricultura.gov.co/Papa/Documentos/004 %20-%20Documentos %20Competitividad %20Cadena/004 %20-%20D.C. %20-%20Nuevo %20Acuerdo %20Competitividad.pdf](https://sioc.minagricultura.gov.co/Papa/Documentos/004%20-%20Documentos%20Competitividad%20Cadena/004%20-%20D.C.%20-%20Nuevo%20Acuerdo%20Competitividad.pdf).
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2015). *Área sembrada y área cosechada del cultivo de papa 2007-2015*. Recuperado de <http://www.agronet.gov.co/Documents/Papa2015.pdf>.
- Sistema de Información para la Planificación Rural Agropecuaria [Sipra]. (2016). *Sipra: Planificación nacional*. Recuperado de <https://sipra.upra.gov.co/>.

Capítulo II

Evolución y origen de las papas cultivadas

La domesticación de la papa *Solanum tuberosum* L. se dio en el sur del Perú de los Andes suramericanos a partir de ancestros de especies silvestres. Las especies silvestres y cultivadas de papa tienen un rango de adaptación desde el suroccidente de Estados Unidos de América hasta la cordillera Central del sur de Chile, las cuales crecen y se desarrollan en una gran diversidad de ecosistemas como montañas, zonas áridas y campos cultivados (Rodríguez, 2009, 2010; Hardigan et al., 2017; Huaman & Spooner, 2002; Estrada, 2000).

Debido a su gran aporte de especies silvestres y cultivadas (y dentro de estas últimas, la presencia de las variedades nativas, locales y mejoradas), la papa representa un gran *pool* genético con diferente grado de ploidia y una amplia diversidad y variabilidad genética a nivel mundial (Estrada, 2000; Rodríguez, 2009).

Origen de la papa diploide cultivada

Las variedades cultivadas actualmente se originaron hace seis mil y diez mil años (Rodríguez, 2010), a partir de las primeras papas cultivadas, producto de las selecciones sucesivas de los agricultores en las montañas de los Andes (Spooner & Hetterscheid, 2005).

La papa cultivada tuvo su origen a partir de la especie *Solanum brevicaule* en la región del norte del lago Titicaca, de acuerdo con el análisis de la genética tanto de especies silvestres como de cultivares nativos (Spooner & Hetterscheid, 2005; Van den Berg et al., 1998). Según la revisión de Rodríguez (2010), antes de estos análisis se plantearon varias hipótesis, en las cuales se afirma que las variedades cultivadas se habían desarrollado en lugares diferentes de las montañas de los Andes con orígenes múltiples e independientes, a partir de diversas especies silvestres (Hawkes, 1990; Huamán & Spooner, 2002; Ochoa, 1990).

A través de la historia se ha discutido sobre cuál fue la especie o especies que dieron origen a la papa cultivada. De acuerdo con los estudios realizados en los últimos años y si se tienen en cuenta los parámetros morfológicos y datos de pasaporte, la primera papa cultivada fue *S. stenotomum*, a partir de sus ancestros *S. leptophyes* y *S. canasense* (Ghislan, Andrade, Rodríguez, Hijmans, & Spooner, 2006; Huamán & Spooner, 2002).

Origen de la papa tetraploide cultivada

De acuerdo con Rodríguez (2010), las papas del grupo Andigena (*andigenum*) (*S. tuberosum* L., subsp. *andigena* Hawkes) (Hawkes, 1990; Huamán & Spooner, 2002; Spooner et al., 2007) son muy importantes por presentar variedades nativas o de agricultores que fueron seleccionadas por ellos mismos en las montañas de los Andes, en un rango de altitud entre los 2.000 y los 4.000 m s. n. m.

Según Sukhotu y Hosaka (2006), citados por Rodríguez (2010), *S. andigena* proviene de *S. stenotomum* a partir de hibridación interespecífica, producto del proceso de polinización sexual ocurrido en diferentes lugares geográficos del Perú.

Origen de la papa tetraploide cultivada tipo Chilotanum

Según Rodríguez (2010), 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.

De acuerdo con Juzepczuk y Bukasou (1929), las papas cultivadas modernas provienen de los cultivares nativos *S. lethostigma* y *S. molinae*, que dieron origen a *S. chilotanum* que, a su vez, se cruzó con *S. andigena*, para dar origen a *S. tuberosum* subsp. *europaeum*. Otros autores afirman que el origen se dio a partir de cultivares nativos andinos tetraploides pertenecientes a *S. andigena* (Hawkes & Francisco-Ortega, 1992; Salaman & Hawkes, 1949). Según Hawkes

(1990) y Hosaka (2003), los cultivares nativos chilenos, por derivación secundaria, se originaron de cultivares andinos, posiblemente a través del cruzamiento entre especies bolivianas o argentinas de *S. tarijense*. Todas estas hipótesis hacen que el origen de las papas modernas sea muy controvertido (Rodríguez, 2010).

Para Hardigan et al. (2017), la sección *petota* de *solanum* posee especies silvestres como cultivadas, las cuales crecen y se desarrollan en montañas andinas con altitudes de 3.000 a 4.000 m s. n. m. y en zonas bajas de la parte central (sur de Chile y el Archipiélago de Conos y Guaitecas), con un rango de distribución desde el occidente de Venezuela hasta el sur de Colombia, Ecuador, Perú y la parte norte de Argentina.

Huamán y Spooner (2002) afirman que existen 199 especies silvestres y cultivadas que producen tubérculos, con un amplio rango de distribución que va desde el sureste de Estados Unidos hasta la parte central y sur de Chile (Spooner & Hijmans, 2001). Estos mismos autores afirman que, 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 papa. El primer investigador que contó el número de cromosomas y estableció los diferentes grados de ploidía diploides ($2n = 4x = 48$), triploides ($2n = 3x = 36$), tetraploides ($2n = 4x = 48$) y pentaploides ($2n = 5x = 60$) fue Bukasov en el año 1939, quien utilizó dicha información para plantear la hipótesis del origen de la hibridación en papa (Spooner & Hijmans, 2001; Spooner et al., 2004; Spooner & Salas, 2006).

Para Hardigan et al. (2017), *Solanum* sección *petota* está basada en un extenso germoplasma, con una gran variabilidad y diversidad, que 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 y alta radiación solar con altitudes de 3.000 a 4.500 m s. n. m. Este mismo autor afirma que, de acuerdo con la adecuación de materiales adaptados al crecimiento, maduración y producción de tubérculos en condiciones de días largos, según su linaje, estos se dieron en el centro y sur

de Chile y, por último, en Europa y Norteamérica. Los cultivares que crecen en dichas latitudes se denominan monoecuatoriales.

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 desde una hasta veinte especies. Spooner et al. (2005) afirman que estas especies conforman un mismo *pool* genético.

Para Spooner et al. (2008), citados 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 su gran 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), existen varios puntos de vista entre especialistas en cuanto a 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, citado por Rodríguez (2009), realizó un gran esfuerzo al clasificar y reconocer la papa en 21 series, incluyendo las papas silvestres e incorporando especies tuberosas y no tuberosas; sin embargo, los estudios realizados por Spooner y Sytsma (1992), Spooner et al. (1993) y Spooner y Castillo (1997) demostraron que las especies no *tuberosum* no pertenecen a la sección *petota*.

Por su parte, Bukason (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 (ICBN *International Code of Botanical Nomenclature*) (Rodríguez, 2009).

Según Rodríguez (2009), el investigador Dodds en 1962 reconoció tres especies: *S. curtilobum*, *S. juzepczukii* y *S. tuberosum*, utilizando las categorías propuestas por el INCP, y clasificó las papas cultivadas como grupos. Otros investigadores como Hawkes (1990) clasificaron y reconocieron siete especies y siete subespecies cultivadas; por su parte, el taxónomo peruano Ochoa, en 1990 y 1999, reconoció un número mayor de especies y clasificó dos subespecies subsp. *andigena* y subsp. *tuberosum*.

En estudios más recientes, los investigadores Huamán y Spooner (2002) —según la información molecular sobre el aspecto fenotípico y las diferentes teorías de hibridación continua y origen múltiple— clasifican las papas cultivadas en ocho grupos: Ajanhuiri, Andigena, Chaucha, Chilotanum, Curtilobum, Juzepczukii, Phureja y Stenotomum, pertenecientes a una sola especie *S. tuberosum* L. (Rodríguez, 2009).

El grupo de investigación de Spooner et al. (2007), en los últimos diez años, clasificaron las papas silvestres como cultivadas en cuatro especies: *S. ajanhuiri* (diploide), *S. juzepczukii* (triploide), *S. curtilobum* (pentaploide) y *S. tuberosum* L., con dos grupos cultivados: Andigena (*andigenum*) y Chilotanum. El primer grupo está conformado por todas las papas andinas, las cuales crecen a lo largo de las montañas de los Andes, con un rango de distribución desde Venezuela hasta Argentina y con dos grados de ploidía (diploides y tetraploides), mientras que el segundo grupo se refiere a las papas adaptadas a días largos, que crecen en tierras bajas del centro y sur de Chile, incluyendo las islas del archipiélago de los Chonos (Ames & Spooner, 2008; Ghislain, Núñez, Herrera, & Spooner, 2009; Huamán & Spooner 2002).

Referencias

- Ames, M., & Spooner, D. (2008). El ADN de especímenes de herbario resuelve una controversia sobre los orígenes de la papa europea. *American Journal of Botany*, 95(2), 252-257.
- Bukasov, S. M. (1971). Cultivated potato species. En S. M. Bukasov (Ed.), *Flora of cultivated plants* (Vol. IX, pp. 5-40). Leningrad: Publ. House Kolos.

- Estrada, N. (2000). *La biodiversidad en el mejoramiento genético de la papa*. Bolivia, La Paz: Plural Editores.
- 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.
- Ghislain, M., Núñez, J., Herrera, M.R. & Spooner, D. M. (2009). The single Andigenum origin of *Neo-tuberosum*-*Tuberosum* potato materials is not supported by microsatellite and plastid marker analyses. *Theoretical and Applied Genetics*, 118(5), 963-969.
- Hardigan, M., Laimbeer, P., Newton, L., Crisovan, E., Hamilton, J., Vaillancourt, B., ... Buell, 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.
- Hawkes, J. G. (1990). *The potato: evolution, biodiversity and genetic resources*. London: Belhaven Press.
- Hawkes, J. G., & Francisco-Ortega, H. (1992). The potato in Spain during the late 16th century. *Economic Botany*, 46(1), 86-97.
- Hosaka, K. (2003). T-type chloroplast DNA in *Solanum tuberosum* L. ssp. *tuberosum* was conferred by some populations of *S. tarijense* Hawkes. *American Journal of Potato Research*, 80(1), 21-32.
- Huamán, Z., & Spooner, D. M. (2002). Reclassification of landrace populations of cultivated potatoes (*Solanum* sect. *petota*). *American Journal of Botanic*, 89(6), 947-965.
- 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 of Genetics, Plant- and Animal-Breeding*, 3, 592-611.
- Lechnovich, V.S. (1971). Cultivated potato species. En S. M. Bukasov (Ed.), *Flora of cultivated plants* (Vol. 9, pp. 41-304). Leningrad, Rusia: Pub. House Kolos.
- Ochoa, C. M. (1990). *The potatoes of South America: Bolivia*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Ochoa, C. M. (1999). *Las papas de Sudamérica*. Centro Internacional de la Papa, Lima.

- Rodríguez, L. (2009). Teorías sobre la clasificación taxonómica de las papas cultivadas (*Solanum* L. sect. *Petota* Dumort.). Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 27(3), 305-312.
- Rodríguez, L. (2010). Origen y evolución de la papa cultivada. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 28(1), 9-17.
- Salaman, R. N., & Hawkes, J. G. (1949). The character of the early European potato. *Proceedings of the Linnean Society of London*, 161, 71-84.
- 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.
- Spooner, D. M., & Hetterscheid, W. L. A. (2005). Origins, evolution, and group classification of cultivated potatoes. En T. J. Motley, N. Zerega & H. Cross (Eds.), *Darwin's harvest: new approaches to the origins, evolution, y conservation of crops* (pp. 285-307). New York: Columbia University Press.
- Spooner, D. M., & Hijmans, R. J. (2001). Potato systematics and germplasm collecting, 1989-2000. *American Journal of Potato Research*, 78, 237-268
- 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.
- Spooner, D. M., Hetterscheid, W. L. A., Van den Berg, R. G., & Brandenburg, W. (2003). Plant nomenclature and taxonomy: an horticultural and agronomic perspective. *Horticultural Reviews*, 28, 1-60.
- Spooner, D. M., Salas, A., Huamán, Z., & Hijmans, R. J. (1999). Wild potato collecting expedition in southern Peru (Departments of Apurímac, Arequipa, Cusco, Moquegua, Puno, Tacna) in 1998: taxonomy and new genetic resources. *American Journal of Potato Research*, 76, 103-119.
- Spooner, D. M., Van den Berg, R. G., Bryan, G., & Del Rio, A. (2003). Species concepts and relationships in wild and cultivated potatoes. *Acta Horticulturae*, 619, 63-75.

- Spooner, D., Núñez, J., Trujillo, G., Herrera, 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.
- 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, 92-109.

Capítulo III

Descripción y características de la variedad Perla Negra

La variedad Perla Negra corresponde al cruzamiento CIP 381381-9 × CIP LB-CUZ-1, progenitor femenino: 381381-9, progenitor masculino: LB-CUZ-1, código CIP 391691-96, obtenida por el Centro Internacional de la Papa (CIP), evaluada y registrada por AGROSAVIA. Es una variedad mejorada con registro del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Resolución número 5236 del 12 de mayo del 2016 en Colombia para el altiplano cundiboyacense (ICA, 2016).

En Perú, este mismo material fue liberado por el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) y el CIP con el nombre de Serranita, en el año 2005, para los departamentos de Junín, Huánuco, Cusco, Ayacucho y Cajamarca, con código de identificación: INIA 309 CIP 391691-96 (INIA, 2012).

Descripción fenotípica

La variedad Perla Negra es una planta herbácea de porte alto, con hábito de crecimiento semierecto, altura promedio de 88 cm y una estructura de follaje ramificado. El color de los tallos, según la *Color chart guide* (Royal Horticultural Society [RHS], 2015), es *N 187 greyed-purple group dark purplish grey A*. El diámetro de los tallos principales es de 1,2 cm, con arista del tallo recta. Las hojas son de color *green group haz 133 dark bluish green A* (RHS, 2015), el envés es *moderate bluish green B*, con presencia de antocianinas en el raquis y peciolo del haz de la hoja; con apertura abierta y disectada, con una longitud promedio de la hoja compuesta de 31 cm y un ancho de 18 cm (figuras 1 y 2).



Fotos: Baltazar Coronel Ortiz

Figura 1. Características fenotípicas de la planta. a. Planta completa de la variedad Perla Negra; b. Tallo de la variedad.

Las flores presentan como color principal el *94 violet-blue group strong violet A* (RHS, 2015), color secundario blanco en el acumen del envés. El grado de floración es moderado, el número promedio de inflorescencias/planta es de cinco y el número promedio de flores/inflorescencia es de ocho, con un diámetro de corola de 4 cm.

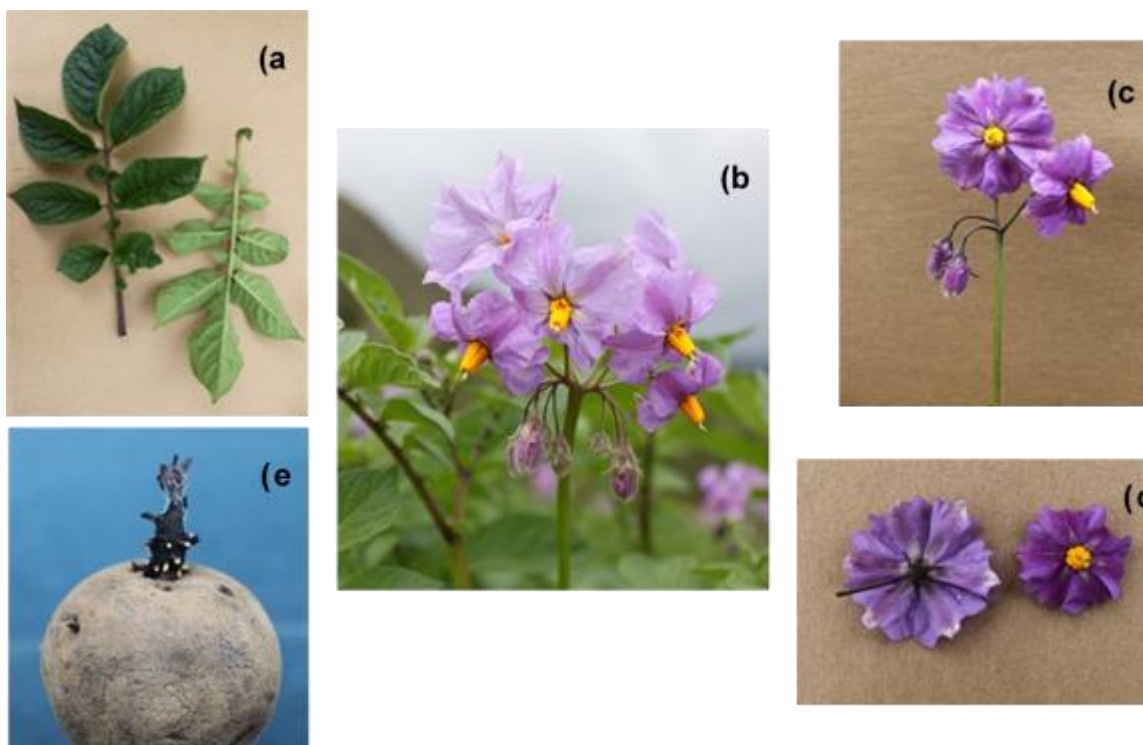


Foto: Baltazar Coronel Ortiz

Figura 2. Características morfológicas de la planta de papa variedad Perla Negra. a. Haz y envés de la hoja; b. Inflorescencia; c. Flor; d. Haz y envés de la flor; e. Brote.

El número promedio de estolones primarios es de 32, con una longitud de 7 cm. Los tubérculos de la variedad Perla Negra son de forma redonda; la piel del tubérculo es de color *92 violet-blue group dark greyish purple A* (RHS, 2015); la textura de piel es lisa, con ojos de profundidad media y un número promedio de ojos de ocho. La longitud del tubérculo es de 7,2 cm, con un diámetro de 6,7 cm. El color de la carne es *NN 155 white group white D* (RHS, 2015) (figura 3).



Foto: Baltazar Coronel Ortiz

Figura 3. Características fenotípicas del tubérculo: piel y carne.

El color primario de los brotes del tubérculo de la variedad Perla Negra es 92 *violet blue group dark violet C* (RHS, 2015) y el color secundario es blanco con una distribución de varias manchas a lo largo del brote; el brote es de forma cilíndrica estrecha (figura 3) (Valbuena, 2016).

Comportamiento del rendimiento en pruebas de evaluación agronómica (PEA)

Se realizaron unas Pruebas de Evaluación Agronómicas (PEA) en una finca de agricultores, mediante la utilización de un diseño experimental de bloques completos al azar (BCA), en la localidad de Ventaquemada (Boyacá), con un análisis de varianza de un nivel de significancia del 5% para la variable 'rendimiento (t/ha)' y según la prueba de Dunnett. Como resultado, no se presentaron diferencias significativas entre la variedad Perla Negra y testigo

Diacol Capiro, sin embargo, en promedio, Perla Negra tuvo un mayor rendimiento (28,37 t/ha) con respecto Diacol Capiro (24,06 t/ha). Igualmente, en la localidad de Turmequé (Boyacá), de acuerdo con los anteriores análisis estadísticos, para la variable en mención tampoco se evidenciaron diferencias significativas, no obstante, Perla Negra presentó el mayor rendimiento en promedio (31,71 t/ha) con respecto a Diacol Capiro (24,37 t/ha). Este comportamiento de la variedad Perla Negra y el del testigo Diacol Capiro se debió a que en estas localidades la severidad de gota fue muy alta (véase capítulo IX), lo cual incidió bastante en el comportamiento de los clones evaluados (Valbuena, 2014).

Para el caso de la localidad de Zipaquirá (Cundinamarca), según el análisis de varianza y la prueba de Dunnett, tampoco se presentaron diferencias importantes, con un nivel de significancia del 5 %, sin embargo, la variedad Perla Negra mostró el promedio de rendimiento más alto (43,10 t/ha) en comparación con el testigo Diacol Capiro (32,77 t/ha) (Valbuena, 2014).

De acuerdo con el análisis de varianza (Anova), para la variable 'peso total de tubérculos', la interacción localidad × clon con un nivel de significancia del 5 % fue relevante, y la variedad Perla Negra presentó, en la localidad de Zipaquirá (Cundinamarca), el mayor promedio de producción con 86,20 kg/20 m² (Valbuena, 2014).

En cuanto a la variable 'número de tubérculos totales' —de acuerdo con el análisis de varianza, la prueba de comparación de promedios (Tukey) y el promedio de siete localidades de evaluación en el altiplano cundiboyacense—, la variedad Perla Negra y el testigo Diacol Capiro evidenciaron diferencias significativas a nivel del 5 %. Con base en lo anterior, Perla Negra presentó un promedio de 385 tubérculos en comparación con la variedad testigo Diacol Capiro, que alcanzó un promedio de 325 tubérculos en total (Valbuena, 2014).

De acuerdo con el análisis AMMI para la variable 'peso total de tubérculos', se presentaron diferencias significativas ($p < 0,01$) para ambiente, clon y la interacción ambiente × clon, de forma tal que el ambiente fue de 54,58 %, los clones 23,74 % y la interacción ambiente × clon fue de 3,80 %. Según el modelo

AMMI, se encontró que los tres primeros componentes presentaron diferencias ($p < 0,01$), y juntos explican el 92,13% de la variabilidad de la interacción ambiente \times clon. La variedad Perla Negra para esta variable no presentó una adaptación específica a las localidades evaluadas (Turmequé, Ventaquemada, Villapinzón, Zipaquirá, Lenguaque y Subachoque) (figura 4). Para la variable 'número total de tubérculos' se presentaron diferencias significativas ($p < 0,01$) para ambiente, clon y la interacción ambiente*clon. Perla Negra, para esta variable, evidenció una adaptación específica a la localidad Turmequé (figura 5); según el análisis AMMI para las variables que hacen referencia a los componentes de rendimiento (número y peso de tubérculos/categoría), presentó un comportamiento de adaptación específica para los ambientes de Villapinzón y Zipaquirá (Cundinamarca) y Turmequé (Boyacá) (Valbuena, 2014).

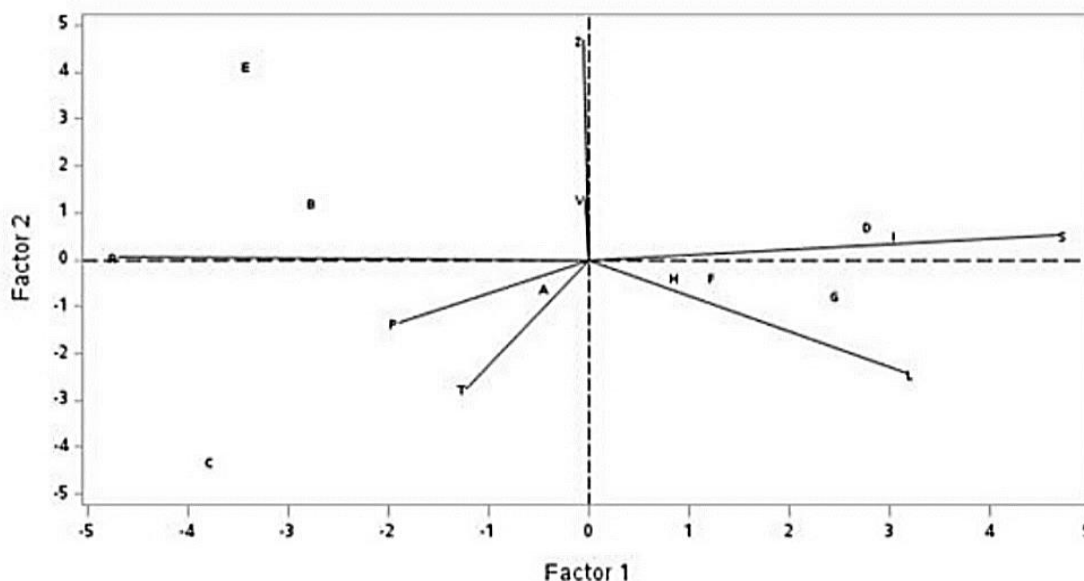


Figura 4. AMMI Biplot para clones y ambientes para la variable 'peso total de tubérculos'. Perla Negra está codificado como el clon E.

Fuente: Valbuena, 2016

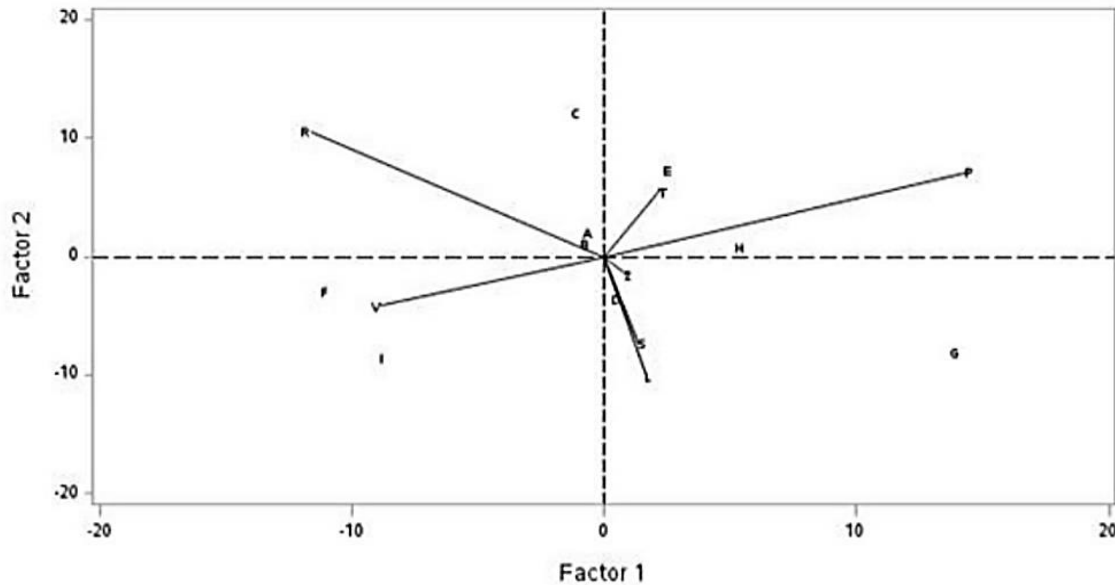


Figura 5. AMMI Biplot para clones y ambientes para la variable 'número de tubérculos total'. Perla Negra está codificado como el clon E.

Fuente: Valbuena, 2016

Comportamiento del rendimiento a nivel de pruebas semicomerciales

Para la variable 'peso total de tubérculos', de acuerdo con el análisis de varianza con un nivel de significancia del 5% y según la prueba de comparación de promedios (t), se presentaron diferencias significativas entre las dos variedades. En efecto, Perla Negra, en la localidad de Ventaquemada (Boyacá), tuvo el promedio de rendimiento más alto (35,46 t/ha), mientras que Diacol Capiro solamente alcanzó un promedio de 17,26 t/ha. Este comportamiento se debió especialmente a que, en el año 2015, la severidad de gota fue muy alta (capítulo IX).

Para la localidad de Villapinzón (Cundinamarca), el comportamiento de la variable 'rendimiento' fue similar: según los análisis anteriores —análisis de varianza y prueba de comparación de promedios (t)—, se descubrieron

diferencias significativas con un nivel de significancia del 5% entre las dos variedades. Perla Negra evidenció el promedio más alto (28,86 t/ha), mientras que el testigo Diacol Capiro registró una producción de 21,23 t/ha, comportamiento que, en dicha localidad se debió al factor abiótico (helada) que incidió en las dos variedades, pues la helada surgió en la etapa de desarrollo de llenado intermedio del tubérculo (Valbuena, 2014).

De acuerdo con el análisis de varianza, con el nivel de significancia del 5% y la prueba de comparación de promedios (Tukey) para la variable 'rendimiento', y según el análisis combinado promedio de las dos localidades de evaluación, la variedad Perla Negra presentó el promedio más alto (32,16 t/ha), mientras que el testigo Diacol Capiro solamente alcanzó 19,25 t/ha. Este resultado se debió a los factores bióticos (gota) y abiótico (helada) que se presentaron en cada una de las respectivas localidades de evaluación (Valbuena, 2014).

Propiedades nutricionales de la variedad Perla Negra

Las propiedades nutricionales son un factor muy importante en las nuevas variedades de papa. De acuerdo con el análisis proximal para la variedad Perla Negra y el testigo Diacol Capiro, se determinó la materia seca (NTC 4888-ISO 6496), cenizas (AOAC 942,05), proteína (AOAC 960,52 y 2001,11), fibra cruda (ISO 6865 NTC 5122) y la cuantificación de minerales —hierro (Fe), zinc (Zn), magnesio (Mg), calcio (Ca), cobre (Cu) y potasio (K)— por espectrometría de absorción atómica. También para las dos variedades se realizó el análisis de metabolitos secundarios con actividad antioxidante: fenoles totales, antocianinas totales, ácido clorogénico y ácido ascórbico (Pérez, 2017).

En cuanto a las variables 'porcentaje de materia seca', 'contenido de proteína' y 'contenido de cenizas y fibra cruda', de acuerdo con el análisis de varianza con un nivel de significancia del 5% y la prueba de comparación de promedios (Tukey), no se presentaron diferencias significativas entre variedades. Perla Negra evidenció un 20,1% de 'porcentajes de materia seca' y Diacol Capiro, un 20,89%;

para 'contenido de proteína', 6,12 % y 5,73 % respectivamente; en 'contenido de cenizas' los valores fueron de 5,9 % y 5,7 % respectivamente; y para el caso de 'fibra cruda', Perla Negra tuvo 4,5 % y Diacol Capiro, 4,8 % (Pérez, 2017).

Para la variable 'contenido de minerales', de acuerdo con la prueba de Anova, con un nivel de significancia del 5 %, y con la prueba de Tukey, no se presentaron diferencias significativas entre las dos variedades, sin embargo, Perla Negra mostró contenidos más altos en hierro (Fe) (39,5 mg/kg), mientras que Diacol Capiro presentó un valor de 34,2 mg/kg. Para el contenido de zinc (Zn), el comportamiento fue parecido al elemento anterior: Perla Negra 18,9 mg/kg y Diacol Capiro 14,1 mg/kg; la tendencia para el contenido de cobre (Cu) fue similar: 1,28 y 0,24 mg/kg respectivamente; y en el caso de potasio (K), el contenido fue muy parejo para las dos variedades: 1,77 y 1,65 (%: g de mineral/100 g de materia seca) (Pérez, 2017).

En cuanto al contenido de antioxidantes, de acuerdo con los análisis realizados por el Departamento de Bioquímica de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, se determinó que la variedad Perla Negra presentó los mayores contenidos de vitamina C: 16,73 mg (ácido ascórbico/100 mg); mientras que el testigo Diacol Capiro alcanzó un valor de 12,19 mg (ácido ascórbico/100 mg). En el caso de fenoles totales TEAC (μmol trolox/100 g), Perla Negra tuvo 168 (μmol trolox/100 g) y Diacol Capiro, 136,5 (μmol trolox/100 g). Para la presencia de antocianinas, el resultado fue el siguiente: Perla Negra, 10,94 mg (Eq. cianidin 3-glicosido/100 gr) y Diacol Capiro, 8,53 (Eq. cianidin 3-glicosido/100 gr). Para la capacidad antioxidante o RAC, el contenido para la variedad Perla Negra fue supremamente alto, con 10,040 TEAC (μmol trolox/100 g muestra), en comparación con el testigo Diacol Capiro, que solamente alcanzó un valor de 2,475 TEAC (μmol trolox/100 g muestra). Estos resultados se deben a la presencia del color morado oscuro de la piel del tubérculo en la variedad Perla Negra (Pérez, 2017).

De acuerdo con los resultados anteriores, vemos que la variedad Perla Negra superó en contenidos de hierro (Fe), zinc (Zn) y cobre (Cu) al testigo Diacol

Capiro, así como en la mayoría de los parámetros de contenido de antioxidantes (Pérez, 2017).

Referencias

- AOAC International. (2005). *Official Methods of Analysis of AOAC International (OMA)*. Gaithersburg, EE. UU.: Autor.
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2016). *Resolución N.º 00005239 del 12 de mayo de 2016*. Bogotá, Colombia: Autor.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (1999). *Alimentos para animales. determinación del contenido de humedad y materia volátil. NTC 4888-ISO 6496*. Bogotá, Colombia: Autor.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2000). *Alimentos para animales. determinación del contenido de fibra cruda. método filtrado intermedio. NTC 4888-ISO 6865*. Bogotá, Colombia: Autor.
- Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). (2012). *Catálogo de nuevas variedades de papa: sabores y colores para el gusto peruano*. Recuperado de <http://cipotato.org/wp-content/uploads/2013/08/005909.pdf>.
- Pérez, O. (2017). *Aprovechamiento de los recursos genéticos para la valorización de sistemas productivos sostenibles de papa* (Informe final de meta). Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Royal Horticultural Society (RHS). (2015). *Colour chart guide* (6.ª edición). Londres, Inglaterra: Autor
- Valbuena, R. (2014). *Una variedad de papa para uso industrial con tolerancia a gota y alto rendimiento para el altiplano cundiboyacense* (Informe final de pruebas de evaluación agronómica [PEA]). Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica)
- Valbuena, R. (2016). *Una variedad de papa de doble propósito para consumo en fresco e industria* (Informe final de meta). Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).

Capítulo IV

Aspectos fisiológicos de la variedad Perla Negra

El presente capítulo presenta los aspectos relevantes de la fisiología de la variedad de papa Perla Negra (*Solanum tuberosum* L.): la descripción y duración de las diferentes etapas fenológicas, la caracterización fisiológica en condiciones controladas, tasas de fotosíntesis, de transpiración y conductancia estomática.

Periodo vegetativo

En condiciones experimentales, en finca de agricultores y con Pruebas de Evaluación Agronómica (PEA) se determinó el periodo vegetativo de la variedad Perla Negra y el testigo Diacol Capiro.

Para la localidad de Turmequé (Boyacá), de altitud 2.452 m s. n. m., el periodo vegetativo desde el momento de la siembra hasta la cosecha para las dos variedades fue el mismo: 158 días después de la siembra (dds). La variedad Perla Negra, para llegar a la etapa de floración, empleó menos tiempo (66 dds), en comparación con Diacol Capiro, que invirtió más tiempo (80 dds). Por otra parte, la variedad Perla Negra invirtió más tiempo para llegar al estado de madurez fisiológica (129 dds) que Diacol Capiro (115 dds). De acuerdo con lo anterior, se puede mencionar que, en condición de baja altitud, tanto para la variedad Perla Negra como para el testigo Diacol Capiro se acorta la duración del periodo vegetativo y no hay diferencia de duración para los dos materiales, sin embargo, existen diferencias a nivel de dds para llegar a los estados de floración y madurez fisiológica entre las dos variedades (figura 6) (Valbuena, 2014).

En el caso de la localidad de Ventaquemada (Boyacá), con una altitud 2.870 m s. n. m. (mayor que la de la localidad anterior), no se evidenciaron diferencias en la duración del periodo vegetativo entre las dos variedades. De la siembra a la cosecha, el periodo vegetativo fue de 169 dds en los dos materiales. Como en

el caso de la localidad anterior, se mantuvo la misma tendencia de Perla Negra a tomar menos tiempo para llegar a floración (92 dds) en comparación con Diacol Capiro (107 dds), y para alcanzar el estado de madurez fisiológica la diferencia fue de solo cinco días, pues Perla Negra tardó 147 dds y Diacol Capiro 142 dds. A diferencia de la localidad anterior, las dos variedades, a pesar de que la duración del periodo vegetativo fue el mismo (169 dds), este tiempo en esta localidad fue mayor con respecto a la localidad de Turmeque, en la cual las dos variedades emplearon 158 dds, posiblemente debido a una mayor altitud, con una diferencia de 418 m s. n. m. (figura 6) (Valbuena, 2014).

En Zipaquirá (Cundinamarca), con una altitud de 2.880 m s. n. m. (municipio muy importante para el cultivo de la papa), tampoco se hallaron diferencias en la duración del periodo vegetativo para Perla Negra y el testigo Diacol Capiro (total 172 dds), sin embargo, Perla Negra gastó menos tiempo para llegar a la floración (103 dds) que Diacol Capiro (111 dds); y para llegar al estado de madurez fisiológica, el tiempo fue igual para las dos variedades (145 dds). A diferencia de las dos localidades anteriores, el periodo vegetativo fue mayor (14 dds) con respecto a la localidad de Turmequé (Boyacá) y solamente 3 dds con referencia a Ventaquemada (Boyacá). La diferencia en altitud fue de 428 m s. n. m. con respecto a Turmequé (Boyacá) y solamente 10 m s. n. m con respecto a Ventaquemada (Boyacá). Es decir que a mayor altitud se alarga el periodo vegetativo tanto de la variedad Perla Negra como del testigo variedad Diacol Capiro (figura 6) (Valbuena, 2014).

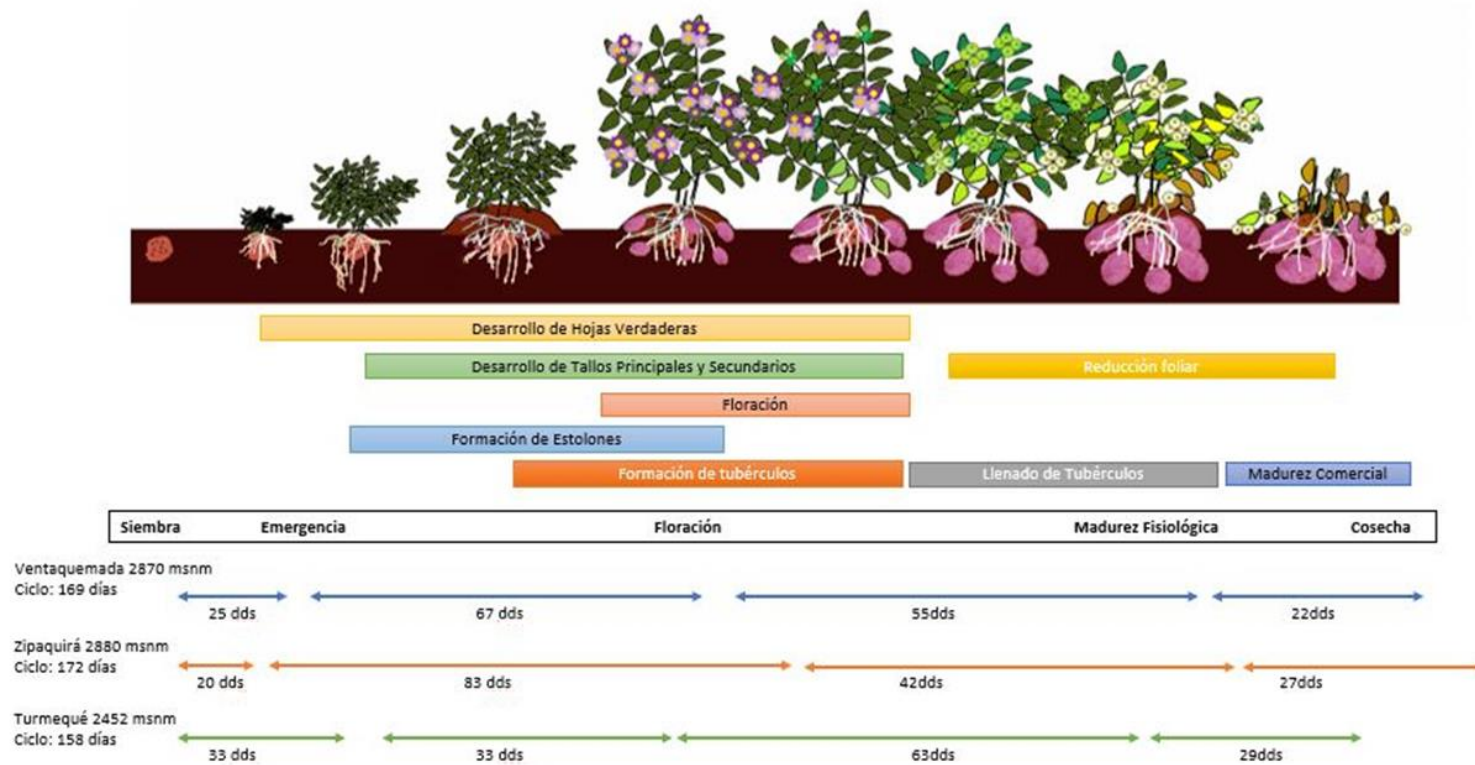


Figura 6. Desarrollo fenológico de la papa variedad Perla Negra.

Fuente: Adaptado de Sandaña (2014)

Estudios realizados por Rodríguez (2015), en condiciones de invernadero con las variedades de papa Esmeralda, Pastusa Suprema y Diacol Capiro, en condiciones de irrigación y sequía, registraron un periodo vegetativo más corto (148 días), en comparación con lo reportado en condiciones de campo: 165 días para Esmeralda y 180 días.

Etapas fenológicas de la especie papa

Según Allen (1978) y Meier (2001) citados por Rodríguez (2015), el punto de partida para iniciar los diferentes estados fenológicos del cultivo de la papa se toma principalmente a partir del establecimiento de la semilla-tubérculo (propagación vegetativa) en condiciones de campo. La semilla-tubérculo posee yemas que dan origen a los tallos aéreos principales, crecimiento que depende de las reservas del tubérculo-madre. A través del tiempo, se forman los tallos laterales desde las yemas axilares y se van constituyendo simultáneamente las hojas a partir de los primordios foliares, hasta llegar al estado de hoja adulta. El crecimiento de biomasa (tallos y hojas) continúa hasta llegar a su pico máximo, en el que se comienzan a formar las estructuras reproductivas (botón floral e inflorescencias), etapa que se denomina *floración*. Una vez fecundada la flor, se forman las primeras bayas y luego entra la planta a la etapa de madurez fisiológica, en la que inicia el decrecimiento de la biomasa y entra al estado de senescencia, periodo en el que las áreas asimiladoras (hojas) se tornan cloróticas y hay una pérdida de pigmentos fotosintéticos (clorofilas) y de proteínas, por lo cual entra al proceso de envejecimiento de tallo y hojas.

Durante el desarrollo vegetativo se van formando simultáneamente los estolones, a partir de las yemas axilares situadas en el cuello de los tallos principales. El gancho del estolón empieza el crecimiento desde la acumulación del almidón, en el cual se forman los tubérculos a partir del crecimiento longitudinal y radialmente, por efecto de división celular; esto sucede hasta alcanzar la formación y llenado completo del tubérculo.

Estudios realizados por Loyla Rodríguez, Sanjuanelo, Núñez y Moreno-Fonseca (2016) de las variedades de papa Esmeralda, Pastusa Suprema y

Diacol Capiro, en condiciones de invernadero con tratamientos de riego y sequía, determinó los siguientes estados fenológicos: emergencia, desarrollo de hojas, formación de brotes laterales, elongación del tallo principal, formación de tubérculos, inflorescencia, desarrollo floral, desarrollo de frutos, desarrollo de semillas y senescencia.

De acuerdo con Segura, Santos y Núñez (2006), citado por Rodríguez et al. (2016), en condiciones de campo, en el estado de desarrollo de hojas, la variedad Diacol Capiro empleó 81 días, 109 días tardó la variedad Pastusa Suprema y 95 días, la variedad Esmeralda. En estas mismas variedades, pero en condiciones de invernadero, con tratamiento de plantas irrigadas, la duración de estos periodos fue la siguiente: Esmeralda, 98 días; Pastusa, más de 126 días, y Diacol Capiro, 85 días.

En el estado de formación de tallos laterales, en condiciones de campo, las variedades en estudio emplearon los tiempos siguientes: Pastusa Suprema, 29 días y Diacol Capiro, 26 días. Para el estado de elongación del tallo principal, en condiciones de campo, la variedad Diacol Capiro empleó 59 días; Esmeralda, 81 días, y Pastusa Suprema, 67 días.

En cuanto al estado de formación del tubérculo en condiciones de campo, las tres variedades iniciaron el crecimiento a partir de los 35 días después de la emergencia. En cuanto a la duración de todo el proceso de formación y llenado del tubérculo, la variedad Diacol Capiro empleó 102 días, la Pastusa Superior, 104 días y la Esmeralda, 96 días.

Para el estado de inflorescencia y desarrollo floral, en las tres variedades en estudio en condiciones de invernadero, la emergencia de los primeros botones florales presentó los siguientes tiempos: Diacol Capiro y Pastusa Suprema, 48 días y Esmeralda, 41 días. En condiciones de campo, la duración de la floración fue, para Diacol Capiro, 56 días; para Esmeralda, 69 días; y para Pastusa Superior, 49 días. La duración de la senescencia en condiciones de campo, para la variedad Esmeralda, empleó 27 días y para Diacol Capiro y Pastusa suprema, 20 días.

La variedad Perla Negra, en condiciones de campo, presentó las siguientes etapas fenológicas: desarrollo de hojas verdaderas, formación de tallos principales y secundarios, desarrollo de las partes vegetativas, inicio de botones florales, floración, formación de bayas, madurez fisiológica e inicio de senescencia. Etapas que se describen en los apartados siguientes.

Etapas 1. Desarrollo de hojas verdaderas

- *Parte aérea.* La planta de la variedad Perla Negra comienza el desarrollo de las primeras hojas verdaderas a partir de los brotes de la semilla-tubérculo: de cinco tallos principales se desarrollan las hojas verdaderas (43 en total), con un área de 1.410,16 cm², con el 8,03 % de la superficie máxima.
- *Parte subterránea.* A medida que el crecimiento de la parte aérea comienza, en la parte subterránea inicia la aparición de los primeros estolones principales: ocho en esta etapa inicial; la planta alcanza un peso seco total de 18,42 g, alrededor del 4,93 % del peso total. El crecimiento y desarrollo de la planta depende de las reservas de la semilla-tubérculo.

Etapas 2. Formación de tallos principales y secundarios

- *Parte aérea.* El crecimiento inicia a los 60 dds y es acelerado a nivel de biomasa en formación de tallos principales y de tallos secundarios. Presenta hojas con un área de 2.497,53 cm², equivalentes al 14,23 % de la superficie total, y un número promedio de cuatro tallos principales.
- *Parte subterránea.* A los 60 dds, en la parte subterránea no se presenta ningún cambio, se continúa con el mismo número de estolones, pero sí hay un incremento del peso seco a nivel de planta completa de 56,28 g, con un 15,08 % del peso máximo total.

Etapas 3. Desarrollo de las partes vegetativas

- *Parte aérea.* En esta etapa (75 dds), la variedad Perla Negra inicia un crecimiento de tipo exponencial de toda la biomasa de la planta, en donde se registra un

número promedio 63 hojas, con una superficie foliar fotosintéticamente activa de 10.551,48 cm², con el 60,14 % de la superficie máxima.

- *Parte subterránea.* Se incrementa el número de estolones principales a nueve y se evidencia el inicio del llenado del gancho del estolón, en donde para esta etapa aparecen los primeros 12 tubérculos, con un peso seco de 29,83 g. Este peso seco de la planta se va incrementado con un valor de 94,15 g, alrededor de 25,22 % del peso total de la plata.

Etapa 4. Inicio de botones florales y floración

- *Parte aérea.* A los 90 dds aparecen los primeros botones florales con las respectivas inflorescencias/planta, con un número promedio de siete y un número de flores/inflorescencia de cinco. Además, continúa el crecimiento de toda la biomasa. en ese momento, las hojas están en una actividad fotosintética alta y se registra un número promedio de 141 hojas, con una superficie foliar de 11.990, 61 cm², equivalente a un 68,34 %.
- *Parte subterránea.* Continúa la formación de más estolones y el llenado inicial de los tubérculos, de tal manera que se incrementa el número promedio de estolones principales a 21 y el número promedio de tubérculos en formación a 26, con un peso seco promedio de 77,85 g y un peso seco promedio total de la planta de 193,59 g equivalente al 51,87 %.

Etapa 5. Formación de bayas

- *Parte aérea.* En esta etapa (105 dds), la variedad Perla Negra continúa con el crecimiento de toda la biomasa y sigue incrementando el número promedio de hojas fotosintéticamente activas a 149 hojas compuestas, con una superficie foliar de 16.670, 61 cm², equivalente a un 95,02 % de la superficie máxima de la planta. Además, en la flor, ya fecundada, aparecen las primeras bayas.
- *Parte subterránea.* A los 105 dds, los tubérculos se encuentran en una etapa de llenado intermedio, se incrementa su peso seco a 185,66 g, la materia seca de la planta completa alcanza un valor de 266,64 g, con una proporción de alrededor del 71,44 % del peso máximo total de la planta.

Etapa 6. Inicio de madurez fisiológica

- *Parte aérea.* A los 120 dds, llega al pico máximo en cuanto al número promedio de hojas fotosintéticamente activas y el número de superficies foliares, con 157 hojas y un área de 17.543,89 cm², equivalente al 100 % del área foliar total de la planta.
- *Parte subterránea.* Los tubérculos se encuentran en una etapa final de llenado y alcanzan un peso seco promedio de 220.89 g, así como un peso promedio de materia seca de la planta completa de 373,20 g, equivalente al 100 % de la materia seca total acumulada por la planta completa.

Etapa 7. Terminación de madurez fisiológica e inicio de senescencia

- *Parte aérea.* A los 135 dds, la biomasa de la planta (hojas) detiene su crecimiento y desarrollo, no hay incremento en áreas foliares, se mantiene constante.
- *Parte subterránea.* Los tubérculos terminan la etapa final de llenado, como en la fase anterior, y comienza su proceso de maduración de la epidermis.

Etapa 8. Corte de rama del follaje

- *Parte aérea.* A los 145 dds, se debe realizar la labor cultural de corte de rama, con el fin de homogenizar la maduración de la piel de los tubérculos. Esta práctica es muy importante, especialmente en zonas de alta precipitación, donde se puede presentar un alto crecimiento del follaje.
- *Parte subterránea.* Los tubérculos se encuentran en proceso de maduración de la epidermis. Unos días más tarde, o sea, a los 165 dds se puede realizar la cosecha.

Comparación de la variedad Perla Negra frente a Diacol Capiro

En las evaluaciones, la variedad Perla Negra evidenció características sobresalientes frente al testigo comercial variedad Diacol Capiro. Es de resaltar, además del rendimiento superior y la tolerancia a gota, las características nutricionales, pues esta variedad supera en casi cinco veces los contenidos de antioxidantes frente al testigo y presenta contenidos superiores de zinc, cobre, hierro y fenoles, estos últimos usados para tratar desórdenes cardiovasculares y prevenir algunos tipos de cáncer en seres humanos (tabla 3) (Valbuena, 2014).

Tabla 3. Características agronómicas y nutraceuticas entre las variedades Perla Negra y Diacol Capiro

| Características | Perla Negra | Diacol Capiro |
|--|-------------|---------------|
| Altura de la planta | Porte alto | Porte medio |
| Reacción a gota | Tolerante | Susceptible |
| Rendimiento t/ha* | 34,36 | 27,06 |
| Contenido de zinc mg/kg | 18,9 | 14,1 |
| Contenido de cobre mg/kg | 1,28 | 0,24 |
| Contenido de hierro mg/kg | 39,5 | 34,2 |
| Contenido de vitamina C | 16,73 | 12,19 |
| Fenoles totales TEAC (μmol trolox / 100 g) | 168 | 136,5 |
| Capacidad de antioxidantes Antocianinas (mg Eq. cianidin3-glicosido/100 g) | 10.040 | 2.475 |

*Rendimientos promedio de tres localidades evaluadas (Zipaquirá, Ventaquemada y Turmequé).

Fuente: Elaboración propia

Caracterización fisiológica de la variedad Perla Negra en condiciones de invernadero

Fotosíntesis neta

A partir de estudios realizados por Romero, Alarcón, Valbuena y Galeano (2017) con las variedades Perla Negra y Diacol Capiro en condiciones de invernadero, en plantas con irrigación, en el Centro de Investigación de Tibaitatá de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), se realizaron las curvas de fotosíntesis en un rango de tiempo entre las 8 a.m. y 4 p.m., en etapa de inicio de la floración (60 dde). Como resultado, las dos variedades presentaron los mayores picos de actividad al medio día (12 m.), $13 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. Este comportamiento coincide con el trabajo de Rodríguez (2015), en el cual, también en condiciones de invernadero y con las variedades Diacol Capiro, Pastusa Suprema y Esmeralda, se registró la mayor actividad hacia las 11 a.m., con 24,73, 25,58 y $31,2 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mm}^{-2}$.

Tanto en los estudios realizados por Romero et al. (2017) como por Rodríguez (2015), los valores de fotosíntesis neta disminuyeron en las horas de la tarde. Según este último, existen diferencias significativas entre variedades, pues la variedad Esmeralda registró los mayores valores de fotosíntesis ($31,26 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), mientras que la variedad Diacol Capiro presentó $24,73 \mu\text{mol CO}_2 \text{ s}^{-1}$.

Fotosíntesis neta en condiciones de estrés hídrico

De acuerdo con Romero et al. (2017), en la variedad Perla Negra, en condiciones de sequía (suspensión de riego por 10 y 15 días después de la emergencia), en época de formación de bayas, la fotosíntesis disminuyó en una proporción del 19 y 39 % respectivamente. Bajo las mismas condiciones de sequía, la variedad Diacol Capiro, en cuanto a la fotosíntesis, disminuyó a más del 60 %. Este comportamiento coincide con lo reportado por Rodríguez (2015), pues las tres variedades en estudio (Esmeralda, Pastusa Suprema y Diacol Capiro), sometidas a estrés, redujeron significativamente la fotosíntesis; además, se presentaron diferencias significativas en fotosíntesis entre plantas irrigadas y plantas en déficit de riego; la variedad Esmeralda presentó la más baja reducción, de 27,55 a $4,79 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Transpiración y conductancia estomática

Para Romero et al. (2017), en condiciones adecuadas de irrigación, las variedades Perla Negra y Diacol Capiro no presentaron diferencias significativas en las variables de 'transpiración' y de 'conductancia estomática' entre los 35 a 60 dde; ello ocurrió porque en todos los tratamientos se aplicó la misma cantidad de agua.

En el caso del estudio de Rodríguez (2015), para la variable 'conductancia estomática' en las variedades Esmeralda, Pastusa Suprema y Diacol Capiro, se presentaron diferencias significativas entre las plantas irrigadas y aquellas con déficit de riego. La variedad Esmeralda con plantas irrigadas presentó el valor más alto, de $0,45 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. En cuanto a la variable 'transpiración' también se presentaron diferencias en las tres variedades; los valores más altos se evidenciaron entre horas de la mañana y el mediodía: Esmeralda tuvo un valor de $3,56 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}$ y Pastusa Suprema, $3,72 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Transpiración y conductancia estomática en condiciones de estrés hídrico

Para Romero et al. (2017) la variedad Perla Negra, en condiciones de estrés hídrico, no presentó diferencias significativas, sin embargo, al final del ciclo vegetativo (95 dde), la transpiración fue significativamente baja (64%). De Diacol Capiro se registró una reducción en la transpiración a los 10 días ($0,46 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) y a los 15 días de sequía ($1,7 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Según Rodríguez (2015), la variedad Esmeralda, en condiciones de sequía, presentó una reducción de $0,071 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, a los 6 días sin riego, mientras que la variedad Pastusa Suprema, con 5 días sin riego, registró $0,051 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y Diacol Capiro toleró solamente 4 días sin riego, con un valor de $0,048 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Según Sade et al. (2008) citados por Rodríguez (2015), las variedades de papa poseen una alta sensibilidad en cuanto a las células guarda, con el fin de disminuir la conductancia estomática como mecanismo para evitar la pérdida de agua por el proceso de transpiración en condiciones de sequía y, al momento de

la rehidratación, aumentar la conductancia estomática, para recuperar el estado hídrico de la planta. Este mecanismo es definido por el autor como plantas con rasgos isohídricos.

Eficiencia en el uso del agua

Según Romero et al. (2017), para la variable 'eficiencia en el uso del agua' en las variedades Perla Negra y el testigo, en condiciones de sequía (10 y 15 días respectivamente), se presentaron valores altos, lo cual se debió posiblemente a una relación fotosíntesis/transpiración alta; para el caso de las variedades en condiciones de riego no se presentaron diferencias. En el estudio de Rodríguez (2015), así como en el caso de las variables 'fotosíntesis', 'transpiración' y 'conductancia estomática', la variable 'eficiencia en el uso del agua' presentó diferencias significativas entre plantas irrigadas y en déficit de agua para las tres variedades en estudio (Esmeralda, Pastusa Suprema y Diacol Capiro); las mismas variedades, en condiciones de riego, no presentaron diferencias, mientras que en condiciones de sequía mostraron diferencias significativas: la variedad Esmeralda fue la que presentó el mayor valor al día 4, con 261 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}$.

Referencias

- Loyla Rodríguez, P., Sanjuanelo, D., Núñez, C. L., & Moreno-Fonseca, L. P. (2016). Growth and phenology of three Andean potato varieties (*Solanum tuberosum* L.) under water stress. *Agronomía Colombiana*, 34(2), 141-154.
- Rodríguez, L. (2015). *Caracterización de la respuesta fisiológica de tres variedades de papa (Solanum tuberosum L.) bajo condiciones de estrés por déficit hídrico* (Tesis de doctorado). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Romero, A., Alarcón, A., Valbuena, R., & Galeano, C. (2017). Physiological assessment of water stress in potato using spectral information. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1608. Doi:10.3389/fpls.2017.01608.

- Sandaña, P., & Orena, S. (2014). *Fertilización nitrogenada para el cultivo de papa en la zona centro-sur de Chile*. Recuperado de <http://manualinia.papachile.cl/?page=consumo&ctn=61>.
- Segura, M., Santos, M., & Núñez, C. E. (2006). Desarrollo fenológico de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca). *Fitotecnia Colombiana*, 6(2), 33-43.
- Valbuena, R. (2014). *Una variedad de papa para uso industrial con tolerancia a gota y alto rendimiento para el altiplano cundiboyacense* (Informe final de pruebas de evaluación agronómica [PEA]). Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).

Capítulo V

Producción de semilla de Perla Negra

Introducción

La semilla o material de siembra determina, en gran medida, el rendimiento del cultivo de papa o de cualquier especie; en efecto, constituye un insumo estratégico para mantener variedades mejoradas y nativas, además de conservar la soberanía alimentaria y la diversidad genética de un país (Andrade-Piedra, Kromann, & Otazú, 2015). La semilla, como uno de los principales factores en la producción de papa, permite mejorar la producción mediante la implementación de prácticas como el uso de nuevas variedades, manejo de fertilización de acuerdo con la disponibilidad de nutrientes y requerimientos del cultivo, adecuado manejo del agua e implementación de modelos de manejo integrado de insectos plaga y enfermedades. Por el contrario, 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.

La semilla para siembra se define como el óvulo fecundado y maduro o cualquier otra parte vegetativa de la planta de un cultivar obtenido por mejoramiento genético gracias a la aplicación de conocimientos científicos a procesos de siembra y propagación (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2015). Para la producción comercial de la papa en Colombia y en el mundo, se utiliza la reproducción vegetativa mediante la siembra del tubérculo-semilla. Este tipo de propagación garantiza la identidad genética del cultivar ciclo tras ciclo de cultivo, pero es también una forma eficiente para la diseminación de plagas y enfermedades. La producción de semilla de papa en Colombia está limitada por la presencia de virus, sus vectores y una amplia gama de patógenos e insectos plaga que hacen difícil llegar al cumplimiento de la norma vigente sobre producción de semilla certificada de papa, por tanto, para la producción de semilla se deben buscar zonas aisladas que permitan obtener un material lo más sano posible, lo cual, en las condiciones de nuestro país, coincide con las zonas más altas (Herrera, Fierro, & Moreno, 2000).

Más del 95 % de la semilla de papa que se utiliza en el país es semilla informal obtenida por los agricultores en sus propias fincas (de cosechas anteriores), de fincas de la misma región o adquiridas en los centros de mercadeo del producto (centrales de abasto, centros de acopio, etc.). Se estima que apenas un 4 o 5 % de la semilla que se usa en el país es semilla certificada, y de este porcentaje el 90 % corresponde a la variedad Diacol Capiro o R-12, con la que se produce la papa que utiliza la industria. El bajo uso de semilla de calidad es la razón para que una de las principales demandas de la cadena de la papa sea el mejoramiento de los sistemas de producción de semilla de buena calidad, así como la implementación de estrategias para incrementar su uso (Sánchez, Yepes, & Villareal, 2016).

Los sistemas formales de producción

En Colombia, la producción de semilla de calidad, así como la importación y exportación de semillas producidas por mejoramiento genético para la comercialización y siembra se regula y controla a través de la Resolución 3168 de 2015 (ICA, 2015). La producción de semilla certificada es un proceso mediante el cual un productor, en cumplimiento de los requisitos mínimos de calidad establecidos por la citada Resolución para cada especie y categoría de semilla, obtiene semillas con el control de calidad requerido en todas las etapas de su ciclo. Lo anterior incluye el conocimiento del origen genético y el control de las generaciones, para que el agricultor obtenga un material con la calidad genética, física, fisiológica y fitosanitaria exigida, la cual debe ser declarada por el productor de semilla, quien tiene que estar debidamente registrado.

La calidad está integrada por los atributos o las características esenciales de un producto o servicio que lo distinguen de otro y hacen que el consumidor o usuario lo busque porque lo desea. La calidad de la semilla involucra los siguientes factores:

- *Pureza genética.* Expresión uniforme de las características que debe presentar el material, de acuerdo con el ambiente en el que se evaluó. Implica que sea de la variedad requerida, sin mezclas de semillas.

- *Físicos.* Pureza de los materiales, es decir, la ausencia de cualquier contaminante distinto a la semilla que se quiere sembrar, tales como semilla de otros cultivos, material inerte, semilla de malezas, etc. Sin daño mecánico.
- *Fisiológicos.* Facultad que tiene la semilla de germinar, emerger y dar origen a plantas uniformes y vigorosas. Entre las características para tener en cuenta están la madurez, peso, latencia, dureza y la composición química y biológica.
- *Sanitarios.* Ausencia de agentes causales de enfermedades como virus, bacterias, hongos e insectos plaga que puedan afectar el cultivo.

Para la producción de semillas certificadas de origen asexual como la papa, se consideran dos fases de producción: la primera (fase I) se lleva a cabo en laboratorio, invernadero o casa de malla, en la cual se elimina la probabilidad de entrada de áfidos o de algún otro vector; y la segunda (fase II) se adelanta en campo. Las categorías que se producen en cada fase se enuncian a continuación.

Fase I

- *Categoría superélite.* Minitubérculos o esquejes obtenidos de plantas que se han originado por propagación in vitro, procedentes del material inicial. Este proviene del cultivo de meristemos o plántulas in vitro (figura 7), cuya identidad genética corresponde a la variedad que se desea multiplicar. Se puede realizar generación 1 y generación 2.
- *Categoría élite.* Tubérculos obtenidos en invernadero o casa de malla, por la multiplicación de esquejes o minitubérculos de la categoría superélite. Se puede realizar generación 1 y generación 2.

Fase II

- *Categoría básica.* Descendencia de la semilla de categoría élite. Corresponde al primer ciclo que se hace en campo, en el proceso de producción de semilla. Se puede realizar generación 1 y generación 2.
- *Categoría registrada.* Descendencia de la semilla de categoría básica. Se puede realizar generación 1 y generación 2.

- *Categoría certificada.* Descendencia de semilla básica o registrada en una sola generación. Es la categoría que se comercializa con los agricultores.

Producción de semilla en fase I

Producción de plántulas in vitro en laboratorio

El proceso inicia con la selección de plantas donantes, bien sea en campo o invernadero, de las cuales se toman tubérculos o brotes para la posterior extracción de meristemos. Dichos meristemos son sembrados en un medio nutritivo en condiciones in vitro, donde pasan por los procesos de establecimiento, multiplicación y enraizamiento y, al cabo de 16 semanas, se obtienen las plántulas que pasarán al invernadero (figura 7).

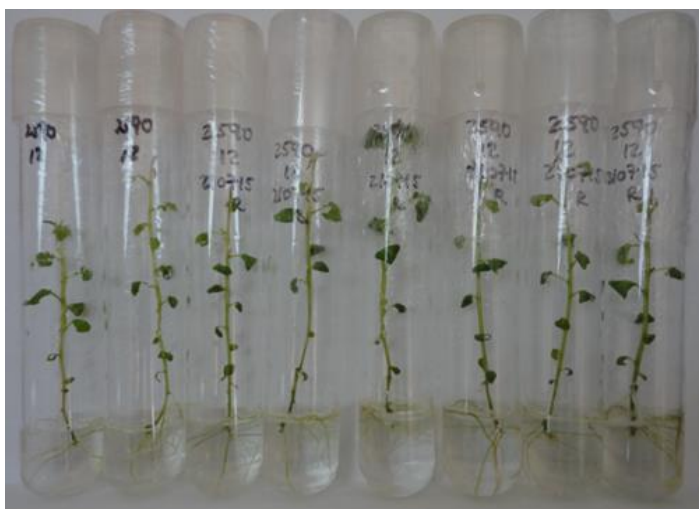


Foto: Lina Rojas

Figura 7. Plántulas de papa variedad Perla Negra producidas en condiciones in vitro.

Endurecimiento de plántulas

Cumplido el proceso en el medio nutritivo, las plántulas se extraen, se lavan y se llevan al proceso de endurecimiento o adaptación de material de partida. Como las plántulas vienen con una humedad del 100 % en el contenedor, se deben adaptar a las condiciones ambientales, que son en promedio 60 y 70 %; si las plántulas se someten directamente a estas condiciones, se pueden deshidratar y perder, por tal motivo es importante realizar el endurecimiento. Se pueden utilizar

varias técnicas para endurecer el material. Una de ellas consiste en manejar las plántulas a raíz flotante, en estilo cámara húmeda, en la cual se usan bandejas de germinación con solución nutritiva inicial, con una duración de 20 días para el trasplante (figura 8).



Foto: Andrés Felipe Uribe

Figura 8. Técnica de endurecimiento de plántulas de papa en piscina.

Otra técnica consiste en trabajar las plántulas en vasos plásticos, con turba como sustrato (figura 9), la cual tiene una duración de 20 a 25 días para tener las plántulas listas para trasplante.



Foto: Andrés Felipe Uribe

Figura 9. Técnica de endurecimiento de plántulas de papa o adaptación de material inicial en vasos plásticos.

Producción de minitubérculos

Minitubérculos es el nombre que reciben los tubérculos semilla obtenidos en la categoría superélite, tanto por aeroponía como por el sistema convencional, cuyo tamaño es de menos de 4 cm.

Sistema convencional de producción de semilla en fase I

Este es el sistema de producción de tubérculos categoría superélite más utilizado en Colombia por los semilleros. Consiste en camas con una mezcla de sustratos en relación 1:1, escoria de carbón y cascarilla de arroz "lío-filizada o quemada" al 70 %; se selecciona la escoria por su alta capacidad de retención de agua y propiedades de soporte a las plantas. En cada cama se colocan tres líneas de riego para realizar la fertiirrigación. La mezcla de sustratos se debe desinfectar, para ello existen, en el mercado, diferentes ingredientes activos como el complejo yodo polietoxi-polipropoxi polietoxi etanol y metam sodio anhidro, entre otros. Las camas tienen un ancho de 90 cm y el largo depende de la cantidad de plántulas a sembrar y tubérculos superélite a producir.

Una vez endurecidas, las plantas son sembradas en las camas con la mezcla de sustratos desinfectados a una distancia de 20 cm entre plantas y 18 cm en

hileras (5 hileras por cama), lo que corresponde a 25 plántulas/m lineal o 27,8 plántulas/m² (figura 10). La duración del cultivo varía según el material que se esté produciendo, lo cual puede ser de 160 a 170 días para los genotipos Andigena —como Diacol Capiro, Parda Pastusa o ICA Única— y de 95 a 120 días para los del grupo Phureja —como Criolla Colombia y Corpoica Sol Andina—.

A diferencia de la aeroponía, las cantidades producidas por planta se reducen a unos 15 tubérculos por planta en el grupo Andigena y 10 tubérculos para el grupo Phureja. Se obtiene buena calidad de tubérculos, además, del total de la producción, son certificables del 93 al 95% de los tubérculos; los que se descartan son especialmente por deformaciones. En este sistema de producción se realiza una sola cosecha.

Al momento de la cosecha también se someten los tubérculos a una inmersión de insecticida fungicida con los ingredientes activos: clorpirifos, tiabendazol y validamicina, entre otros.



Foto: Mónica Páramo

Figura 10. Sistema convencional de multiplicación de semilla de papa en fase I.

Aerponía

La técnica de la producción de tubérculos en aerponía tiene grandes ventajas, entre las cuales vale la pena mencionar el aprovechamiento del espacio; la alta producción explicada en una mayor tasa de multiplicación por sitio de siembra y una mayor densidad de siembra; la reducción de los días a cosecha; la alta calidad fisiológica y sanitaria de los minitubérculos; el ahorro de agua y fuente, debido a la recirculación de soluciones nutritivas que el sistema permite; la micronebulización distribuye de manera uniforme la solución nutritiva y proporciona una buena oxigenación de las raíces; hay disminución en el impacto ambiental, pues, como no se usan sustratos sólidos, no se necesita realizar desinfección y, a su vez, se evita la contaminación de la parte radical de las plantas, ya que, al no estar en contacto con el suelo, se impide la propagación de agentes patógenos (Andrade-Piedra et al., 2015).

Andrade-Piedra et al. (2015) refieren, no obstante, que las principales desventajas de esta técnica son el alto costo en infraestructura; el mayor riesgo de pérdida total por fallas en el sistema eléctrico, por ingreso de patógenos al sistema de riego o por desbalances en la solución nutritiva; y la obtención de minitubérculos de diferentes edades fisiológicas, lo que puede dificultar la siembra en campo.

Los módulos que se utilizan en aerponía tienen 1,20 m de ancho por 5 m de largo, para un área de 6 m²/ módulo. En ellos se realiza la siembra en seis hileras, con una distancia de 20 cm entre plantas y 20 cm entre hileras, para una densidad de siembra de 25 plántulas/m² (figura 11).

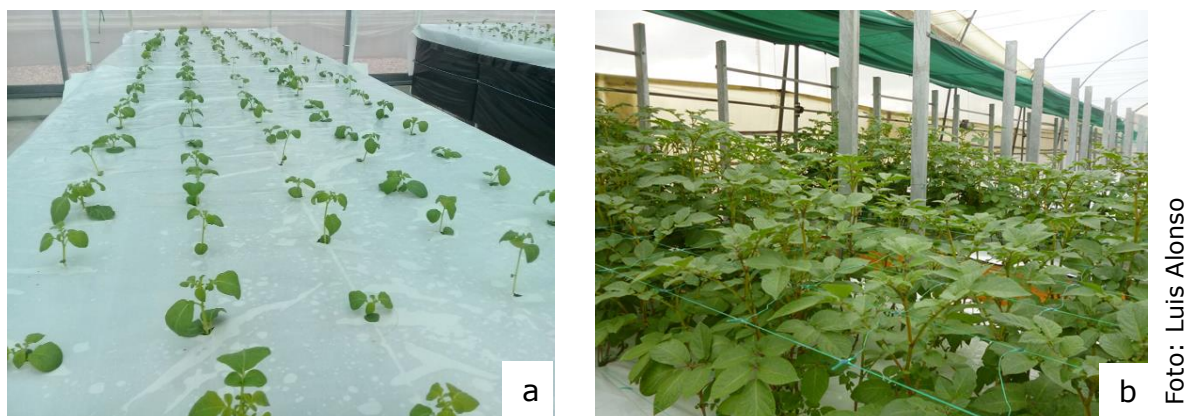


Foto: Luis Alonso

Figura 11. Distribución de plántulas de la variedad Perla Negra en un módulo del sistema aeropónico. a. 10 días después de trasplante; b. 35 días después de trasplante.

La producción de semilla de papa de la variedad Perla Negra comienza con el trasplante de las plántulas en los módulos de aeroponía; en este paso es de vital importancia no maltratar las raíces de las plantas y conservar la humedad y turgencia de las raíces hasta el establecimiento final. Una vez establecidas en el módulo de aeroponía, el manejo de la solución nutritiva o fertilización es fundamental, porque de esta depende el adecuado desarrollo de las plantas. En cuanto a la forma de mantener el plan de fertilización, se debe tener presente que no todas las variedades y materiales responden de igual manera a la solución nutritiva; para el caso de Perla Negra, esta tiene un comportamiento típico del grupo Andigena.

Se realizan dos etapas de fertilización. La primera se enfoca en el desarrollo vegetativo hasta los 35 días después del trasplante, con lo cual se busca un crecimiento del área foliar y radicular acorde con las necesidades de las plantas. La segunda etapa se centra en el desarrollo de los estolones y la formación de los tubérculos (tabla 4).

Tabla 4. Concentración de macro y micronutrientes en partes por millón (ppm) para la obtención de semillas de calidad en la variedad Perla Negra*

| Nutrientes en ppm (mg/L) | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | MgO | S | Fe | Mn | B | Cu | Zn | Mo |
|--------------------------|-----|-------------------------------|------------------|-----|-----|----|-----|------|------|------|------|------|
| Primeros 35 días | 250 | 80 | 108 | 196 | 58 | 45 | 3,0 | 0,50 | 0,50 | 0,10 | 0,15 | 0,03 |
| Después de 35 días | 150 | 92 | 180 | 140 | 42 | 50 | 3,0 | 0,50 | 0,10 | 0,15 | 0,50 | 0,03 |

*Incluye el aporte que hace el agua de riego.

Fuente: Elaboración propia a partir de Andrade-Piedra, Kromann y Otazú (2015)

Manejo de las plantas

Una vez que las plántulas se siembran en los módulos de aeroponía, se realizan los cambios de solución nutritiva y agua cada quince días; en promedio, la conductividad no debe superar los 1,7 dS/m y el pH se debe manejar entre 5,8 y 6,5. Como labores culturales se efectúan podas sanitarias para retirar las hojas del tercio inferior de la planta y con el fin de evitar la proliferación de microorganismos, además se realizan aporques, que es una práctica que consiste en introducir las plantas dentro de los módulos.

Uno de los requisitos por parte del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA, 2015) es la toma de muestras de folíolos en el momento de la floración para someterlas a pruebas de Elisa y determinar si hay alguna contaminación viral.

La solución nutritiva debe ser verificada regularmente. La conductividad eléctrica (CE) y el pH son indicadores útiles para ello. La CE no debe exceder de 2,0 mS/cm y el pH no debe exceder de 7,3. Para bajar el pH a un rango ligeramente ácido (6,5-6,8) se debe usar ácido fosfórico diluido en agua. La solución nutritiva debe cambiarse cada quince días o según el estado fenológico de las plantas. Una vez que las plantas desarrollan una exuberante área foliar, el consumo de la solución nutritiva suele incrementarse, por lo cual se debe revisar que no existan fugas, y en caso de que existan se deben corregir de inmediato (Otazú, 2010).

Cosecha y almacenamiento

De los 55 a los 87 días después del trasplante, se inicia la cosecha de los minitubérculos, de los tamaños cero, primera y segunda (figura 12). Para la cosecha se debe tener en cuenta el tamaño, según la variedad o material. Lo mejor es programar las cosechas siempre en horas de la mañana, cuando la temperatura del invernadero aún es baja (entre 10 y 15 °C). La cosecha de los minitubérculos obtenidos en aeroponía es diferente a la cosecha de tubérculos obtenidos por el sistema convencional. En aeroponía se suelen hacer varias cosechas, por lo general cada catorce días, pero en el caso de Perla Negra se pueden llegar a hacer cada cinco o seis días, mientras que en el sistema convencional se realiza una sola cosecha. Después de la cosecha se hace una selección de los minitubérculos: se escogen aquellos que correspondan con las características de la variedad y que estén sanos, sin daños mecánicos o físicos, para después separarlos de acuerdo con su tamaño. Una vez cosechados, los minitubérculos se deben desinfectar con una solución de hipoclorito de sodio al 0,1 % y posteriormente se enjuagan con agua. La finalidad de esta práctica es evitar contaminaciones, especialmente, de origen bacteriano.

Después de tratados, los minitubérculos se deben colocar en ambientes secos y limpios para un proceso de curado por dos o tres semanas, antes de su ubicación final en almacenes refrigerados o de luz difusa, dependiendo del destino. Una de las desventajas de las cosechas sucesivas radica en que no todos los minitubérculos brotan homogéneamente. La forma de corregir este problema es almacenar en un cuarto frío los minitubérculos de las primeras cosechas y, en bodega, con luz difusa, los minitubérculos de las últimas cosechas; los primeros se retiran del cuarto frío un mes antes de la siembra (Otazú, 2010). Las cosechas son continuas en el sistema aeropónico, se efectúan cada 12 o 15 días, y se pueden obtener de 4 a 6 cosechas por ciclo de cultivo (Farran & Mingo-Castel, 2006).



Foto: Andrés Felipe Uribe

Figura 12. Minitubérculos de la variedad Perla Negra en el sistema aeropónico listos para ser cosechados.

La variedad Perla Negra se comporta bien en el sistema aeropónico, presenta buen desarrollo de la planta, porte alto y abundantes estolones. En cuatro lotes de producción, en el año 2017, la última cosecha se realizó entre los 118 y 132 días después del trasplante, según las condiciones climáticas. Además, Perla Negra presentó una producción promedio de 38,3 minitubérculos/planta, llegando a 33,6 minis/planta certificados por el ICA. La producción en dicho año fue muy similar desde la segunda hasta la quinta cosecha. El 77,4 % de los minitubérculos fueron de tamaño cero, primera y segunda, un tamaño de buen comportamiento en campo (tabla 5).

Tabla 5. Producción de minitubérculos de la variedad Perla Negra en condiciones de aeroponía

| Variedad | Perla Negra | |
|---|-------------|------|
| Promedio minitubérculos por planta | 38,3 | |
| Promedio minitubérculos certificados por planta | 33,6 | |
| Número de cosechas | 5-jun | |
| Rango de días a cosecha | 118-132 | |
| Tamaño de minitubérculos (%) | 0 (> 40mm) | 3,9 |
| | 1 (30-39) | 54,6 |
| | 2 (21-29) | 18,9 |
| | 3 (11-20) | 10,3 |
| | 4 (5-10) | 0 |
| | Deforme | 12,2 |

Fuente: Elaboración propia

Producción de semilla en fase II

Categoría básica

Para establecer los campos de multiplicación de semilla de categoría básica, se recomienda una densidad de plantas de 33.000 por hectárea, utilizar una distancia 0,30 m entre plantas y 1,0 m entre surcos; adicionalmente, la nutrición del cultivo se debe realizar de acuerdo con las recomendaciones de fertilización (véase capítulo VII), según la densidad de las plantas utilizadas para la producción de semilla. Con este manejo agronómico se obtuvo una producción de 55 toneladas de papa por hectárea. La duración de cultivo es similar a la de un cultivo comercial, de acuerdo con la altitud a la que se encuentre el lote de producción, y el periodo de siembra a cosecha está entre 156 y 172 días.

Categorías registrada y certificada

En los campos de multiplicación de semilla de categorías registrada y certificada, se recomienda una densidad de plantas de 28.100 por hectárea, con una distancia 0,35 m entre plantas y de 1,0 m entre surcos; adicionalmente, la nutrición del cultivo se debe realizar de acuerdo con las recomendaciones de

fertilización (véase capítulo VII), según la densidad de plantas utilizada para la producción de semilla (figura 13).



Foto: Ingrid Marcela Preciado

Figura 13. Campo de multiplicación de semilla de la variedad Perla Negra categoría registrada.

De no ser posible acceder a semilla certificada, las recomendaciones de obtención de semilla sana se resumen en las siguientes metodologías, de acuerdo con lo reportado por Herrera et al. (2000):

- *Selección masal:* Este procedimiento consiste en seleccionar semillas, durante ciclos consecutivos de cultivo de plantas de una parcela, por sanidad y desarrollo sobresalientes, para obtener material para futuras siembras. Se recomienda marcar plantas en pleno desarrollo y en floración, cosechar anticipadamente para escoger los mejores tubérculos, mezclar la producción y hacer un almacenamiento adecuado.
- *Selección clonal o selección positiva:* Consiste en marcar plantas durante dos o tres ciclos consecutivos, eligiendo tubérculos por sanidad, rendimiento, vigor y características de la variedad. La producción de cada planta se constituye en un clon y se almacena de manera independiente para ser sembrada separadamente y, así, identificar características indeseables en el nuevo ciclo, con el fin de conservar los materiales superiores. De otra parte, para la producción de minitubérculos de alta calidad, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) ha implementado el

sistema de aeroponía, que es una técnica de multiplicación hidropónica en invernadero, en la cual el sistema radical de las plantas crece sin suelo en un espacio oscuro, saturado por finas gotas de una solución nutritiva. Este sistema se caracteriza por presentar un mayor potencial de rendimiento frente a los sistemas tradicionales y garantizar que no se presenten patógenos como *Spongospora subterranea* o *Rhizoctonia solani*, que son de común ocurrencia en sustratos que tienen suelo.

Referencias

- 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*. Quito, Ecuador: Centro Internacional de la papa (CIP), Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (Iniap), Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Farran, I., & Mingo-Castel, A. (2006). Potato minituber production using aeroponics: Effects of plant density and harvesting intervals. *American Journal of Potato Research*, 83(1), 47-53.
- Herrera, C. A., Fierro, L. H., & Moreno, J. D. (2000). *Manejo integrado del cultivo de la papa*. Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA] (2015). *Resolución No. 3168 del 7 de septiembre de 2015*. Recuperado de <https://www.ica.gov.co/Normatividad/Normas-Ica/Resoluciones-Oficinas-Nacionales/2015/2015R3168.aspx>.
- Otazú, V. (2010). *Manual de producción de semilla de papa de calidad usando aeroponía*. Lima, Perú: Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Sánchez, G., Yepes, L., & Villareal, H. (2016). Cadena Agroalimentaria de la papa. Anexo 5. Recuperado de http://bdigitalagropecuaria.corpoica.org.co/view/action/singleViewer.do?dvs=1528206426092~477&locale=es_ES&VIEWER_URL=/view/action/singleViewer.do?&DELIVERY_RULE_ID=10&frameId=1&usePid1=true&usePid2=true.

Capítulo VI

Exigencias edafoclimáticas y manejo agronómico

Condiciones edafoclimáticas

La variedad Perla Negra se adapta bien en altitudes entre los 2.500 y los 3.000 m s. n. m., condición que favorece buenos rendimientos, aspectos de calidad y ventajas culinarias con respecto al punto óptimo de papa *chip*. Las evaluaciones de la variedad arrojaron que, en altitudes inferiores a los 2.700 metros, esta presenta características deseables para *chip*, ya que se disminuyen los azúcares reductores y, por tanto, se evita que las hojuelas se quemem, lo cual es una buena alternativa para la industria. En cuanto al consumo en fresco, los rangos óptimos oscilan entre los 2.500 y los 2.700 m s. n. m. (Valbuena et al., 2016).

Las condiciones óptimas de suelos para el cultivo de papa son las siguientes: texturas francas o franco-arenosas, suelos bien aireados, con buenos drenajes, con buena fertilidad, ricos en materia orgánica y con un pH ligeramente ácido (entre 5,0 y 6,2). Los suelos deben ser sueltos, no pedregosos y con bajos niveles de humedad para tener un buen desarrollo de raíces, raicillas, estolones y tubérculos (sin deformaciones y con buenos rendimientos). No se recomiendan lotes en terrenos con pendientes pronunciadas ni con altos contenidos de arcillas, ya que dificultan la preparación del suelo y pueden sufrir erosión (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2013).

Proceso productivo y manejo agronómico

Selección del lote

Se recomienda sembrar en lotes con vocación productiva para el cultivo de papa, considerando la función ecológica y la fragilidad del ecosistema a intervenir.

Existen aspectos importantes para tener en cuenta a la hora de la selección y antes de la siembra del cultivo:

- *Historial del lote (cultivos anteriores, tiempo en descanso del lote):* Comportamiento de plagas y enfermedades. Se debe sembrar preferiblemente en lotes descansados, provenientes de pastos o en los cuales no se haya cultivado papa por lo menos cinco años atrás.
- *Análisis microbiológico:* Se aconseja realizar un muestreo del terreno con la finalidad de hacer un análisis microbiológico que permita detectar patógenos del suelo (como *Rhizoctonia solani*, *Rosellinia* sp., *Spongospora subterranea*, *Streptomyces scabies*, *Fusarium* sp.) y bacterias (como *Erwinia carotovora*), ya que estos patógenos pueden permanecer largos periodos latentes en los terrenos y afectar el buen desarrollo del cultivo.
- *Análisis de fertilidad:* El análisis de suelos se hace con la finalidad de determinar el contenido y la disponibilidad de elementos mayores y menores en ellos, así como para detectar contenidos de materia orgánica y suelos extremadamente ácidos o salinos, con el fin de aplicar los correctivos necesarios y elaborar el plan de fertilidad del cultivo.

Preparación del terreno

El propósito de la preparación del terreno es generar las condiciones adecuadas que faciliten las labores como el surcado y el tapado de semilla, así como garantizar una emergencia homogénea de las plantas. La preparación del terreno favorece la adecuada disponibilidad de agua en épocas de sequías y permite el drenaje del exceso de humedad en épocas de altas precipitaciones (DANE, 2013).

La preparación del suelo permite la aireación adecuada y la infiltración, lo que genera condiciones apropiadas para la germinación, la emergencia de la semilla y el establecimiento del cultivo (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2011). En general, de la preparación adecuada del terreno dependen otras labores culturales. En el caso del cultivo de papa, el uso de maquinaria agrícola no apropiada o el sobrelaboreo ha llevado al deterioro de las características físicas y químicas del suelo, por lo cual se recomienda tener en cuenta la topografía y la pendiente, así como el contenido de humedad del suelo al momento de la

preparación. Es preferible emplear el menor número de pases de implementos y maquinaria,, en su lugar, utilizar arados de chuzo o cincel y hacer la rotación de cultivos en la que se incluya la producción e incorporación de abonos verdes (Federación Colombiana de Productores de Papa [Fedepapa], 2004). En general, para preparar el terreno se deben realizar las acciones siguientes:

- *Control químico de malezas.* Esta labor se realiza en aquellos lotes o sitios donde pueden existir arvenses que influyan en el buen desarrollo del cultivo a establecer. Para la papa, en el caso del kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), uno de los arvenses más comunes en estos cultivos, es recomendable la aplicación de un herbicida de carácter sistémico y selectivo para monocotiledóneas, que pueda controlar su crecimiento y permita realizar las labores culturales y el buen desarrollo de las plantas (lo cual se verá reflejado en la producción y rendimiento de la variedad a cultivar). Por lo general, el herbicida debe aplicarse unos 20 días antes de la preparación del suelo para que actúe y, en el momento de la preparación, debe quedar totalmente incorporado al suelo para que inicie el proceso de descomposición (Fedepapa, 2004).
- *Arada.* La maquinaria es de uso común en el sistema productivo para las labores de arado, rastrillado y surcado. Tiene como finalidad descompactar el suelo para permitir el buen desarrollo de las raíces y el drenaje adecuado. La arada se hace a una profundidad de 20 a 35 cm. El suelo se debe laborar con un contenido de humedad adecuado, para lo cual es importante tener presente que en suelos secos se produce alta erosión y pérdida de estructura; por el contrario, en suelos muy húmedos se produce gran compactación. La elección del implemento adecuado tiene un alto impacto en la conservación del suelo y en el mejoramiento de su condición productiva. Se recomienda el uso de arado de vertedera, grada rotativa e incorporador, en lugar del arado de disco, ya que los tres primeros rompen en profundidad las capas, efectúan un volteo más uniforme y no generan tanta pérdida de suelo (Cámara de Comercio Bogotá [CCB], 2015).
- *Surcada.* La surcada se puede realizar mecánicamente. Para el caso de Perla Negra se recomienda que sea de un metro entre surcos, sistema que se puede utilizar en terrenos planos y pendientes hasta del 10 %. Para los terrenos de ladera, lo más conveniente es hacerlo con un surcador manual de tracción animal, siguiendo las curvas de nivel para proteger el terreno de la erosión y

retener la humedad. Este sistema no permite que la distancia entre surcos sea tan exacta, pero favorece el buen aprovechamiento del terreno cuando hay obstáculos como piedras y árboles. La surcada se debe realizar de 20 a 25 cm de profundidad para facilitar la labor de tapado y no dejar los tubérculos expuestos; las puntas de los surcos se deben rectificar mediante el uso del azadón, para aprovechar el terreno hasta el límite (figura 14).

- *Aplicación de enmiendas.* Se considera ideal un pH de 5,0 a 5,8 para un buen desarrollo del cultivo de papa. Conocidos los resultados de los análisis del suelo, se procede a realizar las aplicaciones de las enmiendas para corregir las anomalías encontradas. Por ejemplo, en el caso de la cal para corregir pH, se debe aplicar al suelo por lo menos un mes antes de la siembra e incorporarla con las labores de preparación del terreno (Sierra, 1982).

La preparación del terreno dependerá de las condiciones encontradas en cada finca, pero en términos generales se recomienda uno o dos pases del cincel y dos pases de rastra pesada, con el fin de preservar la estructura y no darle tanta vuelta a los terrones para evitar la erosión y proteger la microflora presente. Esta actividad se debe hacer unos ocho a quince días antes de la siembra para que el suelo se airee, los terrones grandes se rompan en su estructura natural y se inicie el proceso de descomposición de los residuos de malezas o abonos verdes cuando estos hayan sido incorporados (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria [INTA], 2015).



Foto: Coronel Ortiz

Figura 14. Surcado para la siembra de papa realizado con un implemento manual de tracción animal.

Sistemas de siembra

La variedad Perla Negra no tiene restricción de siembra en ninguna época del año para el altiplano cundiboyacense. Sin embargo, se obtienen mejores resultados si se siembra en periodos con adecuada precipitación y, en el caso de siembra en época seca, se recomienda la aplicación de riego durante su periodo vegetativo (Valbuena et al., 2016).

La variedad Perla Negra presenta genéticamente la tendencia a producir una alta proporción de tubérculos de categoría primera (peso mayor a 75 g/tubérculo). Como la opción de uso es tanto para consumo en fresco como para procesamiento industrial, en el primer caso se puede manejar una mayor densidad de plantas con el fin de disminuir la proporción de papa tipo primera, utilizando 0,35 m entre plantas y 1,0 m entre surcos (28.600 plantas/ha); mientras que, en el caso del uso industrial, la densidad de siembra se puede ampliar a 0,4 m entre plantas y 1,0 m entre surcos (25.000 plantas/ha).

Establecimiento del cultivo

- **Siembra.** Se realiza a partir de tubérculos semilla, de forma manual, depositando un tubérculo por cada sitio de siembra. Para el caso de Perla

Negra se recomienda la ubicación de la semilla a una profundidad que puede oscilar entre 10 y 15 centímetros, dependiendo de la humedad del suelo (Valbuena et al., 2016).

- *Aplicación de fertilizante.* Se debe llevar a cabo según el análisis del suelo realizado antes del establecimiento del cultivo.
- *Distribución de la semilla.* El tubérculo semilla se coloca en el fondo del surco, ubicando una semilla por sitio, a una distancia sugerida de 35 cm, pues, en las evaluaciones previas al registro de la variedad, esta distancia (y un metro entre surcos) fue la que mejores resultados dio en cuanto a rendimiento (kg/ha) y tamaño de los tubérculos (cantidad de tubérculos de primera) (figura 15).

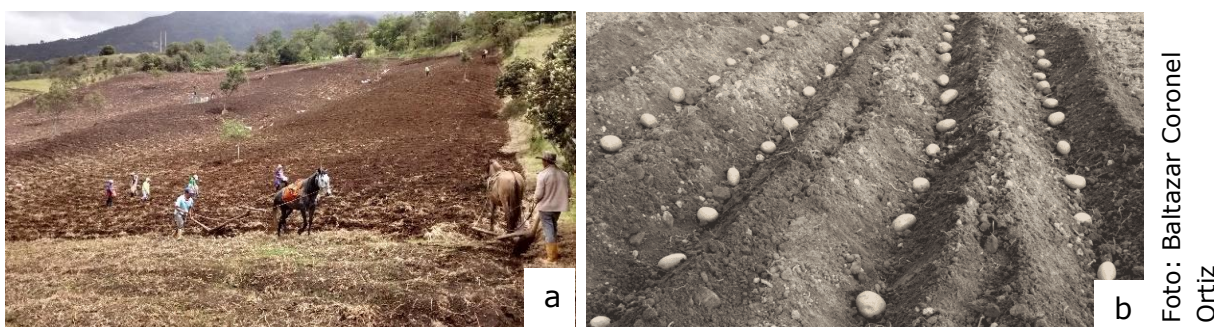


Foto: Baltazar Coronel Ortiz

Figura 15. Siembra manual de la variedad de papa Perla Negra.

- *Tratamiento de la semilla y del suelo.* Antes de la siembra, es necesario realizar la desinfección tanto de la semilla como del surco, usando productos de síntesis química o biológica. La aplicación del tratamiento debe hacerse al surco y sobre la semilla, usando una fumigadora de espalda o estacionaria como parte del manejo integrado del cultivo.
- *Tapado.* Después de aplicar el fertilizante, se debe regar la semilla y hacer el tratamiento al suelo. Posteriormente se procede a tapar la semilla, sin dejar expuesto el tubérculo al sol, ya que puede verse afectada la brotación. El tapado de la semilla se realiza con azadón en el caso de siembra manual.
- *Aporque (rectificación de los surcos).* Este procedimiento se realiza 15 a 20 días después de la desyerba. El aporque consiste en formar los caballones sobre los surcos ya marcados y tiene como objetivo impedir que los estolones salgan a la superficie para formar nuevos tallos en lugar de nuevos tubérculos. Gracias a este procedimiento se reduce el número de tubérculos

producidos por unidad de superficie y, en consecuencia, mejora el rendimiento del cultivo (Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Chile [INIA], 2017). La variedad Perla Negra tiende a formar los tubérculos cerca de la superficie del suelo, por dicha razón es importante que el aporque se realice alto y cubriendo la base del cuello de la planta, para que los tubérculos no salgan a la superficie, pues esto acarrearía problemas fitosanitarios y tubérculos afectados por el sol (figura 16).



Foto: Baltazar Coronel Ortiz

Figura 16. Aporque de Perla Negra (formación de los surcos).

Fuente: Valbuena (2016)

- *Corte de rama.* Cuando el cultivo de Perla Negra llega a su madurez fisiológica, 140 días después de la siembra aproximadamente, es recomendable realizar un corte de rama manual (no químico) y dejar el follaje cortado sobre el surco, para evitar que la papa se asolee. Este procedimiento es necesario, porque la variedad tiende a mantener el follaje y algunos estolones verdes aun cuando ha cumplido el ciclo vegetativo, especialmente en épocas de lluvia. El corte de rama no tiene ningún efecto desfavorable en la producción, por el contrario, mejora y homogeniza la suberización de los tubérculos.
- *Cosecha y selección de tubérculos.* La cosecha se realiza aproximadamente 20 a 30 días después de la madurez fisiológica, para que la piel del tubérculo suberice completamente. La cosecha puede ser mecánica o manual según la disponibilidad, el tipo de explotación y las condiciones del terreno. La cosecha manual se realiza con ganchos y personal experimentado, para evitar daños al tubérculo o que este se quede enterrado. La cosecha se debe realizar

preferiblemente en horas de la mañana y en tiempo seco; el arranque de los tubérculos se hace de manera manual, generalmente con azadón. Los tubérculos recolectados deben ser extendidos y expuestos al sol durante dos horas, para que se sequen y se estimule así la suberización del apile del tubérculo (figura 17).



Foto: Baltazar Coronel Ortiz

Figura 17. Cosecha manual de Perla Negra.

En cuanto a la selección, esta se realiza en el campo directamente, donde los tubérculos se escogen y se clasifica la papa por tamaños para la comercialización (tabla 6).

Tabla 6. Clasificación por tamaños según norma NTC 341

| Denominación | Nombre comercial | Diámetro (mm) |
|--------------|------------------|---------------|
| Muy grande | Cero | 90 |
| Grande | Primera | 65-90 |
| Mediana | Segunda | 45-64 |
| Pequeña | Riche | 30-44 |

Fuente: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec] (1969)

Para el año 2015, en las pruebas semicomerciales, la variedad de Perla Negra presentó —en la cosecha, en promedio para las localidades en las cuales se

evaluó— rendimientos superiores con 32,25 t/ha, en comparación con el testigo Diacol Capiro, con 19,25 t/ha. En el mismo sentido, presentó un menor número de tubérculos en las categorías de segunda (Riche) con respecto a la variedad Diacol Capiro. Por otra parte, la variedad Perla Negra mostró los mayores pesos en papa cero y primera (tabla 7) (Valbuena et al., 2016).

Tabla 7. Peso de los tubérculos según su clasificación para las variedades de papa Perla Negra y Diacol Capiro en diferentes ambientes

| Perla Negra | | | | | | |
|-------------------|-------------------------|-------|-----------------|-----------------|-------|-----------------------|
| Localidad | Altitud (m s. n. m.) | 0 | 1. ^a | 2. ^a | Riche | Rendimiento (t/ha) |
| Zipaquirá 2012 | 2.880 | 16,85 | 58,03 | 9,83 | 1,5 | 43,1 |
| Ventaquemada 2012 | 2.880 | 10,53 | 33,23 | 11,83 | 1,18 | 28,375 |
| Turmequé 2011 | 2.530 | 9,83 | 34,44 | 16,54 | 2,73 | 31,719 |
| Diacol Capiro | | | | | | |
| Zipaquirá 2012 | 2.880 | 3,18 | 52,33 | 8,8 | 1,25 | 32,775 |
| Ventaquemada 2012 | 2.880 | 0,35 | 24,48 | 21,03 | 2,28 | 24,063 |
| Turmequé 2011 | 2.530 | 0,93 | 24,53 | 17,2 | 3,35 | 23 |

Fuente: Valbuena et al. (2016)

Empaque y pesado. Se utiliza empaque tipo costal de fibra con capacidad de 50 kilogramos, labor que se realiza después de la selección.

Referencias

Cámara de Comercio Bogotá (CCB). (2015). *Manual papa*. Bogotá, Colombia: Autor.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2013). *El cultivo de la papa, Solanum tuberosum. Alimento de gran valor nutritivo, clave en la seguridad alimentaria mundial*. Recuperado de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/insumos_factores_de_produccion_sep_2013.pdf.

- Federación Colombiana de Productores de Papa (Fedepapa). (2004). *Guía ambiental para el cultivo de la papa*. Recuperado de [http://www.siame.gov.co/siame/documentos/Guias_Ambientales/Guías Resolución 1023 del 28 de julio de 2005/AGRICOLA Y PECUARIO/Guia Ambiental para el cultivo de la papa.pdf](http://www.siame.gov.co/siame/documentos/Guias_Ambientales/Guías_Resolución_1023_del_28_de_julio_de_2005/AGRICOLA_Y_PECUARIO/Guia_Ambiental_para_el_cultivo_de_la_papa.pdf).
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). 2011. *Manejo fitosanitario del cultivo de la papa (Solanum tuberosum subsp. andigena y S. phureja). Medidas para la temporada invernal*. Recuperado de <https://www.ica.gov.co/getattachment/b2645c33-d4b4-4d9d-84ac-197c55e7d3d0/Manejo-fitosanitario-del-cultivo-de-la-papa-nbsp;--.aspx>.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec). (1969). *Norma NTC 341. Industria alimentaria. Papa para consumo. Clasificación*. Bogotá, Colombia: Autor.
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) (2017). *Manual del cultivo de la papa en Chile*. Boletín INIA / N.º 10. Recuperado de [http://www.inia.cl/wp-content/uploads/ManualesdeProduccion/10 %20Manual %20Papa.pdf](http://www.inia.cl/wp-content/uploads/ManualesdeProduccion/10%20Manual%20Papa.pdf).
- Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). (2015). *Análisis microbiológico de suelos*. Recuperado de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/Av-1820.PDF>.
- Sierra, C. (1982). *La acidez y alcalinidad de los suelos (pH)*. Boletín Técnico N.º 49 (50Re). Recuperado de <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boltec/NR10710.pdf>
- Valbuena, R. (2014). *Una variedad de papa para uso industrial con tolerancia a gota y alto rendimiento para el altiplano cundiboyacense* (Informe final de pruebas de evaluación agronómica [PEA]). Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Valbuena, R. (2016). *Una variedad de papa de doble propósito para consumo en fresco e industria* (Informe final de meta). Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).

Capítulo VII

Aspectos relevantes para el manejo integrado de la fertilización en la variedad Perla Negra

Los diferentes factores que influyen de forma positiva o negativa en el crecimiento y desarrollo de los cultivos pueden ser de origen biótico (la variedad sembrada, plagas, arvenses o enfermedades) o abiótico (CO_2 , agua, luz, temperatura o nutrientes minerales) (Pandey, Irulappan, Bagavathiannan, & Senthil-Kumar, 2017).

En Colombia, en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Nariño y Antioquia existen zonas que ofrecen condiciones climáticas adecuadas para el óptimo crecimiento de las diferentes variedades de papa, lo que los convierte en los departamentos con mayor área sembrada y producción de papa del país (Consejo Nacional de la Papa, 2018). Sin embargo, dentro de estas mismas zonas, existen diferentes tipologías de suelos, que presentan variaciones en las propiedades físicas y químicas (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2000) en distancias relativamente cortas; esto hace que el manejo de los suelos y la nutrición en el cultivo de papa sea de gran relevancia a la hora de obtener altos rendimientos.

Análisis de suelos realizados en fincas aledañas de Subachoque y Cundinamarca han reportado diferentes valores de pH del suelo, con contenidos de aluminio que pueden variar de 0 a 2,4 meq /100 g, lo cual sugiere que el manejo integrado de la fertilización debe tener en cuenta la variabilidad local de las características fisicoquímicas del suelo. Con el fin de diseñar planes de fertilización que suplan las necesidades de cada lote, el manejo integrado de la fertilización en papa debe incluir que van desde el diagnóstico de la fertilidad hasta aplicaciones foliares o en *drench*, antes de la cosecha.

Diagnóstico de la fertilidad

El grado de fertilidad del suelo se determina a partir de mediciones directas, analizando la composición química y física del suelo, sin embargo, los análisis de concentración de nutrientes en savia o tejido vegetal constituyen herramientas de diagnóstico que permiten caracterizar de forma indirecta la fertilidad del suelo. El análisis del suelo reporta variables como textura, pH, materia orgánica o carbono orgánico (MO o CO), contenidos de nutrientes —nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), sodio (Na), manganeso (Mn), hierro (Fe), zinc (Zn), boro (B), cobre (Cu)—, acidez intercambiable —aluminio (Al) e hidrógeno (H)—, capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) y conductividad eléctrica (CE). Por su parte, el análisis de tejido o de savia identifica la concentración de nutrientes en la planta, a partir de valores de referencia que permiten interpretar si la planta efectivamente tiene un adecuado estado nutricional (Gómez, Magnitskiy, & Rodríguez, 2017a).

Muestreo de suelo

Para realizar el diagnóstico de fertilidad del suelo se debe tomar una muestra de este, la cual es enviada a un laboratorio certificado para análisis de suelos. La muestra tendrá que ser tomada de forma adecuada para evitar un mal diagnóstico (Alfaro & Ramírez, 2019).

Se debe verificar que sea un área homogénea, y en caso de que no lo sea se debe dividir en lotes más pequeños y tomar una muestra por cada lote. Por ejemplo, si se tiene un lote con una parte en alta pendiente y otra en zona plana, por cada una de estas zonas se debe tomar una muestra (figura 18).

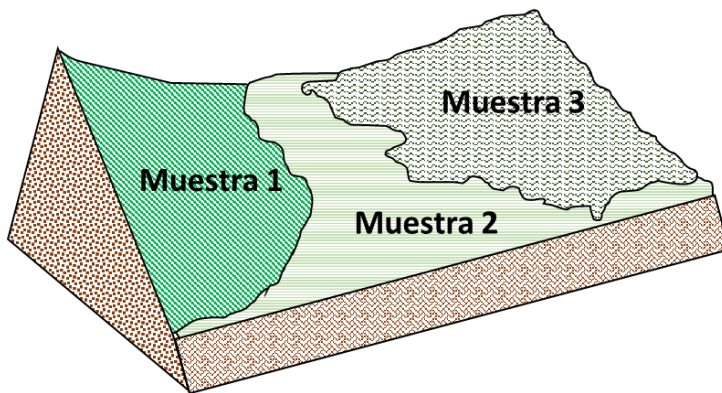


Figura 18. División de un lote heterogéneo para toma de tres muestras de suelo.
Fuente: Elaboración propia

Una vez delimitado el lote, se deben tomar varias submuestras al azar, con el objetivo de cubrir todo el lote (10 a 30 muestras); estas deben ser mezcladas y homogenizadas para posteriormente tomar una muestra de entre 500 a 1.000 gramos (figura 20) que será llevada al laboratorio. La profundidad de muestreo debe ser de 0 a 20 cm, para evitar tomar capas superficiales orgánicas (figura 19).

La muestra puede ser tomada con un palín, una pala o un barreno, y las submuestras tienen que ser mezcladas en un balde o bolsa (figura 20). Para las muestras con palín o pala, se realiza un corte en 'V' del ancho del palín y se toma una tajada de 2 a 3 cm de espesor (figura 19).

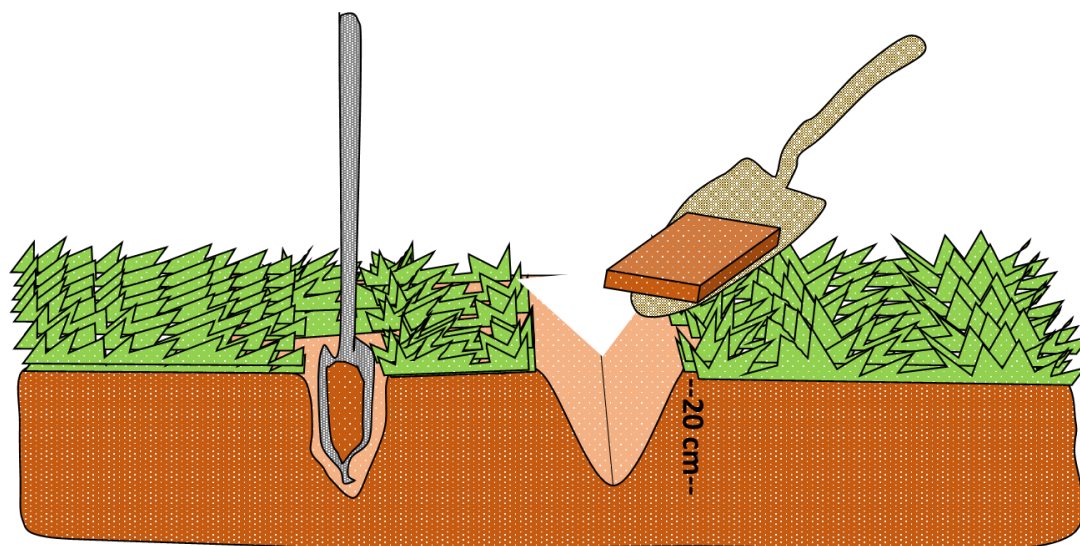


Figura 19. Toma de muestra de suelo de 0 a 20 cm de profundidad con un barreno y una pala.

Fuente: Elaboración propia

La muestra tiene que ser debidamente identificada antes de ser enviada al laboratorio. Esta debe llevar como mínimo la siguiente información: nombre de la finca, lote, vereda, municipio, departamento, cultivo anterior, nombre del productor y fecha de muestreo; algunos laboratorios pueden pedir información adicional, como las coordenadas.

Evite tomar muestras en periodos de sequía o muy lluviosos, así como después de una lluvia o luego de haber aplicado fertilizante. Tenga en cuenta que todas las herramientas y materiales utilizados deben estar limpios.

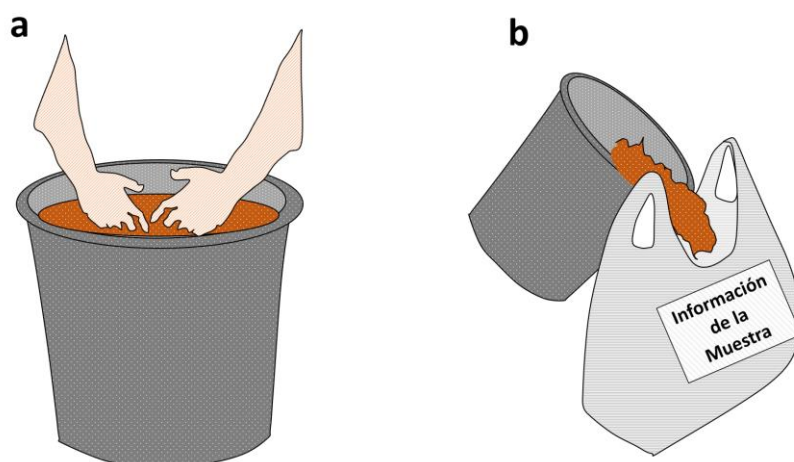


Figura 20. Alistamiento de la muestra. a. Homogenización de las submuestras; b. Empaque en bolsa de 500 a 1000 gramos de suelo.

Manejo de enmiendas y nutrientes

Los resultados del análisis de suelo se pueden interpretar teniendo en cuenta rangos críticos (tabla 8); sin embargo, el manejo integrado de la fertilización debe incluir otros aspectos propios de cada parámetro, que permitan elaborar planes de fertilización ajustados a las condiciones específicas de cada lote:

Tabla 8. Rangos de niveles edáficos que se correlacionan con las exigencias físico-nutricionales del cultivo de papa

| pH y carbono orgánico (CO) | | Elementos menores | |
|---|---------|---|---------|
| pH | 5,5-7,5 | B ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) | 0,3-0,6 |
| CO (%) | 2,9-5,8 | Cu ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) | 2,0-4,0 |
| Elementos mayores | | Zn ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) | 3,0-5,0 |
| P ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) | 40-60 | Mn ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) | 5,0-10 |
| K ($\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$) | 0,4-0,8 | Fe ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) | 25-50 |
| Ca ($\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$) | 4,0-8,0 | Saturación | |
| Elementos secundarios | | % sat Al | < 20 |
| Mg ($\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$) | 1,5-3,0 | % sat Ca | 50-60 |
| S ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) | 10-25 | % sat Mg | 15-20 |
| | | % sat K | 4,0-6,0 |

* Métodos de análisis usados: CO (Walkey Black); P (Bray II), S (fosfato monobásico de calcio); bases de cambio (acetato de amonio 1N pH 7); elementos menores (Olsen), boro (fosfato monobásico de calcio o agua caliente).

Fuente: Castro y Gómez (2010)

Materia orgánica (MO)

Se considera un rango medio de MO de 5 a 10%. Si se toman como referencia los suelos dedicados a la producción de papa en Boyacá y Nariño, más del 60% de ellos presentan valores menores al 5% de MO, en Cundinamarca y Antioquia solo un 40%, mientras que un 2% representa suelos con menos del 5% de MO (Guerrero, 2005). Esto indica que en los departamentos de Boyacá y Nariño es necesario fortalecer las aplicaciones de MO, en comparación con Cundinamarca y Antioquia. Esta decisión debe estar soportada en los análisis de suelos de cada lote.

En la materia orgánica dominan las cargas negativas, por lo que elementos como el aluminio o el hierro pueden ligarse a estas cargas (inmovilizarse) e incrementar la disponibilidad de fósforo, así como disminuir la toxicidad por aluminio (Malavolta, 2006). Sin embargo, se debe garantizar que la materia orgánica aplicada al cultivo sea de calidad y cumpla con los niveles mínimos de inocuidad, para evitar la transmisión de agentes patógenos que afecten tanto a humanos como al propio cultivo (Román, Martínez, & Pantoja, 2013).

pH, aluminio (Al), calcio (Ca), magnesio (Mg) y silicio (Si)

El pH es una propiedad química del suelo y expresa la concentración de hidrógeno en forma de ion libre (H^+) en solución. Es un valor ampliamente usado para determinar la acidez del suelo, la cual tiene origen en diferentes fuentes: el lavado o reemplazo de bases por iones de carácter ácido como el Al, que en su hidrólisis libera H^+ ; la mineralización de la materia orgánica; la actividad radical; y el uso de fertilizantes nitrogenados en forma amoniacal (procesos de nitrificación) (Espinosa & Molina, 1999).

Según el valor del pH del suelo, la disponibilidad de los diferentes elementos varía (figura 21), y de forma general se puede decir que la mayoría de los macronutrientes incrementan su disponibilidad a pH básicos, mientras que la gran parte de los elementos menores lo hacen a pH ácidos. En el caso del Al, al ser un catión de tipo ácido, su disponibilidad incrementa a un pH por debajo de 5,5. Este elemento afecta negativamente a las plantas, lo que limita la

disponibilidad de nutrientes con la reducción del pH y genera toxicidad para la mayoría de los cultivos, entre ellos la papa.

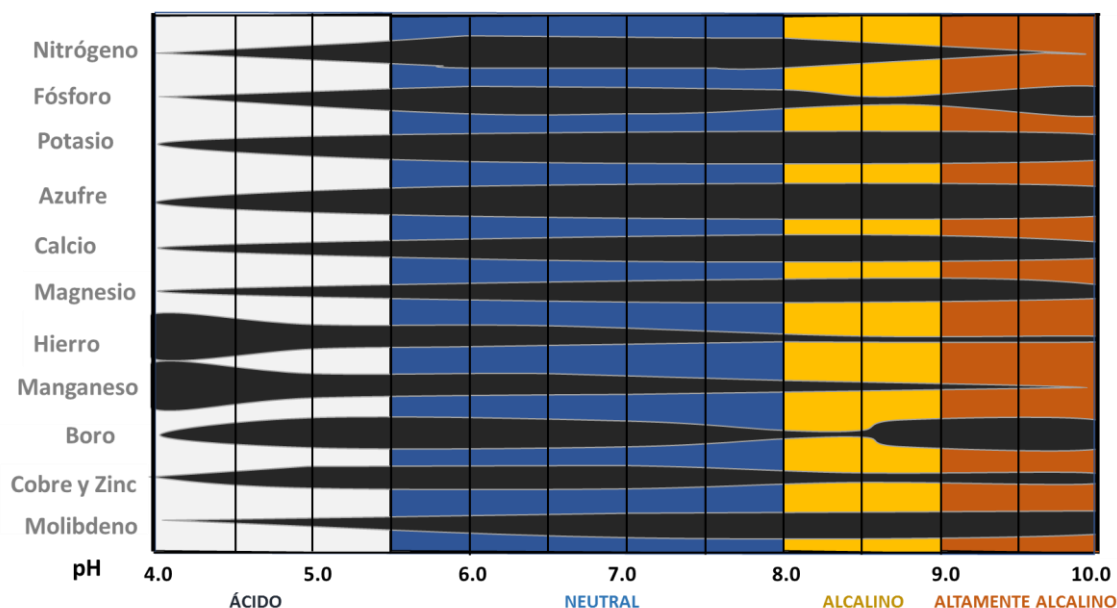
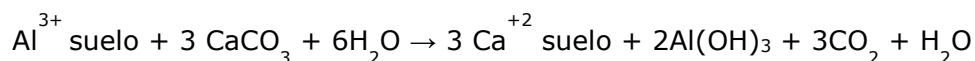
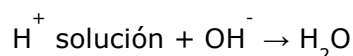
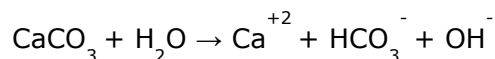


Figura 21. Disponibilidad de los nutrientes según el valor de pH en la solución del suelo.

Fuente: Elaboración propia con base en Grains Research and Development Corporation (2011)

El manejo de la acidez y del Al en el suelo es realizado mediante el uso de enmiendas químicas, también conocidas como cales: óxidos, hidróxidos, carbonatos, escorias industriales (silicatos) y yeso (sulfato). Estos materiales pueden contener Mg, Ca, S y Si en diferentes concentraciones, y dependiendo de su naturaleza química varía la capacidad de neutralización de la acidez. En la ecuación 7.1 —“Neutralización de la acidez intercambiable mediante el uso de carbonatos” (Castro & Gómez, 2010)— se evidencia la reacción del oxígeno presente en estos materiales con los H⁺ de la solución de suelo provocando un incremento en los valores de pH, además de precipitar el Al mediante la formación de hidróxidos de aluminio, lo cual libera bases como Ca y Mg, que llegan a los espacios previamente ocupados por el Al en la fase de intercambio del suelo.



Ecuación 7.1. Neutralización de la acidez intercambiable mediante el uso de carbonatos.

Fuente: Castro y Gómez (2010)

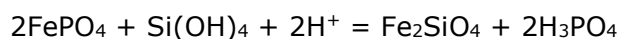
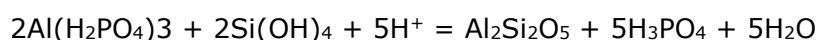
La mayoría de los suelos destinados a la producción de papa en Cundinamarca y Boyacá (aproximadamente el 71,2 %) se caracterizan por tener un pH por debajo de 5,5 y presentan contenidos de Mg que van en descenso desde 1980; por su parte, la proporción de suelos que tienen bajos y altos contenidos de Ca son el 37,1 % y 36,7 % respectivamente (Guerrero, 2005). Lo anterior refleja la necesidad de implementar en estos suelos medidas correctivas que permitan neutralizar la acidez del suelo mediante la aplicación de cales, dado que el cultivo de papa, en general, presenta un adecuado crecimiento y desarrollo en un rango de pH que va desde 5,2 a 6,4 (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2008). Los suelos con pH más bajo pueden estar limitando la disponibilidad de nutrientes como el P, Mg, Ca y K e incrementado la de Fe (figura 21).

De lo anterior se deduce que en algunos suelos de estos departamentos se deben aplicar enmiendas o fertilizantes a base de Mg (edáficos, foliares o en *drench*) mediante el uso de insumos como la cal dolomita, el nitrato de magnesio o el sulfato de magnesio. El uso de cal viva o cal agrícola (alta concentración en Ca) debe ser evitada en aquellos suelos donde la saturación de calcio está elevada (> 65 %), dado que estos cationes pueden competir con otras bases como el Mg o el K y provocar una deficiencia de estos elementos. La deficiencia de Mg está relacionada con menor producción de almidón y llenado de los tubérculos, siendo mayor su efecto en épocas de floración y formación de tubérculos (Jiménez, 2017).

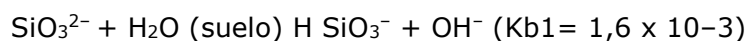
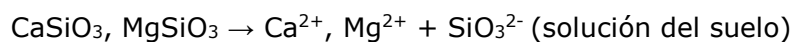
El cálculo de las necesidades de material encalante debe estar fundamentado tanto en los resultados del análisis del suelo como en las características propias del material: a) en el poder relativo de neutralización (PNTR), que es un valor que indica el porcentaje de la enmienda que va a reaccionar en los primeros tres meses y va a estar en función de la pureza química del material (equivalente químico), el tamaño de partícula (Espinosa & Molina, 1999) y b) la presencia de impurezas. Una decisión común que puede enfrentar un productor de papa es la elección entre dos materiales encalantes que presentan el mismo nombre (p. ej., cal agrícola), por lo que conocer aspectos tan relevantes como que a menor diámetro de partícula (cales más molidas) la reacción es más rápida permite tomar decisiones más acertadas a la hora de manejar la acidez del suelo.

El silicio es deficiente en suelos ácidos con alto grado de meteorización (Epstein, 1999), y las escorias industriales, que son silicatos de calcio (CaSiO_3) o magnesio (MgSiO_3) en diferentes proporciones, pueden proporcionar de forma variable fósforo y elementos menores (además del silicio). La presencia de silicio en el suelo está en relación con los contenidos de óxidos de hierro, aluminio y manganeso, debido a que un incremento del silicio tiene que ver con una disminución de la toxicidad por estos otros elementos y un incremento en la disponibilidad del fósforo, como se muestra en la ecuación 7.2 —“Posibles reacciones de desplazamiento del fosfato por el silicato” (Matichenkov & Ammosova, 2001)—. Las reacciones químicas de los silicatos implicadas en la reducción de la acidez del suelo son similares a las de los carbonatos, donde también se provoca liberación de bases (Ca y Mg). Véase la ecuación 7.3 —“Neutralización de la acidez mediante el uso de silicatos” (Embrapa, 2004)—.

Ecuación 7.2. Posibles reacciones de desplazamiento del fosfato por el silicato.



Fuente: Matichenkov y Ammosova (2001)



Ecuación 7.3. Neutralización de la acidez mediante el uso de silicatos.

Fuente: Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria [Embrapa] (2004).

El sulfato de calcio di-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), más conocido como yeso agrícola, no modifica significativamente el pH del suelo por ser una sal neutra, pero sí eleva la saturación de calcio, y su función principal es la precipitación del aluminio en formas no tóxicas (Castro & Gómez, 2010), sin embargo, puede provocar la lixiviación de cationes por la formación de pares iónicos (Bernal, 2008) como CaSO_4 , MgSO_4 , KSO_4 ; por esto, la aplicación debe ser muy ajustada y cuidadosa, especialmente en suelos con bajos contenidos de bases donde el riesgo de pérdidas es alto. No es recomendable aplicar yeso cuando la saturación de calcio es mayor a 60 % y la de aluminio menor a 20 %. En ningún caso se deben superar las dos toneladas por ha, para lo cual se han determinado diferentes fórmulas a partir de los contenidos de Ca y Al o de la clase textural del suelo que permiten dosificar esta enmienda (Malavolta, 1993).

La deficiencia de calcio ha sido relacionada con la pérdida de la calidad del tubérculo, puesto que se llegan a presentar desórdenes como la mancha marrón al interior del tubérculo (Gumede, 2017). Es por esto que en suelos con bajos contenidos de Ca, además de realizar correcciones con cales, se puede requerir la aplicación foliar o en *drench* (inyectado) de fertilizantes solubles como el nitrato de calcio. Por otra parte, aplicaciones excesivas de calcio restringen la disponibilidad de P aun cuando sus contenidos sean altos, debido a la formación de fosfatos de calcio que son insolubles.

Nitrógeno (N) y potasio (K)

El nitrógeno es un elemento con alta movilidad en el suelo, por lo cual un mal manejo de este nutriente provoca pérdidas por lixiviación (lavado) a horizontes más profundos, lo que puede contaminar aguas subterráneas. Además de los impactos ambientales, una excesiva aplicación de este elemento puede traer consecuencias negativas en el rendimiento del cultivo, lo que genera una disminución en el índice de cosecha, ya que la planta destina la mayor parte de la producción de fotoasimilados (azúcares) al crecimiento de la parte aérea de esta y reduce la translocación a los tubérculos. Por otra parte, se ha reportado que aplicaciones excesivas de este elemento incrementan el ataque de enfermedades (Mitchell, Reich, Tilman, & Groth, 2003) y plagas (Huber, Römheld, & Weinmann, 2012).

El potasio es un elemento que no forma parte estructural de las plantas, pero está implicado en diversas funciones de esta, como la síntesis de almidón, la fotosíntesis, el transporte de azúcares, la activación enzimática y la regulación hídrica (Prajapati & Modi, 2012). Con base en esto, la fertilización potásica ha sido ampliamente usada con el fin de incrementar el llenado de tubérculos. Debido a los diferentes procesos que regula, permite no solo una mayor ganancia de materia seca, sino una mayor eficiencia en el transporte hacia los tubérculos. Por esta razón, en zonas donde se acostumbra a fraccionar la fertilización en dos aplicaciones, la mayor proporción de K se aplica al momento del reabone; mientras que la mayor proporción de N es aplicada en la siembra o emergencia del cultivo, con lo que se busca promover el crecimiento vegetativo. Sin embargo, no es recomendable suprimir por completo uno de los dos elementos durante la fertilización, pues la planta de papa presenta un comportamiento de absorción similar para ambos nutrientes a lo largo del tiempo (figura 21).

Una de las fuentes de N más empleada en fertilización granulada es la urea, la cual presenta restricciones en su disponibilidad cuando no es debidamente incorporada, lo que genera pérdidas de N por volatilización (Finch & Lane, 2014). Otra fuente de N es el nitrato de amonio, no obstante, por las restricciones de los nitratos en el mercado, su uso es menor. De las mezclas más usadas para el

aporte de N y P en el cultivo de papa se encuentra: DAP (Fosfato Diamonico) más urea o fertilizantes compuestos como 12N-24P₂O₅-12K₂O. Sin embargo, no es recomendable manejar la misma formulación de nutrientes en todos los lotes, ya que el grado ideal de nutrientes para un cultivo va a estar dado por el historial del lote, la meta de rendimiento, los requerimientos del cultivo y los resultados de análisis de laboratorio o de campo (suelo, tejido, savia, etc.).

La principal fuente de K de uso comercial en fertilización de cultivos es el cloruro de potasio (KCl) (Finch & Lane, 2014), que contiene un 60 % de K, mayor a otras fuentes de K como el nitrato de potasio (KNO₃), que contiene un 46 %, o el sulfato de potasio (K₂SO₄), que contiene el 50 % de K. El uso intensivo de KCl, bajo ciertas condiciones de suelo y clima, puede afectar negativamente el desarrollo del cultivo, debido a un incremento en la concentración de Cl⁻ en la solución del suelo, lo que genera problemas de salinidad y menor absorción de aniones como el nitrato (NO₃) (James, Hurst, Westerman, & Tindall, 1994; Johnston, 2001); con base en esto, se recomienda variar o complementar el uso de esta fuente de K.

Tanto el K⁺ como las demás bases (Mg²⁺, Ca²⁺ y Na⁺) se deben operar dentro de un plan de manejo integral, dadas las interacciones que se presentan entre ellas (p. ej., los antagonismos). Es aquí donde la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC o la CICE) cobra relevancia, debido al constante intercambio de bases que ocupan las cargas negativas de los coloides del suelo, con los cationes presentes en la solución del suelo. Guardar un equilibrio en la proporción de las bases que ocupan los sitios de intercambio permitirá garantizar un adecuado suministro de nutrientes a lo largo del ciclo productivo (Castro & Gómez, 2010). Un suelo con una baja CICE (baja MO, altos contenidos de arena y arcillas 1:1) puede ser equilibrado de forma más sencilla con aplicaciones externas de fertilizante, sin embargo se requiere mayor número de aplicaciones durante el ciclo de cultivo que eviten pérdidas por lavado de nutrientes. Los suelos con alta CICE (altos contenidos de MO y arcillas 2:1 tipo vermiculita o esmectita) requieren un suministro mayor de nutrientes (fertilizantes) para alterar la proporción de cationes en la solución del suelo; por ejemplo, estos suelos suelen requerir mayores cantidades de enmiendas para bajar los contenidos de aluminio a niveles aceptables.

Fósforo (P) e interacciones P/Zn

El P es un elemento que se caracteriza por su baja solubilidad, lo que a su vez provoca una baja movilidad en el suelo, por lo que aplicación debe ir dirigida cerca de la zona radical (tanto de forma horizontal como vertical), para facilitar la absorción por parte del cultivo. Al asociarse con el aluminio o el calcio forma compuestos insolubles, lo que reduce su disponibilidad a medida que se incrementa la acidez o alcalinidad del suelo, limitando el rango de disponibilidad entre un pH de 6,5 a 7,5 (figura 21). Estas características propias del P han llevado a la aplicación de grandes cantidades de este elemento, llegando a dosis de 400 kg/ha de P_2O_5 .

El P está implicado en la respiración y en la transferencia y acumulación de energía en la planta, lo cual está directamente relacionado con el desarrollo de raíces y tejidos meristemáticos (Bernal & Espinosa, 2003). Por esta razón, tradicionalmente se aplica este elemento durante la siembra, sin embargo, como se puede observar en la figura 23, se presenta absorción hasta bien entrada la fase de tuberización, lo que hace necesario aplicaciones en fases más avanzadas del cultivo. Estudios realizados en papa por Covarrubias et al. (2005) encontraron que la mayor absorción de P se presenta entre el inicio de la tuberización y el máximo desarrollo del tubérculo.

Como se mencionó anteriormente, la aplicación de escorias industriales no solo pueden aportar P, sino que sus contenidos de silicatos incrementan la disponibilidad de este, por lo cual es una buena alternativa tanto para la regulación de la acidez como para el suministro de P.

Se ha encontrado que hay una relación inversa entre la concentración de P y la asimilación de Zn por las plantas como resultado de dos mecanismos: a) la competencia por los transportadores que median el ingreso a la planta y b) por una reducción del transporte de Zn a larga distancia al interior de la planta debido a una precipitación del Zn por el P en los vasos capilares (Malavolta, 2006). El uso de altas cantidades de P en suelos ácidos puede provocar una deficiencia de Zn y comprometer el rendimiento del cultivo.

En suelos de alta acidez, como algunos de las zonas paperas de Colombia, se pueden requerir altas cantidades de P, limitando la disponibilidad y absorción del Zn, por lo que hacer uso del análisis foliar, así como el reconocimiento de las deficiencias de Zn, resulta útil en el momento de balancear el contenido de nutrientes en el suelo o determinar la necesidad de suspender temporalmente el suministro de P o de Zn (edáfica o foliar). Uno de los efectos del exceso de P es la reducción del tamaño de tubérculos y del rendimiento del cultivo (Barben et al., 2007).

En investigaciones realizadas por Barben et al. (2007) se encontró que al incrementar la concentración de Zn en las soluciones nutritivas se reducían los contenidos de P en la parte aérea de planta de papa, por formación de complejos P/Zn en la raíz que restringen el movimiento del P. A pesar de que estos estudios no evidenciaron una reducción del Zn cuando se aumentó la concentración de P en la solución, sí pueden reducir la actividad del Zn al interactuar con otros micronutrientes como el Mn.

Azufre (S) y elementos menores: boro (B), zinc (Zn) y manganeso (Mn)

El S es un nutriente que hace parte de algunos aminoácidos, contribuye a la formación de proteínas, estimula la asimilación de N y hace parte de vitaminas y hormonas. Diversos estudios han encontrado que la aplicación edáfica de S y Mg, complementaria a la de NPK, incrementan los rendimientos y rentabilidad del cultivo de papa (Jiménez, 2017), sin embargo, las dosis deben ser determinadas con base en los contenidos de S y Mg en el suelo y la demanda propia de estos elementos por parte del cultivo. Se ha encontrado que altas aplicaciones de P, como se hace en suelos derivados de cenizas volcánicas, dificultan la toma del ion sulfato (Guerrero & Tello, 2000), provocando una deficiencia de S en la planta. Las principales fuentes de fertilizantes para el suministro de azufre disponibles en el mercado son yeso (15 a 17 % S), sulfato de amonio (24 % S), sal de Epsom (13 % S), kieserita (23 % S), langbeinita (22 % S), sulfato de potasio (18 % S) y tiosulfatos (10 a 26 % S) (International Plant Nutrition Institute [IPNI], 2018).

El cultivo de papa presenta respuestas positivas a la aplicación de elementos menores. García y Viveros (1993) reportan que los suelos dedicados a la producción de papa en Nariño presentan deficiencias principalmente de B, Zn, Mn y S. Las aplicaciones de Zn incrementan el número y tamaño de tubérculos (mayor rendimiento) y mejoran la calidad de los tubérculos en índices poscosecha (Banerjee et al., 2017).

De acuerdo con la investigación de Banerjee et al. (2016), en un entisol con contenidos de $0,67 \text{ mg kg}^{-1}$ de Zn se encontró que aplicaciones edáficas de hasta $4,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de Zn presentaron los mayores rendimientos y la mayor calidad en papas del grupo Andígena, sin embargo, los mayores contenidos de almidón se registraron con dosis de 6 kg ha^{-1} de Zn. Aplicaciones de fertilizantes edáficos que garantizan un suministro balanceado de N, P, K, S, más 6 kg ha^{-1} de Zn y 2 kg ha^{-1} de B han elevado el rendimiento de papa en más de un 30 % con respecto a fertilizaciones tradicionales de los agricultores. Por otra parte, la omisión de la dosis de B o la de Zn representó una reducción del 6,4 y 7 % respectivamente con relación al incremento total en la producción (Sandeep, Deependra, Singh, & Vinay 2014). Lo anterior evidencia la relevancia de la fertilización con elementos menores en la producción de papa.

Aplicaciones de B, Mn y Zn en el grupo Phureja han mostrado tener una respuesta positiva en el rendimiento del cultivo (Pérez, Rodríguez, & Gómez, 2008; Ríos, Jaramillo, González, & Cotes, 2010; López, Gómez, & Rodríguez, 2014). Las aplicaciones de Mn pueden incrementar el porcentaje de materia seca en papa, además de favorecer la absorción de calcio, sin embargo presentan antagonismo con el Cu. El Zn, por su parte, se relaciona con una estimulación de la utilización del Mg (Pérez et al., 2008).

De los fundamentos que han sido expuestos sobre los diferentes nutrientes, se infiere que la fertilización no debe ser pensada de forma independiente para cada nutriente, sino que se deben tener en cuenta las diferentes interacciones positivas (sinergismos) o negativas (antagonismos) que se presentan en el suelo o en la planta. Adicionalmente, se debe hacer uso de la ley del mínimo de Liebig (figura 22) que dicta que el crecimiento (rendimiento) de los cultivos está

limitado por el recurso más escaso, en este caso, el nutriente que esté más lejos de suplir las necesidades de la planta. Por esto, los planes de fertilización deben ser balanceados y se deben tener en cuenta los requerimientos del cultivo y la disponibilidad de los nutrientes.

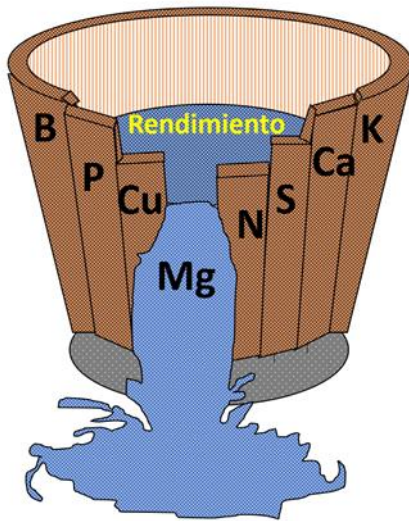


Figura 22. Representación gráfica de la ley del mínimo de Liebig. Las láminas de madera indican la cantidad disponible de cada nutriente para la planta, mientras que la fuga de agua representa la pérdida en el rendimiento del cultivo por bajos niveles de Mg.

Fuente: Elaboración propia

Historial del lote y meta de rendimiento

Los rendimientos de una misma variedad de papa pueden cambiar de una zona a otra como resultado de variaciones en las prácticas agronómicas y en las características edafoclimáticas. El manejo agronómico puede ser modificado con el fin de elevar los rendimientos, pero existen limitantes de tipo climático o en el suelo, las cuales no son modificables y limitan la obtención del máximo potencial de rendimiento del cultivo. Conocer el comportamiento del cultivo en cierta zona y compararlo con terrenos cercanos, que presentan características ambientales similares, permite fijar una meta de rendimiento que a su vez determinará las

necesidades de fertilización. Cabe anotar que a medida que se incrementa el rendimiento por hectárea, las necesidades nutricionales también se incrementan. Estudios realizados por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) en dos municipios de Cundinamarca, donde se manejaron diferentes planes de fertilización, permitieron determinar la extracción total de nutrientes por tonelada de papa producida de variedad Perla Negra (tabla 9).

En el desarrollo de este capítulo los conceptos de absorción y extracción serán entendidos siguiendo la definición de Ciampitti y García (2008), quienes explican la absorción como la cantidad total de nutrientes absorbidos por el cultivo durante su ciclo de desarrollo y la extracción como la cantidad total de nutrientes en los órganos cosechados, que para el caso de la papa son los tubérculos.

Tabla 9. Extracción de nutrientes por tonelada producida de la variedad Perla Negra en dos municipios de Cundinamarca

| Localidad | Extracción (nutriente/tonelada producida) | | | | | | | | | | |
|-------------|---|---------------------------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| | N* | P ₂ O ₅ * | K ₂ O* | CaO* | MgO* | S* | Fe** | Cu** | Mn** | Zn** | B** |
| Subchoque | 3,69 | 1,19 | 2,94 | 0,18 | 0,63 | 0,43 | 38 | 3 | 6 | 7 | 2 |
| Villapinzón | 2,76 | 1,33 | 2,56 | 0,12 | 0,42 | 0,52 | 197 | 2 | 8 | 13 | 3 |

* Kilogramos; ** Gramos

Fuente: Elaboración propia

En el cultivo de papa, los tallos y hojas no son removidos del lote luego de la cosecha, por lo que en las fincas que presentan ciclos anteriores de papa, la parte aérea (y con ella los nutrientes) ha sido incorporada al suelo, haciendo que sean más importantes los valores de extracción que de absorción en el diseño de los planes de fertilización. Sin embargo, la absorción cobra relevancia en lotes que vienen de otros cultivos o de barbecho, dado que se debe garantizar el suministro de nutrientes removidos tanto por la parte aérea como por la subterránea.

En la tabla 9 se observa que la demanda de nutrientes de la variedad Perla Negra presenta el siguiente orden: N > K > P > S > Mg > Ca > Fe > Zn > Mn > B. Teniendo como base las investigaciones adelantadas por Gómez (2012), se observa que la variedad Perla Negra (tabla 9) presenta mayor extracción de algunos nutrientes por tonelada producida, en comparación con las variedades Diacol

Capiro y Pastusa Suprema, como el nitrógeno ($1,99 \text{ kg t}^{-1}$ y $2,10 \text{ kg t}^{-1}$ respectivamente). Este comportamiento también se presenta en otros requerimientos como P_2O_5 ($0,52$ y $0,58 \text{ kg t}^{-1}$), CaO ($0,05$ y $0,11 \text{ kg t}^{-1}$), MgO ($0,34$ y $0,39 \text{ kg t}^{-1}$) y S ($0,26$ y $0,20 \text{ kg t}^{-1}$). Por otra parte, la demanda de K_2O ($5,51$ y $5,94 \text{ kg t}^{-1}$) es superior en estas dos variedades que en Perla Negra.

Como se evidencia en la tabla 9, la variedad Perla Negra se caracteriza por tener una extracción de N superior o cercana a la de K; esta es una característica diferente a otras variedades como Diacol Capiro o Pastusa Suprema, las cuales extraen más del doble de K que de N (Gómez, 2012; Gómez, Magnitskiy, Rodríguez, & Darghan, 2017c). Dentro de los elementos secundarios se destaca que el S presenta niveles de extracción por encima de los de Mg y Ca, llegando a ser más del doble para el caso del Ca. En cuanto a las variedades Diacol Capiro y Pastusa Suprema, el Mg tiene una mayor extracción que el S, lo que también las diferencia de la variedad Perla Negra.

Con respecto a los elementos menores se destaca la alta toma de Fe, que en el caso del tubérculo llega a ser mayor incluso que la de Ca. Esto puede explicarse por la alta concentración de este elemento en el suelo en ambos municipios (719 mg kg^{-1} en Villapinzón y 622 mg kg^{-1} en Subachoque), lo cual estaría llevando a que la planta incremente su absorción.

Demandas nutricionales de la variedad Perla Negra

Para conocer la cantidad y la época de fertilización óptima del cultivo, se requiere la demanda de nutrientes a lo largo del ciclo productivo. Es por esto por lo que AGROSAVIA (investigación en proceso de publicación) determinó los requerimientos de los diferentes nutrientes en la variedad Perla Negra. Esta investigación fue llevada a cabo en dos localidades de Cundinamarca (Villapinzón y Subachoque), donde se implementaron tratamientos de diferentes niveles de fertilización balanceada. A continuación, se muestran los porcentajes de acumulación de nutrientes calculados a partir del consumo total de cada elemento, a lo largo del ciclo del cultivo en el tratamiento con mejor rendimiento en el municipio de Villapinzón (figuras 23, 24 y 25).

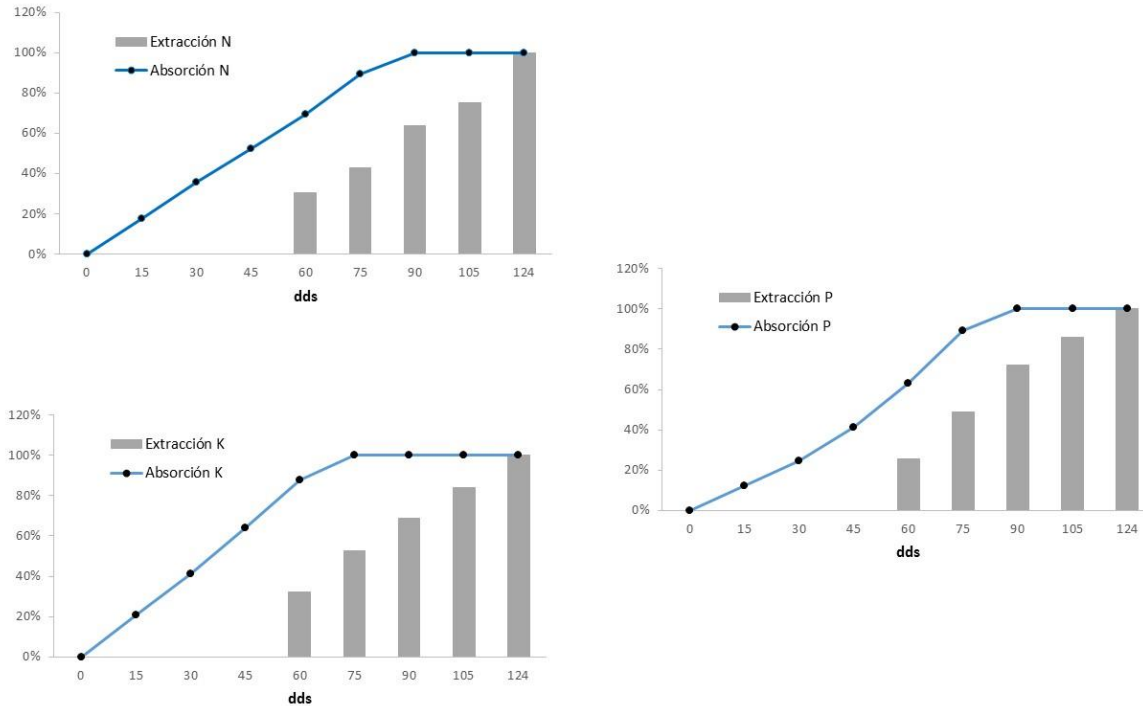


Figura 23. Porcentajes acumulados de consumo de N, P y K de la variedad Perla Negra, a lo largo del ciclo del cultivo determinados, en Villapinzón (Cundinamarca). Barras: extracción del tubérculo. Líneas: absorción total de la planta. dds: días después de siembra.

Fuente: Elaboración propia

La absorción de elementos mayores alcanza sus máximos niveles entre los 75 y 90 días después de la siembra (dds) (floración y llenado), sin embargo la acumulación de nutrientes en el tubérculo (extracción) tan solo ha alcanzado el 64 % de N, 72 % de P y 67 % de K (figura 23). Esto evidencia una traslocación de la parte aérea, hacia los tubérculos de N y K después de los 90 dds, y en menor medida de P. Esto concuerda con lo encontrado por Gómez, Magnitskiy y Rodríguez (2017b) en una etapa de crecimiento cercana en las variedades Diacol Capiro y Pastusa Suprema, donde el elemento con mayor porcentaje acumulado de extracción fue el P, seguido del K y el N.

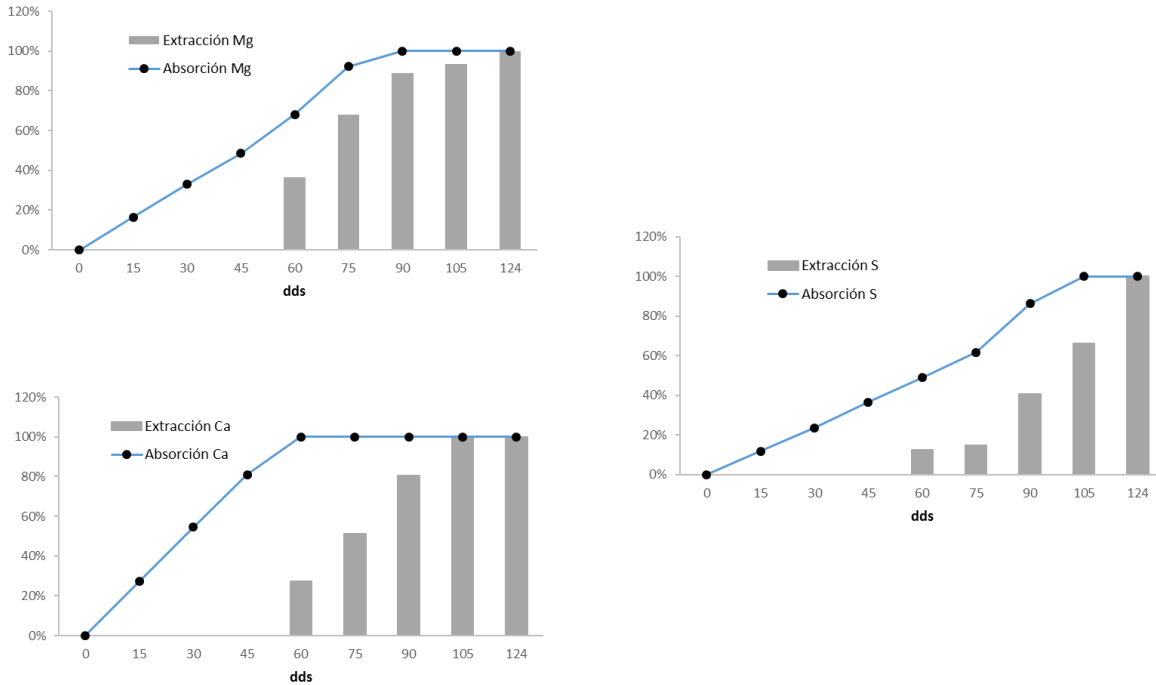


Figura 24. Porcentajes acumulados de consumo de Ca, S y Mg de la variedad Perla Negra, a lo largo del ciclo del cultivo, determinados en Villapinzón (Cundinamarca). Barras: extracción del tubérculo. Líneas: absorción total de la planta. dds: días después de siembra.

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de elementos secundarios (figura 24), el Ca alcanza su mayor absorción a los 60 dds, sin embargo el Mg solo logra su mayor absorción hasta un mes después (90 dds), lo que indica que la toma de Ca en la parte aérea de la variedad Perla Negra se da principalmente en las primeras etapas del desarrollo del cultivo, mientras que el tubérculo continúa tomando hasta los 105 dds. El Mg, por su parte, a los 90 dds está muy cerca de alcanzar su mayor extracción. Y para el caso del S, tanto la absorción como la extracción tienden a ser graduales a lo largo del ciclo del cultivo.

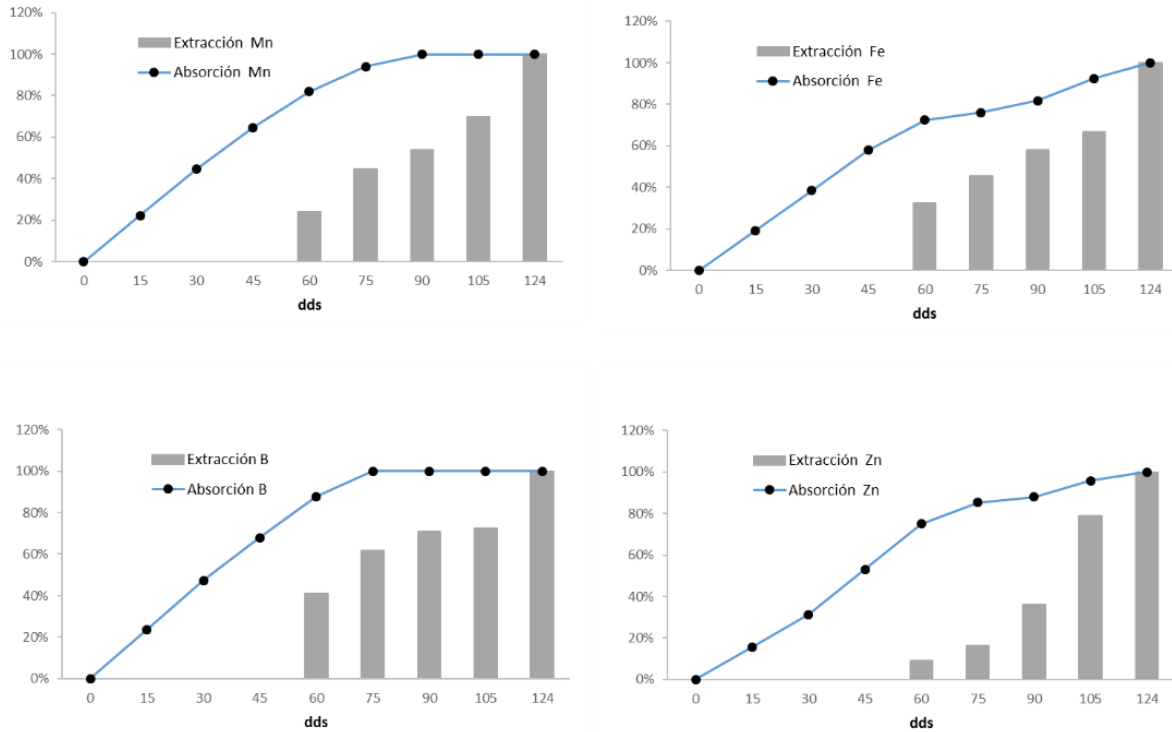


Figura 25. Porcentaje acumulado de consumo de Zn, Mn, B y Cu de la variedad Perla Negra, a lo largo del ciclo del cultivo, determinados en Villapinzón (Cundinamarca). Barras: extracción del tubérculo. Líneas: absorción total de la planta. dds: días después de siembra.

Fuente: Elaboración propia

La demanda de elementos menores en la variedad Perla Negra presenta un comportamiento diferenciado (figura 25): el Zn y el Cu tienden a presentar una absorción progresiva hasta el final del ciclo de cultivo; el B, y en menor medida el Mn, presentan la mayor absorción a los 75 dds, casi dos meses antes; y la acumulación de B y Mn (aproximadamente 30 %) en el tubérculo es más concentrada hacia la final del ciclo productivo que el Cu. Sin embargo, la acumulación de Zn es más concentrada en este periodo, en comparación con el B y Mn, llegando a más del 60 % en el último mes.

Los resultados favorables anteriormente expuestos en fertilización con elementos menores (tanto en el grupo Andigena como Phureja), las deficiencias reportadas en algunos suelos dedicados a la producción de papa y las necesidades de elementos menores de la variedad Perla Negra (tabla 9), perfilan el suministro de micronutrientes como una opción dentro del manejo integrado de la fertilización para incrementar los rendimientos en la variedad Perla Negra.

Fertilización foliar y en *drench*

La fertilización foliar es una práctica complementaria a la fertilización edáfica, que al implementarse adecuadamente favorece un sistema productivo más sostenible y amigable con el ambiente, así como la mejora del rendimiento y la calidad de los cultivos. Esta práctica puede traer las siguientes ventajas: a) facilita la rápida absorción de nutrientes cuando se presentan limitantes en la absorción vía raíz (p. ej., inmovilización en el suelo, verano, etc.), b) realiza una corrección rápida de deficiencias nutricionales y alivia condiciones de estrés, y c) en mezclas apropiadas con plaguicidas puede mejorar la eficiencia de la aplicación tanto para el plaguicida como para el fertilizante (Haytova, 2013). Los nutrientes comúnmente aplicados por vía foliar son N, P, K, Mg, Ca, Fe, Mn, Zn y B. Estos pueden estar quelatados o acomplexados con EDTA, glucoheptonatos, polioles, aminoácidos y lignosulfonatos, entre otros (Fernández, Sotiropoulos, & Brown, 2013).

Aplicaciones foliares de un fertilizante compuesto (N, P₂O₅, K₂O, Fe, Cu, Mn, Zn, B, Mo) en siete variedades del grupo Andigena incrementó significativamente la altura de la planta, el peso de los tubérculos y el rendimiento total (Jasim, 2013); por su parte, Ekelöf (2007) encontró que la fertilización foliar con P incrementaba el rendimiento cuando las plantas de papa se desarrollaban en condiciones húmedas, pero no afectaba el rendimiento en condiciones secas, lo que evidencia que la humedad del suelo es un factor importante para la absorción de P en la hojas.

La fertilización foliar en el grupo Phureja permite hacer correcciones temporales de elementos menores como S, B, Mn y Zn (Valverde, Córdova, & Parra, 1998); aplicaciones foliares de Zn y Mn han demostrado que incrementan el rendimiento y

el porcentaje de tubérculos de categoría primera (Villa, Rodríguez, & Gómez, 2011; López et al., 2014).

Además de la etapa de desarrollo y los mecanismos propios de la planta de papa para la absorción de nutrientes por parte aérea, el éxito de las aplicaciones foliares va a estar dado por: la dosis implementada (evitar altas concentraciones), la solubilidad del fertilizante, la compatibilidad con otras sustancias aplicadas (fungicidas e insecticidas), las condiciones ambientales, las propiedades y la calidad de la solución a aplicar (Oosterhuis, 2009; Haytova, 2013). Por esto, las soluciones de fertilización foliar deben estar complementadas con coadyuvantes que permitan la corrección de la dureza del agua, reduzcan pérdidas por el lavado de la solución y regulen el pH, para así mejorar la eficacia de la aplicación.

Debido a los resultados positivos de la fertilización foliar, tanto en el grupo Andigena como Phureja, este tipo de fertilización se perfila como una alternativa dentro de un plan de manejo integrado de la fertilización en la variedad Perla Negra.

Aplicaciones foliares y en *drench* de Ca en dos variedades del grupo Andigena durante la fase de inicio de tuberización e inicio de llenado de tubérculo mejoraron la calidad del tubérculo (gravedad específica) (Gumede, 2017).

Fertilización biológica

Como se mencionó anteriormente, algunos de los suelos dedicados a la producción de papa en Colombia fijan el fósforo, debido a la presencia de materiales de origen volcánico, lo cual se convierte en una limitante a la hora de obtener altos rendimientos (Barrera, 1998).

En los suelos existen microorganismos como los hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) y las bacterias solubilizadoras de fósforo, que mejoran la toma de este elemento o aumentan su disponibilidad. Se ha encontrado que la combinación de estos dos tipos de microorganismos puede mejorar la toma de fósforo por parte de la planta en materiales fijadores de este elemento como las cenizas volcánicas (Velázquez et al., 2017). En el cultivo de papa se ha

evidenciado que la combinación de fertilizantes fosfatados con microorganismos solubilizadores de fósforo mejoran el rendimiento del cultivo, el fósforo total en la planta y la tasa de absorción de este elemento (Covarrubias et al., 2005).

Las bacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR) son microorganismos que colonizan el sistema radical de las plantas y mejoran su crecimiento y desarrollo, dado que mejoran la disponibilidad y absorción de nutrientes, incrementan la tolerancia al estrés, producen hormonas que regulan el crecimiento en las plantas y protegen a la planta de posibles ataques de patógenos (Benjumeda, 2017). Se ha comprobado que aplicaciones de bacterias del género *Bacillus* influyen en el crecimiento y desarrollo de las plantas in vitro de papa (Alvarado et al., 2015), por lo que la inoculación en campo de este tipo de bacterias podría generar diferentes beneficios, como ha ocurrido en otros cultivos se ha encontrado mejoras en la obtención de nutrientes, estímulos en los mecanismos de defensa de la planta y supresión e inhibición de microorganismos patógenos y plagas (Kumar, Prakash, & Johri, 2011).

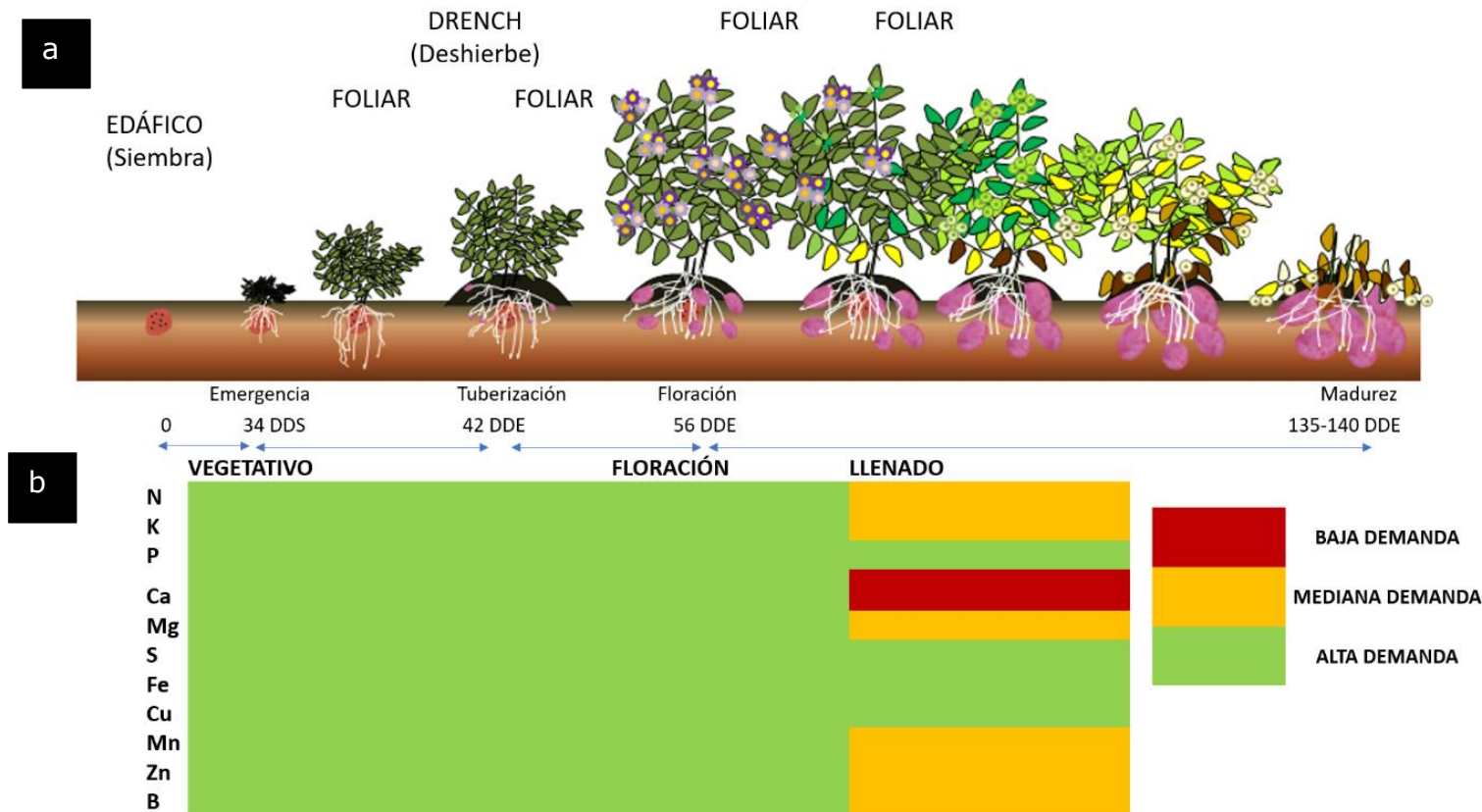


Figura 26. Propuesta de aplicaciones de fertilización en Perla Negra. a. Épocas opcionales para hacer aplicaciones de diferentes tipos de fertilización; b. Demandas de nutrientes en cada etapa de desarrollo, con base en la absorción de Perla Negra. dds (días después de siembra); dde: (días después de emergencia). Fuente: Elaboración propia con base en Saldaña (2014).

En términos generales, se puede observar que a los 60 dds (floración y finalización de formación de tubérculos) la planta ha absorbido el 100 % del Ca, más del 80 % de K, Mn y B, y cerca de un 70 % del N, Mg y Zn; en cuanto a la absorción del P y Cu está alrededor del 60 % y la de S en un 50 % (figuras 23, 24 y 25). De lo anterior se puede inferir que, para un adecuado desarrollo de la parte aérea desde la siembra, se debe garantizar el suministro de la mayor proporción de todos los nutrientes (oferta del suelo más fertilizantes) debido a que durante los primeros 60 dds se consume más del 50 % de estos, reforzando el K, Mn, B, N y Mg, dado que su consumo es mayor al del 70 %.

Para el caso del P, es necesario tener en cuenta su baja movilidad y la fijación que se da en algunos suelos dedicados a la producción de papa, por lo que también se requiere un refuerzo en la siembra. Con el fin de garantizar un adecuado llenado, en la segunda fertilización (reabone) se deben tener en cuenta los nutrientes suministrados durante la siembra más la traslocación que se presenta desde la parte aérea hacia el tubérculo, para suplir de manera completa la extracción de la planta (tabla 9). Por ende, los grados de fertilizantes a usar en cada fertilización van a estar dados por la demanda de nutrientes de la planta, la fertilidad del suelo y la eficiencia de la aplicación (p. ej., la urea es menos eficiente que el nitrato de amonio o la inoculación de micorrizas que elevan la eficiencia de toma de fósforo). En la figura 26 se presenta un plan opcional de aplicaciones, mediante el uso de los tres métodos de fertilización (edáfica, foliar o *drench*) que pueden contener uno o más tipos de fertilización (orgánica, biológica y química).

Debido a la alta extracción de Zn y S (> 80 %) y de K, P, S, Mg y B (> 60 %) después de los 60 dds, sumado a la movilidad de estos nutrientes en la planta y a la traslocación que se da durante los procesos de llenado del tubérculo, la aplicación foliar de estos elementos se convierte en una alternativa a tener en cuenta. Sin embargo, la decisión de cuáles elementos y en qué cantidad aplicarlos, bajo cualquier tipo de fertilización, debe estar basada no solo en las demandas del cultivo, sino en las demás variables previamente mencionadas, como la disponibilidad de nutrientes en el suelo.

Conclusiones

El análisis del suelo y otras herramientas de diagnóstico son necesarias para hacer planes de fertilización que se ajusten a las condiciones propias de cada lote y a los requerimientos de la variedad Perla Negra.

Los suelos dedicados a la producción de papa en Colombia presentan variaciones significativas en pH y en los contenidos de P, Mg, Ca, K y Al, por lo que se deben hacer manejos diferenciados de enmiendas y fuentes de fertilizante, para mejorar los rendimientos del cultivo. Los elementos que más extrae la variedad Perla Negra son, en su orden, $N > K > P > S > Mg > Ca > Fe > Zn > Mn > B$, con variaciones con respecto a otras variedades como Diacol Capiro o Pastusa Suprema.

Se deben combinar diferentes tipos de fertilización (química, orgánica y biológica) para hacer más eficiente la toma de nutrientes suministrados por el suelo y por fuentes externas como los fertilizantes.

Existen diferentes alternativas de aplicación de fertilizantes (edáfica, foliar o en *drench*), cuya adecuada combinación puede representar una reducción en la aplicación de nutrientes (rentabilidad y sostenibilidad) e incrementar el rendimiento.

Referencias

- Alfaro, M., & Ramírez, L. (2019). Análisis de suelo: muestreo, interpretación y recomendación. En Autores (Eds.), *Curso de capacitación para operadores y futuros operadores del Sistema de Incentivos para la Sustentabilidad Agroambiental (SIRSD-S) de la Región de Los Ríos*. Chile: INIA.
- Alvarado, Y., Leiva, M., Cruz, M., Mena, E., Acosta, M., Roque, B., ... Padrón, L. (2015). Efecto de *Bacillus* spp. sobre el crecimiento y rendimiento agrícola de plantas in vitro de papa cv. 'Romano' en casa de cultivo. *Biotecnología Vegetal*, 15(2), 115-122.

- Banerjee, H., Sarkar, S., Deb, P., Chakraborty, I., Sau, S., & Ray, K. (2017). Zinc fertilization in potato: A physiological and bio-chemical study. *International Journal of Plant & Soil Science*, 16(2), 1-13.
- Banerjee, H., Sarkar, S., Deb, P., Kumar, S., Ray, K., Rana, L., & Majumdar, K. (2016). Impact of zinc fertilization of potato (*Solanum tuberosum* L.) yield, zinc use efficiency, quality and economics in entisol of West Bengal. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 64(2), 176-182.
- Barben, S., Nichols, B., Hopkins, B., Jolley, V., Ellsworth, J., & Webb, B. (2007). Phosphorus and zinc interactions in potato. En *Memorias del Western Nutrient Management Conference*. Reno, Estados Unidos: International Plant Nutrition Institute (IPNI).
- Barrera, B. L. (1998). Fertilización del cultivo de la papa en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá. En R. Guerrero (Ed.), *Fertilización de cultivos de clima frío* (pp. 47-67). Bogotá, Colombia: Monómeros Colombo Venezolanos S.A.
- Benjumeda, D. (2017). *Bacterias promotoras del crecimiento vegetal: mecanismos y aplicaciones* (Trabajo de grado). Universidad de Sevilla, Sevilla, España.
- Bernal, J. (2008). *Pastos y forrajes tropicales. Manejos de praderas* (Tomo I). Bogotá, Colombia: Ángel Agro.
- Bernal, J., & Espinosa, J. (2003). *Manual de nutrición y fertilización de pastos. Quito, Ecuador: Instituto de la Potasa y el Fósforo* (Inpofos), International Plant Nutrition Institute (IPNI).
- Castro, H., & Gómez, M. (2010). Fertilidad de suelos y fertilizantes. En H. Burbano & F. Silva (Eds.), *Ciencia del suelo, principios básicos* (pp.77-137). Colombia: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
- Ciampitti, I., & García, F. (2008). *Requerimientos nutricionales absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios* (Archivo Agronómico N.º 11 y 12). Buenos Aires, Argentina: International Plant Nutrition Institute (IPNI).
- Consejo Nacional de la Papa. (2018). Características específicas de la producción de papa. *Revista Papa*, 43, 10-11.

- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). (2017) *Guía para toma de muestras de suelo*. Recuperado de: <https://www.yumpu.com/es/document/view/14673563/guia-para-la-toma-de-muestras-de-suelos-corpoica>.
- Covarrubias, J. M., Castillo, S., Vera, J., Núñez, R., Sánchez, P., Aveldaño, R., & Peña, J. (2005). Absorción y eficiencia de uso de fósforo en papa cultivar Alpha con 32P. *Agrociencia*, 39(2), 127-136.
- Ekelöf, J. (2007). *Potato yield and tuber set as affected by phosphorus fertilization* (Tesis de maestría). Swedish University of Agricultural Sciences, Suecia.
- Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (Embrapa). (2004). Características de correctivos agrícolas. *Documentos*, 37, 1-25.
- Epstein, E. (1999). Silicon. *Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 50, 641-664.
- Espinosa, J., & Molina, E. (1999). *Acidez y encalado de los suelos*. Costa Rica: International Plant Nutrition Institute (IPNI).
- Fernández, V., Sotiropoulos, T., & Brown, P. (2013). *Foliar fertilization: Scientific principles and practices*. París, Francia: International Fertilizer Industry Association (IFA).
- Finch, H., & Lane G. (2014). Fertilisers and manures. En S. Finch, Samuel, A. & Lane, G. (Eds.), *Lockhart & Wiseman's Crop Husbandry Including Grassland* (pp. 63-91). Reino Unido: Woodhead Publishing.
- García, B., & Viveros, M. (1993). Disponibilidad de elementos menores en suelos de clima frío de Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 12(1), 32-45.
- Gómez, M. I. (2012). Absorción, extracción y manejo nutricional del cultivo. *Revista Papa*, 26, 20-26.
- Gómez, M. I., Magnitskiy, S., & Rodríguez, L. E. (2017a). Acumulación y diagnóstico nutricional de NO_3^- y K^+ en savia de (*Solanum tuberosum L. subsp. andigena*). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(1), 133-142.
- Gómez, M. I., Magnitskiy, S., & Rodríguez, L. E. (2017b). *Uptake and partition of N, P and K in potato (Solanum tuberosum L. group. Andigena)* (Tesis doctoral). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

- Gómez, M. I., Magnitskiy, S., Rodríguez, L. E., & Darghan., A. (2017c). Accumulation of N, P, and K in the tubers of potato (*Solanum tuberosum* L. ssp. *andigena*) under contrasting soils of the Andean region of Colombia. *Agronomía Colombiana*, 35(1), 59-67.
- Grains Research and Development Corporation. (2011). Wheat, nutrition and fertiliser. Recuperado de https://grdc.com.au/__data/assets/pdf_file/0027/370674/GrowNote-Wheat-North-05-Nutrition.pdf.
- Guerrero, J., & Tello, 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.
- Guerrero, R. (2005). Caracterización de los suelos paperos en Colombia. En *Memorias del I taller nacional sobre suelos, fisiología y nutrición vegetal en el cultivo de papa: presente y futuro de la investigación en la cadena agroalimentaria de la papa en Colombia*. Bogotá, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Centro de Desarrollo Tecnológico de la Cadena Agroalimentaria de la papa (Cevipapa), Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Gumede, T. (2017). *Influence of calcium on yield and quality aspects of potatoes (Solanum tuberosum L.)* (Tesis de maestría). Stellenbosch University, Stellenbosch, Sudáfrica.
- Haytova, D. (2013). A review of foliar fertilization of some vegetables crops. *Annual Review & Research in Biology*, 3(4), 455-465.
- 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* (pp. 283-298). Londres, Reino Unido: Academic Press.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC] (2000). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Cundinamarca*. Bogotá, Colombia: Autor.
- International Plant Nutrition Institute [IPNI]. (2018, octubre 1). *Fuentes de nutrientes específicos*. Recuperado de [https://www.ipni.net/publication/nss-es.nsf/0/4E2EBCDC9EF89E6785257BBA0059C3B0/\\$FILE/NSS-ES-13.pdf](https://www.ipni.net/publication/nss-es.nsf/0/4E2EBCDC9EF89E6785257BBA0059C3B0/$FILE/NSS-ES-13.pdf)

- James, D., Hurst, R., Westerman, D., & Tindall, T. (1994). Nitrogen and potassium fertilization of potatoes evaluating nutrient element interactions in petioles with response surfaces. *American Potato Journal*, 71(4), 249-265.
- Jasim, A. (2013). Effect of foliar fertilizer on growth and yield of seven potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.). *Scientific Papers. Series B, Horticulture*, 57, 77-80.
- Jiménez, F. (2017). La importancia de la nutrición con magnesio y azufre en el cultivo de la papa. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*, 26, 30-34.
- Johnston, A. (Ed). (2001). *Potassium and chloride in crops and soils: the role of potassium chloride fertilizer in crop nutrition* (Research Topics, No. 22). Basel, Switzerland: International Potash Institute (IPNI).
- Kumar, A., Prakash, A., Johri, B. N. (2011). Bacillus as PGPR in crop ecosystem. En D. Maheshwari (Ed.), *Bacteria in agrobiología: Crop ecosystems* (pp. 37-59). Berlin, Heidelberg: Springer.
- López, A., Gómez, M. I., & Rodríguez, L. E. (2014). Effect of edaphic and foliar applications of different doses of zinc on the yield of the Criolla Colombia cultivar. *Agronomía Colombiana*, 32(1), 70-77.
- Malavolta, E. (1993). *Nutrição mineral e adubação do cafeeiro, colheitas econômica máximas*. São Paulo, Brasil: Editora Agronômica.
- Malavolta, E. (2006). *Relación entre el fósforo y el zinc*. Recuperado de [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/0A35E63E5C1CB3D3852580130056274B/\\$FILE/Art%202.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/0A35E63E5C1CB3D3852580130056274B/$FILE/Art%202.pdf).
- Matichenkov, V., & Bocharnikova, E. A. (2001). Chapter 13. The relationship between silicon and soil physical and chemical properties. En L. E. Datnoff, G. H. Snyder, & G. H. Korndörfer (Eds.), *Studies in Plant and Science* (Silicon in Agriculture, Vol. 8, pp. 209-219). Amsterdam: Elsevier Science B.V.
- Mitchell, C., Reich, P., Tilman, D., & Groth, J. (2003). Effects of elevated CO₂, Nitrogen deposition, and decreased species diversity on foliar fungal plant disease. *Global Change Biology*, 9(3), 438-451.
- Oosterhuis, D. (2009). *Foliar fertilization: mechanisms and magnitude of nutrient uptake*. Recuperado de <http://www.fluidfertilizer.com/Forum%20Presentations/2009/2009%20Forum%20Proceedings/Derrick%20Oosterhuis.pdf>.

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2008). *Año internacional de la papa. El cultivo*. Recuperado de: <http://www.fao.org/potato-2008/es/lapapa/cultivo.html>.
- Pandey, P., Irulappan, V., Bagavathiannan, M. V., & Senthil-Kumar, M. (2017). Impact of combined abiotic and biotic stresses on plant growth and avenues for crop improvement by exploiting physio-morphological traits. *Frontiers in Plant Science* 8, 1-15.
- Pérez, L., Rodríguez L., & Gómez, M. (2008). Efecto del fraccionamiento de la fertilización con N, P, K y Mg y la aplicación de los micronutrientes B, Mn y Zn en el rendimiento y calidad de papa criolla (*Solanum phureja*) variedad Criolla Colombia. *Agronomía Colombiana*, 26(3), 477-486.
- Prajapati, K., & Modi., H. (2012). The importance of Potassium in plant growth. A review. *Indian Journal of Plant Sciences*, 1(2-3), 77-186.
- Ríos, J., Jaramillo, S., González, L., & Cotes, J. (2010). Determinación del efecto de diferentes niveles de fertilización en papa (*Solanum tuberosum* spp. 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.
- Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor, experiencias en América Latina*. Santiago de Chile, Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- Sandaña, P. A. (2014). *Manejo del riego*. Recuperado de <http://manualinia.papachile.cl/?page=consumo&ctn=65>
- Sandeep, S., Deependra, K., Singh, C. B., & Vinay, S. (2014). Effect of balanced fertilization on yield, nutrients uptake and economics of potato (*Solanum tuberosum*) in alluvial soil. *Indian Journal of Agronomy*, 59(3), 451-454.
- Universidad Nacional de Colombia. (2017, octubre 1). *Facultad de Agronomía*. Recuperado de: <http://www.agronomia.unal.edu.co/html/public/files/Aguas-como-muestras.pdf>.
- Valverde, F., Córdova, J., & Parra, R. (1998). *Fertilización del cultivo de papa*. Quito, Ecuador: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (Iniap).

- Velázquez, M., Cabello, M. N., Elíadesa, L. A., Russoa, M. L., Allegruccia, N., & Schalamuk, S. (2017). Combinación de hongos movilizadores y solubilizadores de fósforo con rocas fosfóricas y materiales volcánicos para la promoción del crecimiento de plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.). *Revista Argentina de Microbiología*, 49(4), 347-355.
- Villa, M., Rodríguez, L. E., & Gómez, M. I. (2011). Effect of edaphic and foliar application of different doses of Manganese on yield of Criolla Colombia cultivar. *Agronomía Colombiana*, 29(3), 447-454.

Capítulo VIII

Manejo del agua para papa Perla Negra en el altiplano cundiboyacense¹

Introducción

La irrigación favorece la productividad de la papa. En especial, la variedad Perla Negra responde adecuadamente a la irrigación, pues mejora sustancialmente su producción, debido a que ayuda a la formación del tubérculo y el engrosamiento de este. En cuanto al contenido de humedad de agua en el suelo, el tubérculo se adapta más entre 40 y 60 centibares, medida en la que se obtienen los mejores rendimientos (Terán, Romero, & Sánchez, 2017).

A pesar de la gran ventaja que da el riego en la mejora de la productividad agropecuaria, según el tercer Censo Nacional Agropecuario, casi el 67 % de los agricultores del país no utiliza riego (El Espectador, 2017).

Desafortunadamente, en Colombia la cobertura de riego es apenas del 13,5 % sobre la superficie potencial de riego con vocación agropecuaria, lo cual ubica el país en promedios más bajos que Perú (18,6 %), Argentina (25,3 %), Ecuador (27,5 %) y Chile (76,0 %) (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2000).

En efecto, el rubro de la papa no es una excepción: según el censo experimental del municipio de Villapinzón, en 2011, de un total de 2.360 unidades productoras de papa solo 221, es decir el 9,4 %, disponían de agua para riego, y de esas solo 67, es decir, el 2,8 %, tenían equipos de riego (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2001).

¹ Este capítulo se basa en los resultados de la investigación realizada en el Centro de Investigación Tibaitatá (en proceso de publicación), de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), sobre estrés hídrico en papa variedad Perla Negra y Diacol Capiro.

El riego, sin embargo, genera grandes ventajas frente a los procesos productivos que no lo tienen, debido a que rompe la estacionalidad de la producción, que genera desequilibrio en los precios por ofertas de producto, concentrado en fechas críticas del año. De esta forma, se propone a los agricultores la posibilidad de la producción programada de la cosecha sin dependencia de las lluvias o de la estacionalidad de la producción.

La aplicación práctica que tiene el riego es la posibilidad de que se realice un uso eficiente del agua y del sistema de riego por parte del agricultor. Es decir, el agricultor puede realizar un diseño idóneo de los sistemas de riego orientados a la producción de papa industrial y de consumo en fresco, considerando los elementos de clima, suelo y cultivo. Además, podrá producir el tubérculo en forma programada, independiente de la precipitación o las condiciones sin irrigación, como la fecha de siembra. Ello se evidencia en el aumento de la productividad, la producción total y la mejora de calidad.

Asimismo, se observa un aumento sustancial en la producción con la aplicación del riego, lo que contribuye al incremento económico, debido a las ventajas que implica la inclusión del riego en el proceso productivo. Terán, Villaneda, Valenzuela, Sarmiento y Gómez (2006) determinaron un aumento en el rendimiento de Diacol Capiro de $46.502 \text{ kg/ha}^{-1}$ con riego, contra $18.930 \text{ kg/ha}^{-1}$, lo cual significa un aumento del 145 % en el rendimiento.

Requerimientos hídricos en papa Perla Negra

Para el adecuado uso y manejo del riego es necesario conocer los requerimientos hídricos del cultivo. En el caso de la papa es necesario verificar las necesidades hídricas o la huella hídrica intrínseca, esto se consigue con investigaciones orientadas a su determinación.

Existen múltiples métodos para la determinación de los requerimientos hídricos en cultivos, algunos de los cuales son sofisticados y costosos, como los múltiples métodos de lisímetros que contribuyen con la evaluación en forma muy precisa. Sin

embargo, en el país se han utilizado principalmente los métodos del gradiente de humedad (Hanks, Keller, Rasmussen, & Wilson, 1976) y el balance hídrico agrícola.

El método del gradiente también ha ayudado a determinar la ecuación para el cálculo de evapotranspiración de referencia, para la evaluación de este parámetro dentro de unas condiciones microclimáticas específicas en una región determinada. De esta forma se logra una aproximación más real a los comportamientos en consumos hídricos de las especies estudiadas, y se ayuda a definir los volúmenes de agua requeridos en la producción de cultivos, así como el momento de riego y el tiempo. Con esto se optimiza el volumen de agua requerido para la producción de los cultivos.

El objetivo al usar este método es determinar los requerimientos hídricos (uso consuntivo) de cultivos transitorios, como la papa, para buscar la mejor manera de usar el agua en la producción agrícola (Terán et al., 2017).

Específicamente, se puede determinar la curva de evapotranspiración real del cultivo estudiado y obtener los requerimientos hídricos durante el ciclo vegetativo de la especie estudiada, además de determinar la influencia de las variables climáticas en el desarrollo y la producción de las especies estudiadas. Igualmente, se puede realizar una aproximación a las ecuaciones de evapotranspiración de referencia con base en las variables climáticas presentes en el microclima durante el desarrollo de los experimentos, así como relacionar la producción obtenida con los niveles de aplicación de agua generados por medio del método del gradiente, para obtener una optimización de la función agua-producción (Terán et al., 2006).

Una vez calculada la evapotranspiración potencial o real, a través del ciclo del cultivo se puede determinar el coeficiente de evapotranspiración del cultivo K_c (A_{dim}), que indica el nivel de consumo hídrico que necesita el cultivo a lo largo del ciclo vegetativo. Se han realizado investigaciones para determinar los K_c del cultivo a lo largo del ciclo vegetativo de desarrollo. Para el caso de la papa Perla Negra, en la figura 27 se observa la curva de K_c aproximado para dicha variedad (Terán et al., 2019).

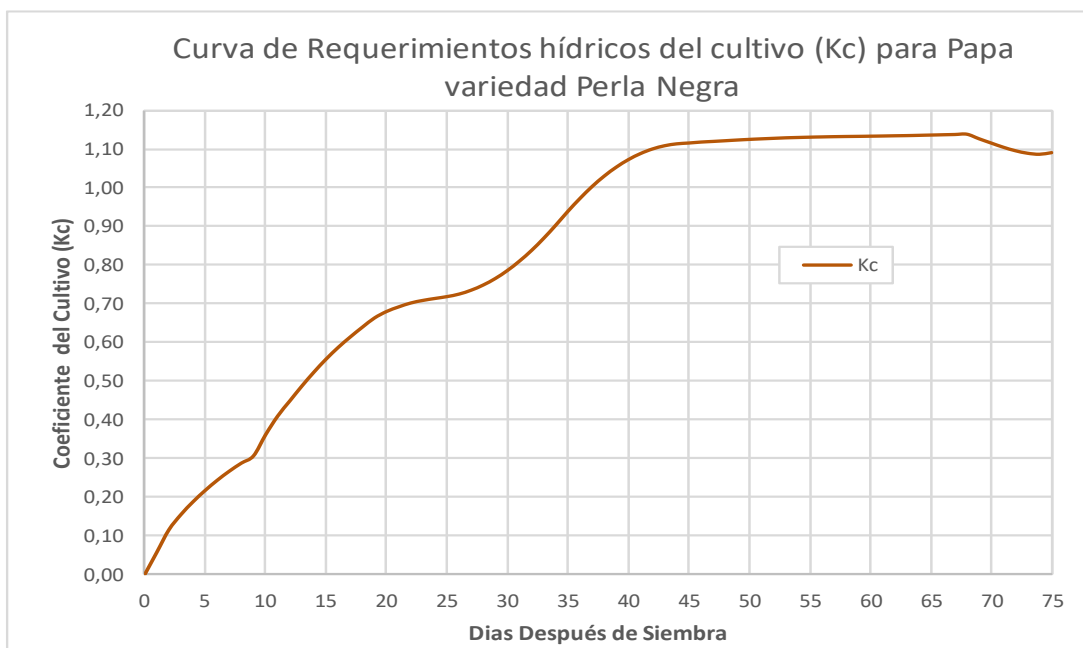


Figura 27. Curva de requerimientos hídricos (Kc, aprox.) para el cultivo de papa variedad Perla Negra.

Fuente: Terán, Romero y Sánchez (2019)

Los valores de Kc recomendados para el ciclo del cultivo se pueden dividir en tres etapas: la primera va desde la emergencia hasta los 35 dds, y para el nivel inicial tiene un Kc medio de 0,7; luego se presenta la etapa en la que el cultivo tiene un gran desarrollo del dosel, desde los 35 hasta los 68 dds, en esta etapa se requiere la mayor cantidad de agua y su Kc medio asciende hasta 1,14. En la tercera etapa, el nivel de Kc se mantiene hasta los 75 dds, y luego cae sustancialmente hasta un nivel de 0,4 de Kc; ya en el periodo en el que se inicia la senescencia es mínima la cantidad de agua requerida (Terán et al., 2019).

Debido a las dificultades para obtener mediciones de campo directas y precisas, los requerimientos hídricos de los cultivos se calculan a partir de la evapotranspiración de un cultivo estándar. Los requerimientos hídricos de un cultivo se derivan del coeficiente de cultivo (Kc) que integra el efecto combinado de la transpiración del cultivo y la evaporación del suelo en un solo coeficiente, de acuerdo con la ecuación 8.1.

Ecuación 8.1

$$ET_c = K_c \times ET_0$$

Donde:

ET_0 : Evapotranspiración de referencia

K_c : Coeficiente de cultivo

ET_c : Evapotranspiración del cultivo calculada para condiciones óptimas

Para hacer uso eficiente de la ecuación 8.1, es decir, para poder determinar la evapotranspiración real del cultivo, es necesario determinar la evapotranspiración de referencia (ET_0).

El estudio realizado por Jensen, Burman y Allen (1990), en el cual se comparan 20 métodos diferentes de cálculo de la evapotranspiración, demostró claramente la superioridad en la precisión de los procedimientos introducidos por Monteith (1965) en la ecuación de Penman. Este estudio demuestra claramente la gran variabilidad de muchos métodos bajo diferentes condiciones climáticas. Mediante la introducción de la resistencia aerodinámica y la resistencia global de la superficie en la ecuación combinada de Penman-Monteith, se obtuvo una mejor simulación de los efectos del viento y de sus turbulencias en el comportamiento estomático. Las dificultades iniciales que se tenían con el uso de este método, relacionadas con la estimación de la resistencia global de la superficie, fueron solucionadas gracias a avances en la investigación y a las estimaciones confiables que de estos dos parámetros se han podido hacer para un gran número de cultivos incluyendo los cultivos de referencia (Allen, Smith, Perrier, & Pereira, 1994).

Un estudio paralelo, encargado por la Unión Europea a un consorcio de institutos de investigación europeos, evaluó la precisión de varios métodos para el cálculo de la evapotranspiración usando datos de lisímetros en diferentes partes de Europa (Choinel, De Villele, & Lacroze, 1992).

Ambos estudios evidenciaron la superioridad del método de Penman-Monteith tanto en climas áridos como húmedos y demostraron la validez de los conceptos que hacen parte de este enfoque. Con base en los resultados, este método fue recomendado por el panel de expertos que la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) reunió, y fue adoptado como el método estándar para el cálculo de la evapotranspiración.

A continuación, se resumen otras de las conclusiones de los estudios comparativos:

- Los métodos de Penman requieren calibración local de la función del viento para obtener resultados satisfactorios.
- El método de Penman, modificado por Doorenbos y Pruitt (1977), sobreestima la evapotranspiración de referencia especialmente en climas húmedos.
- Los métodos de radiación muestran buenos resultados en climas húmedos, donde el término aerodinámico es relativamente pequeño, pero los resultados en climas áridos son demasiado variables y subestiman la evapotranspiración; los métodos de temperatura son muy empíricos y requieren calibración local a fin de obtener buenos resultados. Una posible excepción es el método de Hargreaves (Hargreaves & Samani, 1985), que muestra valores estimados de ET razonables bajo diferentes condiciones climáticas, sin embargo, en el trópico parece no ser muy adecuado.
- Los métodos que usan el tanque evaporímetro muestran claramente las limitaciones de predecir la evapotranspiración a partir de la evaporación de una lámina de agua. Estos métodos son susceptibles a las condiciones de microclima bajo las cuales los tanques operan y su funcionamiento es a menudo muy impreciso. Sin embargo, estos tanques tienen su valor práctico al actuar como indicadores de la evapotranspiración.

Es importante mencionar que el consumo hídrico es proporcional a la evapotranspiración de referencia en la medida del coeficiente del cultivo K_c , según la etapa de desarrollo del cultivo. Es decir que, en la medida en que los elementos que determinan este parámetro sean altos, habrá mayor nivel de consumo hídrico; los elementos que más influyen en que exista una

evapotranspiración de referencia alta son la radiación solar, las temperaturas y la velocidad del viento del lugar.

El coeficiente K_c , definido arriba como ET_c/ET_0 , es comúnmente denominado coeficiente único del cultivo, ya que integra en un solo valor la influencia de la evaporación del suelo y la transpiración de la planta. El coeficiente del cultivo, en lo que tiene que ver con la planta, representa las diferencias entre esta y el cultivo de referencia respecto a la absorción de la luz, la impedancia de su follaje, su fisiología, su estado de desarrollo y el nivel de humedad de su superficie. Como se mencionó anteriormente, este método es suficientemente bueno para un gran número de aplicaciones prácticas.

La adopción del método de Penman-Monteith, en teoría, permite la posibilidad de calcular la ET_c directamente de los datos climáticos y la integración de la resistencia aerodinámica, la resistencia del cultivo (r_a y r_s) y el albedo. Sin embargo, todavía falta mucha información por cultivo y, por lo tanto, el cálculo en dos etapas, es decir calculando primero la ET_0 y luego multiplicándola por el coeficiente de cultivo K_c se mantiene aún vigente (Corpoica, 2003). Es así como la ecuación de Penman-Monteith se usa para calcular la ET del cultivo de referencia hipotético con parámetros fijos, al cual se hizo ya referencia.

Allen, Pereira, Raes y Smith (1989) introdujeron también el concepto del doble coeficiente, que permite estimar en forma más precisa la evapotranspiración diaria del cultivo. El coeficiente del cultivo se divide en dos factores que describen separadamente la evaporación desde la superficie del suelo y la transpiración desde el cultivo.

La metodología del doble coeficiente es un poco más complicada y requiere un mayor número de cálculos. El procedimiento prevé una escala de tiempo diaria para el cálculo de ET_c , por lo que fue diseñado para ser utilizado con la ayuda del computador. Esta metodología es recomendada para situaciones en las que se necesita una mayor precisión en el cálculo de K_c , como por ejemplo para el cálculo de la programación diaria del riego de una parcela.

El procedimiento de cálculo para la evapotranspiración del cultivo utilizando la metodología del doble coeficiente de cultivo consiste en:

- Identificar la duración de las etapas de desarrollo del cultivo y seleccionar el correspondiente coeficiente de base K_{cb} .
- Ajustar los coeficientes de base K_{cb} seleccionados, de acuerdo con las condiciones climáticas durante el periodo del cultivo.
- Construir la curva del coeficiente de base (lo que permite la determinación de los valores de K_{cb} para cualquier momento, durante el periodo del ciclo del cultivo).
- Determinar el valor diario del coeficiente de evaporación del suelo, K_e .
- Calcular ET_c como el producto de ET_0 y $(K_{cb}+K_e)$.

Estrés hídrico de la variedad de papa Perla Negra

En experimentos realizados con lisímetros de pesaje, con niveles de estrés controlados para la variedad Perla Negra, se determinó que la influencia del estrés hídrico no generó disminuciones significativas en la producción en los tratamientos más restrictivos de humedad con valores siempre cercanos a los 400 g/planta de peso fresco. Esto indica una posible resistencia al estrés hídrico por parte de la variedad Perla Negra (Terán et al., 2019).

Se observó que, en general, para todos los tratamientos de estrés hídrico se obtuvo mayor número de tubérculos en Perla Negra que en Diacol Capiro. Esto también indicaría que la variedad Perla Negra responde positivamente frente a los efectos de restricción hídrica (Terán et al., 2019).

La translocación de materia seca, a partir del agua, mostró que en general la variedad Diacol Capiro es más eficiente en condiciones de no estrés hídrico, con hasta 230 g/planta, mientras que para Perla Negra se obtuvieron 120 g/planta en las mismas condiciones. La reducción de materia seca frente a los tratamientos de estrés hídrico alcanzó niveles de reducción de hasta 100 g/planta para Diacol Capiro, y para Perla Negra de 78 g/planta (Terán et al., 2019).

Sin embargo, a pesar de que los niveles de producción de biomasa representada en materia seca fueron en todos los casos inferiores en la variedad Perla Negra, no hubo diferencias significativas frente a los tratamientos de estrés comparados con el control en esta variedad. Mientras que para el caso de Diacol Capiro, la producción de materia seca se vio significativamente diezmada frente a los tratamientos de estrés hídrico. Esto indicaría que la variedad Perla Negra no es susceptible a las restricciones de humedad en el suelo y tiene una aparente resistencia al estrés hídrico.

Sistemas de riego recomendados para el cultivo de papa

Existen varios sistemas de riego que pueden usarse con éxito para los cultivos de papa, entre los más utilizados está el riego por surcos alternos o por surcos simples, sin embargo el riego a presión cada vez adquiere mayor uso debido a que mejora sustancialmente la eficiencia de aplicación, en especial el riego por aspersión, aunque existe una tendencia reciente al uso de otros sistemas a presión como la microaspersión, por su facilidad en el manejo. A pesar de la alta inversión que requiere el riego por pivote central, se visualiza como una alternativa muy promisoría para la producción de papa a nivel industrial.

El sistema de riego por aspersión es uno de los más utilizados actualmente en el cultivo de papa, es un sistema artificial de aplicación de agua a presión con el fin de suministrar los requerimientos hídricos del cultivo para mantener un desarrollo adecuado y potencializar la producción del cultivo.

Ventajas del riego por aspersión

Son varias las ventajas del uso de riego por aspersión (Tarjuelo, 1995; Hurd, 1974; Vergel et al., 2003; Terán, 2006; Castañón, 2000; Doneen & Westcot, 1988; Fuentes, 1996; Caicedo, 1996; Terán, Villaneda, Rojas, Argüello, & Almansa, 1996), las cuales se describen a continuación:

- Se puede utilizar en gran variedad de suelos, incluso en aquellos muy permeables que exigen bajas láminas y aplicaciones frecuentes.
- Se utiliza poca mano de obra para su operación.
- Tiene una alta eficiencia de aplicación de agua (entre el 70 y 85 %).

- La homogeneidad de aplicación es bastante alta en todo el lote, generalmente por encima del 80 %.
- Se adapta bien a la rotación de cultivos.
- Se puede utilizar bien en topografías onduladas y quebradas, partiendo de un buen diseño.
- Aumenta los rendimientos, debido a que no le falta el recurso hídrico al cultivo.
- Se puede suministrar agua en periodos de sequía.
- Evita la estacionalidad de la producción.
- Se puede programar la siembra y la cosecha.
- Incrementa la rentabilidad del cultivo, debido a que se logran mejores producciones por hectárea.
- Se puede hacer control de heladas, pues equilibra las temperaturas bajas por el calor latente de evaporación del agua que genera.
- Ayuda a la actividad microbiana y, en general, biológica del suelo, lo cual contribuye a la incorporación e incremento de la materia orgánica.
- Mejora la aplicación de fertilizante, pues ayuda a su incorporación al sistema.
- Es posible considerar procesos de fertirrigación.
- Facilita el balance de sales y su lixiviación evitando su acumulación.
- Genera un buen balance financiero con una buena relación costo/beneficio.
- Incrementa la calidad y engrosamiento del cultivo.

Desventajas del riego por aspersión

Varios autores han descrito las desventajas de este sistema de riego (Hurd, 1974; Vergel et al., 2003; Castañón, 2000; Doneen & Westcot, 1988; Fuentes, 1996; Caicedo, 1996; Tarjuelo, 1995; Terán, 2006; Terán et al., 1966). Entre las desventajas se encuentran las siguientes:

- Requiere de un buen diseño del sistema de riego.
- Demanda, relativamente, una alta inversión inicial.
- Necesita un sistema a presión para su operación, por lo cual es necesario el uso de energía electromotriz (bombeo).
- Es probable que su utilización genere un efecto positivo en la presencia de enfermedades (hongos).
- Puede ser afectado por la presencia de viento, en sitios donde estos son altos o hay gran incidencia de ventarrones.

- Requiere de personal, más o menos calificado para su operación y manejo.
- Necesita mantenimiento.

Elementos para el diseño de un sistema de riego por aspersión para papa

Para hacer un buen sistema de riego por aspersión para papa, es necesario considerar varios aspectos de la finca y del cultivo que se va a regar, debido a que un sistema de riego debe ser diseñado para las condiciones de la finca. Se deben tener en cuenta factores como el tipo de suelo, el clima presente y las condiciones de disponibilidad hídrica en la finca.

Al momento de diseñar el sistema de riego se deben considerar los siguientes aspectos, para realizar los cálculos adecuados para el sistema de riego apropiado (Tarjuelo, 1995; Hurd, 1974; Vergel et al., 2003; Terán, 2006; Castañón, 2000; Doneen & Westcot, 1988; Fuentes, 1996; Caicedo, 1996; Terán et al., 1996):

- Es necesario determinar la jornada de trabajo de la finca o de los operarios que controlarán el sistema de riego.
- El tipo de energía electromotriz con que se cuenta.
- Si el sistema será automatizado, cuánto tiempo es la disponibilidad de energía que se tiene.
- Cuál es la profundidad radical del cultivo que se va a regar, para el cultivo de papa se puede considerar una profundidad máxima de 50 cm.
- Determinar el tipo de suelo de la finca, especialmente del lote en el cual se ubicará el sistema de riego. Ello se basa en la determinación de las siguientes características del suelo:
 - Textura.
 - Capacidad de retención de agua del suelo, especialmente la capacidad de campo, el punto de marchitez permanente y el porcentaje de saturación del suelo.
 - La infiltración básica del suelo, con el fin de determinar la tasa máxima de aplicación de agua de los aspersores y poder seleccionarlos de acuerdo con su separación o el arreglo matricial de diseño.
 - La densidad aparente y real del suelo.

- Además, es necesario conocer el régimen de precipitación, y la intensidad de las lluvias que se presentan en la finca.
- Se recomienda saber el nivel de evaporación de la región.
- También es aconsejable conocer los niveles de radiación solar o brillo solar, las temperaturas medias, máximas y mínimas, la humedad relativa y la velocidad del viento, máximas que se presentan en la finca.
- Se debe contar con un plano detallado de la finca, tanto de planimetría como de altimetría, para establecer las distancias de tuberías y las altitudes que hay que vencer para que llegue el agua a buena presión en los lugares más apartados de la finca o el lote a regar.

Cabezal de bombeo

El cabezal de bombeo está compuesto por la bomba y el motor que la impulsa, el sistema de filtrado y el conjunto de válvulas y elementos de control del riego; además, algunas veces es necesario tener un desarenador, cuando el agua de riego proviene de un río que trae altos contenidos de gravas o arenas, pues no es conveniente que estas ingresen al sistema de riego.

La bomba debe estar diseñada adecuadamente para impulsar el volumen de agua requerido por el sistema en un momento determinado, e impulsar los aspersores para que se muevan y distribuyan el agua en forma homogénea en el campo del cultivo. Para ello es necesario hacer cálculos adecuados y exactos que permitan, bajo criterios certeros, determinar la potencia del motor y las características de la bomba utilizada.

La bomba puede ser movida por energía motriz, ya sea eléctrica, a gasolina o diésel, dependiendo de la disponibilidad de estos recursos en la finca, además debe tener unas condiciones de operación de caudal y cabeza de presión adecuadas, para cumplir las condiciones tanto del sistema de riego como de la finca.

El cabezal de bombeo tiene que contar también con un sistema de filtrado, el cual consta de uno o varios filtros que pueden ser de varios tipos o características según el caso: existen filtros de mallas, de anillos, de arenas o de discos, además hidrociclones que permiten el filtrado de partículas grandes. Algunas veces es

necesario establecer varios tipos de filtros, entre los cuales se pueden combinar filtros de hidrociclón con filtros de arenas y discos. Los filtros vienen clasificados por el rango de partículas que son capaces de filtrar o retener, o dejar pasar. Para sistemas de aspersión no es necesario establecer filtros muy finos.

En el cabezal de bombeo también se establecen elementos de control, por ejemplo, los manómetros, con el objeto de verificar las caídas de presión en las tuberías y especialmente en los filtros, ya que la caída de presión puede indicar en qué momento es aconsejable el lavado o retrolavado de los filtros.

Red de distribución

La red de distribución de agua está compuesta por el conjunto de tuberías que llevan el agua hasta los aspersores que son los que aplican el agua al cultivo. Esta red de tuberías está compuesta por los siguientes tipos de tuberías.

- *Tubería principal.* Lleva el agua desde el cabezal de bombeo hasta la cabecera de los lotes de riego; generalmente son de diámetro grande, dependiendo de las dimensiones y las extensiones de los lotes a regar.
- *Tubería secundaria.* Se une con la tubería principal y lleva el agua hasta las secciones de los lotes en los que se consideran los módulos de riego.
- *Tuberías múltiples.* Son las tuberías en las que vienen unidas las mangueras o tuberías laterales.
- *Tuberías laterales.* Son las tuberías o mangueras que tienen adosados cada cierto tramo un surtidor o aspersor.
- *Elevadores.* Son cortos y están ubicados verticalmente, sobre estos se establecen los aspersores; su altura dependerá del porte del cultivo, a mayor altura del cultivo, mayor serán los elevadores.

En la red de distribución se encuentran establecidos estratégicamente los controles, para la apertura o cierre del flujo de agua, y también algunas válvulas de tipo 'cheque' que impiden el regreso del agua una vez se ha cerrado el cabezal de bombeo o se ha suspendido el bombeo, esto es para evitar el golpe de ariete. Además, se establecen válvulas tipo ventosa, las cuales ayudan a evacuar el aire sobrante dentro de las tuberías, y son útiles para evitar que se aplasten las tuberías por la succión negativa o también para evitar el golpe de ariete.

Aspersores o surtidores

Los aspersores son los elementos fundamentales de los sistemas de riego por aspersión, ellos deben ser diseñados y seleccionados adecuadamente, de acuerdo al caudal que deben aplicar y de acuerdo a la lámina de riego requerida. Los aspersores pueden ser de varios tipos y tamaños, vienen con una o dos boquillas cuyo diámetro de suministro está previamente aforado para que aplique el agua que debe suministrar, de acuerdo a la presión de operación, dichas boquillas vienen por colores según su tamaño o traen grabado el diámetro de trabajo.

El aspersor debe seleccionarse de acuerdo con el tipo de suelo, pues su tasa de aplicación de agua no debe sobrepasar la velocidad de infiltración básica de agua en el suelo. El patrón de arreglo de los aspersores puede establecerse en tresbolillo, en cuadro o en forma rectangular. Este patrón se establece de modo que la caída de la lámina, a medida que se aleja del aspersor, sea compensada por el aspersor vecino. Además, para su traslape es necesario considerar la velocidad del viento; la tabla 10 muestra los traslapes recomendados, de acuerdo con el viento predominante.

Tabla 10. Distancia entre aspersores recomendada, de acuerdo con la velocidad del viento presente

| Velocidad del viento predominante | Distancia entre aspersores |
|-----------------------------------|----------------------------|
| Sin viento | 65 % del diámetro húmedo |
| 2 m/s | 60 % del diámetro húmedo |
| 3,5 m/s | 50 % del diámetro húmedo |
| > 3,5 m/s | 30 % del diámetro húmedo |

Fuente: Inat y Jica (1996)

Para los cultivos de papa se utilizan aspersores de porte mediano, aunque su tamaño depende de las dimensiones del sector de riego.

Determinación de la lámina de riego en cultivos de papa

Para la determinación de la lámina de riego a aplicar al cultivo es necesario contar con la información de la precipitación, ojalá ocurrida en la finca, para ello es

necesaria la instalación de un pluviómetro en el lote en el cual se encuentra el sistema de riego, de ser posible la utilización de un tanque evaporímetro tipo A, para establecer la evaporación. En caso de no contar con estos elementos se recomienda acceder a la información de registros de precipitación y evaporación o evapotranspiración de la estación climática más cercana (Terán, 2006, 2015, 2017; Terán et al., 2006; Vergel et al., 2003).

Determinación de la cantidad de agua a aplicar

Como se presentó en la sección del balance hídrico, los requerimientos de agua o uso consuntivo se calculan a partir del cálculo de la evapotranspiración real del cultivo.

Como la unidad de medida es el milímetro, es necesario aclarar que un milímetro es equivalente a un litro por metro cuadrado ($1\text{mm} = 1/\text{m}^2$). Se observó en la figura 27 que el K_c máximo es de 1,14 para Perla Negra, con un K_c inicial de 0,7 y un K_c final de 0,4 (no observado en la figura 27). A partir de la ecuación 8.1, se asume la evaluación de la lámina neta que se debe aplicar al cultivo para cumplir con sus requerimientos hídricos (Terán et al., 2017).

Lámina bruta de riego (Lb)

Además de las necesidades netas del cultivo, es necesario incluir en la aplicación del riego el agua que se estima que se desperdiciará por pérdidas, las cuales se presentan ya sea por escorrentía superficial, evaporación directa, arrastre del viento, percolación profunda, pérdidas en el transporte o en la eficiencia de aplicación por el sistema de riego, etc. Estas pérdidas se consideran en la ponderación estimada, a partir del cálculo de la lámina neta considerando la eficiencia de aplicación (E_f) (ecuación 8.2) (Tarjuelo, 1995; Hurd, 1974; Vergel et al., 2003; Terán, 2006; Castañón, 2000; Doneen & Westcot, 1988; Fuentes, 1996; Caicedo, 1996; Terán et al., 1996).

Ecuación 8.2

$$L_b = L_n / E_f \text{ (mm)}$$

Donde:

L_b: Lámina bruta (mm)

L_n: Lámina neta (mm)

E_f: Eficiencia del sistema. Se puede estimar a partir de tablas o ensayos experimentales.

En general, se asume que el sistema de riego por aspersión alcanza un nivel de eficiencia de entre el 70 y el 85 %, sin embargo es conveniente realizar la evaluación en la finca con el fin de hacer los ajustes necesarios, en caso de que el sistema arroje valores menores de eficiencia.

Frecuencia de riego

Una vez determinada la cantidad de riego a aplicar en cada evento de riego, es necesario evaluar cada cuanto hay que aplicar los riegos, para ello se calcula la frecuencia de riego (ecuación 8.3), la cual, para el caso de sistemas por aspersión, se estima que sea evaluada en días, y es determinada por el tiempo en el cual consume el agua que queda remanente después del último riego, a través del proceso de evapotranspiración del cultivo de papa y las condiciones climáticas de la finca.

Ecuación 8.3

$$F_r = L_n / ET_c \text{ (días)}$$

Donde:

F_r: Frecuencia de riego (días)

L_n: Lámina neta (mm)

ET_c: Evapotranspiración real del cultivo (mm)

Tiempo de riego

Para saber el tiempo de riego es necesario tener en cuenta la lámina neta que hay que aplicar, la cual se relaciona con la cantidad de agua que puede aplicar el aspersor seleccionado, por ello es necesario calcular la precipitación horaria del aspersor (ecuación 8.4) (Tarjuelo, 1995; Hurd, 1974).

Ecuación 8.4

$$Pha = Q(lph)/[Sa(m)*Sl(m)] \text{ (mm/hr)}$$

Donde:

Pha: Precipitación horaria del aspersor o intensidad del aspersor (mm/h)

Q: Caudal del aspersor a la presión de operación seleccionada (m³/h)

Sa: Espaciamiento entre aspersores (m)

Sl: Espaciamiento entre laterales (m)

Como se había establecido previamente, es verificable que la precipitación del aspersor debe ser menor a la velocidad de infiltración del suelo (ecuación 8.5) (Tarjuelo, 1995; Hurd, 1974; Vergel et al., 2003; Terán, 2006; Castañón, 2000; Doneen & Westcot, 1988; Fuentes, 1996; Caicedo, 1996; Terán et al., 1996).

Ecuación 8.5

$$Pha \leq Ibs$$

Con base en este cálculo se puede establecer el tiempo de riego, con la aplicación de la ecuación 8.6.

Ecuación 8.6

$$Tr = Lb(mm)/Pha(mm/hr) \text{ (hr/día)}$$

Donde:

Tr: Tiempo de riego por posición (hr/día)

Lb: Lámina bruta (mm)

Pha: Precipitación horaria del aspersor o intensidad del aspersor (mm/hr)

Referencias

- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (1989). *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements* (Irrigation and drainage, Paper n.º 56). Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- Allen, R., Smith, M., Perrier, A., & Pereira, L. (1994). An update for the definition of reference evapotranspiration. *ICID Bulletin*, 43(2), 1-34.
- Caicedo, A. (1996). Riego por aspersión. En Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Diseño de sistemas para pequeña irrigación* (pp. 67-78). Bogotá, Colombia: Instituto Nacional de adecuación de tierras (INAT), Corpoica.
- Castañón, G. (2000). *Ingeniería del riego, utilización racional del agua*. Madrid, España: Paraninfo.
- Choinel, E., De Villele, O., & Lacroze, F. (1992). *Une approche uniformisée du calcul de l'évapotranspiration potentielle pour l'ensemble des pays de la Communauté Européenne*. Luxembourg: Comisión des Communautés Européennes.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). (2003). *Conferencia internacional sobre agroclimatología tropical*. Bogotá, Colombia: Corpoica, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), U. Leuven (Bélgica), Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé), Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña), Universidad Nacional de Colombia.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE] (2001). *Censo experimental municipio de Villapinzón (Cundinamarca). Censo Nacional de la papa* (Separata de resultados). Villapinzón, Cundinamarca: Colombia: DANE.
- Doneen, L. D., & Westcot, D. W. (1988). *Irrigation practice and water management*. (Irrigation and drainage, Paper n.º 1). Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

- Doorenbos, J. & Pruitt W. O. (1977). *Las necesidades de agua de los cultivos* (Irrigation and drainage, Paper No. 24). Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- Fuentes, J. L. (1996). *Técnicas de riego*. Madrid, España: Ministerio de agricultura, pesca y alimentación, Mundiprensa.
- Hanks, R. J., Keller, J., Rasmussen, V. P., & Wilson, G. D. (1976). Line source sprinkler for continuous variable irrigation crops production. *Studies 1. Soil Science Society of America Journal*, 40(3), 425-429.
- Hargreaves, G. & Samani, Z. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 1(2), 96-99.
- Hurd, C. J. (1974). *Guía para el riego por aspersión*. Ciudad de México, México: Editorial Hispanoamérica.
- Instituto Nacional de Adecuación de Tierras (Inat) y Cooperación Técnica por el Gobierno Japonés (Jica). (1996). *Manejo integral de cultivos en suelos bajo riego*. Bogotá, Colombia: Autores.
- Jensen, M. E., Burman, R. D., & Allen, R. G. (1990). *Evapotranspiration and irrigation water requirements* (Manuals and Reports on Engineering Practice N.º. 70.). Nueva York, EE. UU.: American Society of Civil Engineers (ASCE).
- Medina, M. A. (2017). *El plan para la adecuación de tierras en Colombia*. Recuperado de <https://www.elspectador.com/economia/el-plan-para-la-adequacion-de-tierras-en-colombia-articulo-726010>.
- Monteith, J. L. (1965). Evaporation and the environment. In G. E. Fogg (Ed.), *The state and movement of water in living organisms* (Symposium N. 19). Cambridge: Cambridge University Press.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2000). *Irrigation in Latin America and the Caribbean in figures*. Roma, Italia: FAO.
- Tarjuelo, J. M. (Coord.). (1995). *El riego por aspersión y su tecnología*. Madrid, España: Mundiprensa.
- Terán, C. (2006). El riego en el cultivo de la cebolla de rama. En *Avances de resultados de investigación en cebolla de rama en Aquitania, Boyacá*. Bogotá, Colombia: Corporación Colombiana de investigación agropecuaria (Corpoica), Corporación autónoma regional de Boyacá (Corpoboyacá).

- Terán, C. (2015). Determinación de la huella hídrica y modelación de la producción de biomasa de cultivos forrajeros a partir del agua en la Sabana de Bogotá (Colombia) (Tesis de doctorado). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.
- Terán, C., Romero, A., & Sánchez, D. (2019). *Respuesta de la variedad de papa perla negra al estrés hídrico con la metodología de AquaCrop*. Bogotá, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Centro de Investigación Tibaitatá.
- Terán, C., Villaneda, E., Rojas, H., Argüello, O., Almansa, E. (1996). *Aspectos básicos del riego*. Ibagué, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) e Instituto nacional de adecuación de tierras (INAT).
- Terán, C., Villaneda, E., Valenzuela, E., Sarmiento, L., & Gómez, C. (2006). *Determinación de requerimientos hídricos para la producción de dos variedades de papa industrial en la Sabana de occidente de Bogotá*. Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Subdirección de Investigación Estrategia, Programa Nacional de Recursos Biofísicos. Centro de Investigación Tibaitatá.
- Vergel, L., Terán C., Gómez, C., Valenzuela, M., Rengifo, G., & Conde, P. (2003). *Manejo del riego en cebolla ocañera* (Manual Técnico). Santander, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Asociación de cultivadores de cebolla de Abrego (ACCA), Programa nacional de transferencia de tecnología agropecuaria (Pronatta).

Capítulo IX

Resistencia genética de la variedad Perla Negra a *Phytophthora infestans*

La variedad Perla Negra es un clon que presenta una resistencia parcial a la gota o tizón tardío de la papa (*Phytophthora infestans*). Esto se evidencia en una menor severidad de la enfermedad y un menor requerimiento de aplicaciones de fungicidas para el manejo de esta, en comparación con variedades comerciales susceptibles. Las características del patógeno, sus síntomas y signos y algunos resultados de investigación que demuestran la resistencia de este genotipo frente al ataque del tizón tardío evaluada en diversos ambientes, son los temas que se tratan en este capítulo, además de las recomendaciones técnicas para el manejo de la enfermedad en campo.

Características del patógeno

El nombre de *Phytophthora infestans* se deriva de las palabras griegas *Phyto* ('planta') y *Phthora* ('destructor'). El patógeno, pertenece al reino Chromista, división Oomycota, clase Oomycete y orden Pythiales. Está relacionado filogenéticamente con las diatomeas y algas pardas (Rossman & Palm, 2006).

La gota, también llamada tizón tardío, es causada por el oomycete *P. infestans* (Mont) de Bary, la cual es la enfermedad más limitante del cultivo de la papa en Colombia y el mundo; afecta hojas, tallos aéreos y tubérculos (Fry et al., 2015; Cárdenas, Danies, Tabima, Bernal, & Restrepo 2012), y alcanza pérdidas de hasta el 100% en el rendimiento del cultivo en Colombia (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2011). En el mundo se han reportado pérdidas estimadas en 6.000 millones de dólares anuales, y en la producción global de papa entre el 10 y 30% (Park, Vleeshouwers, Jacobsen, Van Der Vossen, & Visser, 2009; Filippov et al., 2015; Fry et al., 2015). El tizón tardío es también una enfermedad reemergente; se han presentado epidemias recientes causadas por cepas nuevas

y, a menudo, más agresivas, que son insensibles a moléculas químicas como el mefenoxam, principio activo de muchos fungicidas sistémicos (Fry et al., 2015).

La forma asexual de *P. infestans* es la más predominante y es esencialmente la de un parásito natural obligado, por lo que sus estructuras de reproducción, llamadas esporangios, requieren un hospedero vivo para su supervivencia y dispersión (Forbes, Pérez, & Andrade, 2014). Los esporangios son el principal inóculo de diseminación a través del viento y la lluvia. Bajo condiciones de alta humedad (> 90 %) y temperatura adecuada (15 °C) los esporangios germinan y se desarrolla el micelio (Nowicki, Foolad, Nowakowska, & Kozic, 2012), aunque a bajas temperaturas el esporangio crece directamente para formar zoosporas, las cuales germinan y causan nuevas infecciones en poco tiempo (Walker & Van West, 2007).

La gota es una enfermedad policíclica, es decir que coexisten varios ciclos de infección en el mismo cultivo, por lo que el avance de la enfermedad se incrementa proporcionalmente a la cantidad de inóculo inicial y el nuevo inóculo producido durante el ciclo de cultivo (Fry, 2008). La cantidad de inóculo producido depende del hospedante, el patógeno, el medio ambiente y las condiciones de manejo (Forbes et al., 2014). Su agresividad, adaptación con el hospedero y su alta mutación hace a *P. infestans* el patógeno más importante dentro del grupo de los oomycetes (Kamoun et al., 2015).

Síntomas y signos

En hojas se presentan pequeñas manchas irregulares de color verde claro a oscuro, de apariencia húmeda y aceitosa, que se convierten en lesiones pardas a negras, especialmente en los bordes y ápices de las hojas. Las lesiones suelen estar rodeadas de un halo clorótico amarillento que separa el tejido enfermo del sano (Pérez & Forbes, 2008; Schumann & D'Arcy, 2000). Con el crecimiento de la lesión, y si existen condiciones de alta humedad relativa, regularmente se observa por el envés de la hoja un crecimiento algodonoso de color gris, que corresponde a los esporangióforos y esporangios del patógeno en fase de esporulación, mientras si no hay una alta humedad relativa en el ambiente la lesión se seca. Al poco tiempo, el foliolo atacado y los demás foliolos son

infectados y mueren (Acuña & Araya, 2017). El patógeno puede llegar a afectar directamente a los tallos, al causar su estrechamiento e incluso el quiebre, ello genera que las hojas que están por encima del punto de infección se marchiten, lo cual conlleva a un daño económicamente significativo cuando se quiebran y destruyen las hojas (Pérez & Forbes, 2008). El patógeno puede incluso infectar a los tubérculos, los cuales muestran áreas irregulares, de coloración marrón rojiza a negruzca, ligeramente hundida y que se extienden profundamente en el tejido interno de los mismos (Forbes et al., 2014), aunque en Colombia esto no es común debido posiblemente a la supresividad del suelo, generada probablemente por el alto contenido de aluminio y el bajo pH en suelos del trópico (Oyarzun, Taipe, & Forbes, 2001).

Resistencia genética de Perla Negra a *Phytophthora infestans*

La resistencia genética se puede explicar como la interacción entre el huésped y el patógeno, donde el huésped impide el desarrollo normal del patógeno en él, mediante diferentes métodos de reacción (Agrios, 2004). Se han estudiado principalmente dos tipos de resistencia, la de tipo vertical llamada también reacción de hipersensibilidad, la cual es específica, monogénica, controlada por genes simples o mayores, de alta expresividad y de expresión dominante, con alta probabilidad de ser quebrado por el patógeno; y por otro lado, la resistencia de tipo horizontal, de campo, general o poligénica, la cual es controlada por genes menores y aditivos, es de baja expresividad, con una mayor estabilidad en el tiempo (Orozco, Ramírez, & Cotes, 2013; Yogendra et al., 2014).

Perla Negra es un material que genéticamente presenta una resistencia parcial a la gota de la papa. Dicha resistencia se evidencia en una menor severidad de la enfermedad en campo, un alto rendimiento y un menor requerimiento de aplicaciones de fungicidas para el manejo de la enfermedad, con respecto a variedades comerciales susceptibles sembradas en el altiplano cundiboyacense. Además, requiere de un manejo del tizón tardío diferente al de una variedad susceptible.

Perla negra tiene una resistencia genética tanto vertical como horizontal a la gota, desarrollada por la población A del CIP, una población mejorada con resistencia al tizón tardío, alto rendimiento y buena calidad para consumo en fresco o para uso industrial como hojuelas o bastones (Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA], Centro Internacional de la Papa [CIP], & Red de innovación en mejoramiento y disseminación de la papa [Red Latinpapa], 2012).

Evaluación de Perla Negra al ataque de gota en campo

Se realizaron diferentes evaluaciones de la severidad de gota en campo, tanto en la variedad Perla Negra como en la variedad Diacol Capiro, esta última es altamente susceptible al ataque del patógeno, pero una de las más cultivadas históricamente en el país. Se evaluaron las dos variedades bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, en un área de 40 m² por unidad experimental, mediante la escala propuesta por Henfling (1978), citada por Forbes et al. (2014), y luego se calculó el área relativa bajo la curva de progreso de la enfermedad (RAUDPC). Las variedades se evaluaron en localidades de Cundinamarca como Lenguazaque, Villapinzón, Zipaquirá; y en los municipios Ventaquemada y Turmequé, de Boyacá. La variedad Perla Negra presentó un RAUDPC entre 0 y 0,104, mientras la variedad Diacol Capiro, entre 0,042 y 0,669, en la localidad con menor y mayor afectación por la gota respectivamente (tabla 11).

Al respecto, se obtuvieron diferencias significativas ($p \leq 0,01$) entre las dos variedades en las localidades de Turmequé y Ventaquemada, caracterizados por tener ambientes favorables para el desarrollo de *P. infestans*. En Lenguazaque, Zipaquirá y Villapinzón las condiciones ambientales no favorecieron al patógeno, por lo que la severidad en las dos variedades fue muy baja y sin diferencias estadísticas. En general, según estas evaluaciones, la severidad de Perla Negra fue diez veces menor que la de Diacol Capiro.

Tabla 11. Valores de severidad de gota (RAUDPC) en las variedades Perla Negra y Diacol Capiro en seis localidades del altiplano cundiboyacense, entre los años 2011 y 2013

| Localidad | Perla Negra | Diacol Capiro |
|----------------|-------------|---------------|
| Lenguzaque | 0 | 0,038 |
| Turmequé, 2011 | 0,052** | 0,581 |
| Turmequé, 2013 | 0,104** | 0,669 |
| Villapinzón | 0 | 0,042 |
| Zipaquirá | 0 | 0,044 |
| Ventaquemada | 0,031** | 0,512 |
| Promedio | 0,031 | 0,314 |

** Existen diferencias significativas entre los genotipos con un 99 % de confianza ($p \leq 0,01$).

Fuente: Elaboración propia

En otras evaluaciones realizadas en las localidades de Ventaquemada y Villapinzón, en el año 2015, se registró la respuesta de Perla Negra y Diacol Capiro al ataque de *P. infestans*, en dos ambientes contrastantes (figuras 28 y 29) en parcelas de 3.000 m². En Ventaquemada, zona de alta severidad del patógeno por las condiciones de alta humedad relativa del ambiente, Perla Negra presentó notoriamente menor severidad, alcanzando un 50 % de severidad según escala propuesta por Henfling (1978), citada por Forbes et al. (2014), en comparación con Diacol Capiro que alcanzó el 100 % de severidad a los 120 días después de la siembra (dds). En Villapinzón (ambiente más seco), la severidad de gota en Perla Negra alcanzó un máximo de 2,5 % a los 90 dds, mientras en Diacol Capiro fue del 10 %. Estas diferencias se presentaron aun cuando en las parcelas de Perla Negra se realizaron siete aplicaciones de fungicidas cada 15 días, mientras para Diacol Capiro se realizaron 17 aplicaciones de fungicidas cada siete días en ambos ambientes.

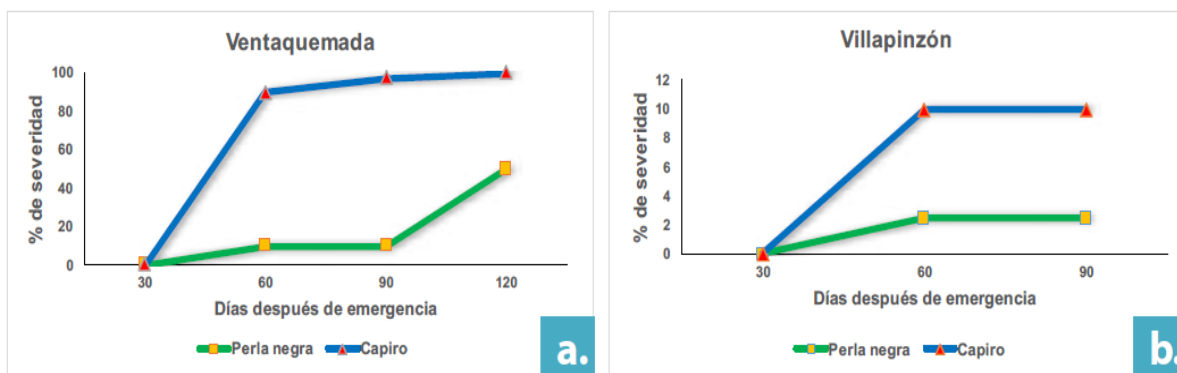


Figura 28. Evaluación del porcentaje de severidad de gota (*Phytophthora infestans*) para la variedad Perla Negra y el testigo Diacol Capiro, en dos ambientes del altiplano cundiboyacense 2014. a. Ventaquemada; b. Villapinzón. Fuente: Elaboración propia



Figura 29. Comparación del comportamiento en campo entre la variedad Perla Negra (tolerante a tizón tardío) y una variedad susceptible con síntomas de infección. a. Detalle de la variedad Perla Negra en campo con tolerancia a tizón tardío comparado con variedad susceptible; b. Detalle de la variedad Perla Negra en campo con tolerancia a tizón tardío.

En condiciones de cultivo en campo en Mosquera, Cundinamarca, en 2016, se evaluó el avance de la severidad de gota en las variedades comerciales Diacol Capiro, Pastusa Suprema y la variedad Perla Negra, sin aplicaciones de fungicidas en cinco muestreos a los 30, 45, 60, 75 y 90 días después de emergencia, siguiendo la metodología de evaluación de Henfling (1978), citada por Forbes et al. (2014). Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Los hallazgos revelaron una menor severidad en todos los muestreos para la variedad Perla Negra (figura 30), comparada con las otras dos variedades, incluyendo la variedad resistente Pastusa Suprema. Se observó, además, la alta susceptibilidad de la variedad Diacol Capiro. Perla Negra alcanzó un RAUDPC de 0,182, estadísticamente diferente ($P \leq 0,01$) a Diacol Capiro que obtuvo 0,566, e igual a Pastusa Suprema que alcanzó un RAUDPC de 0,274 y es una variedad conocida por su resistencia a *P. infestans*.

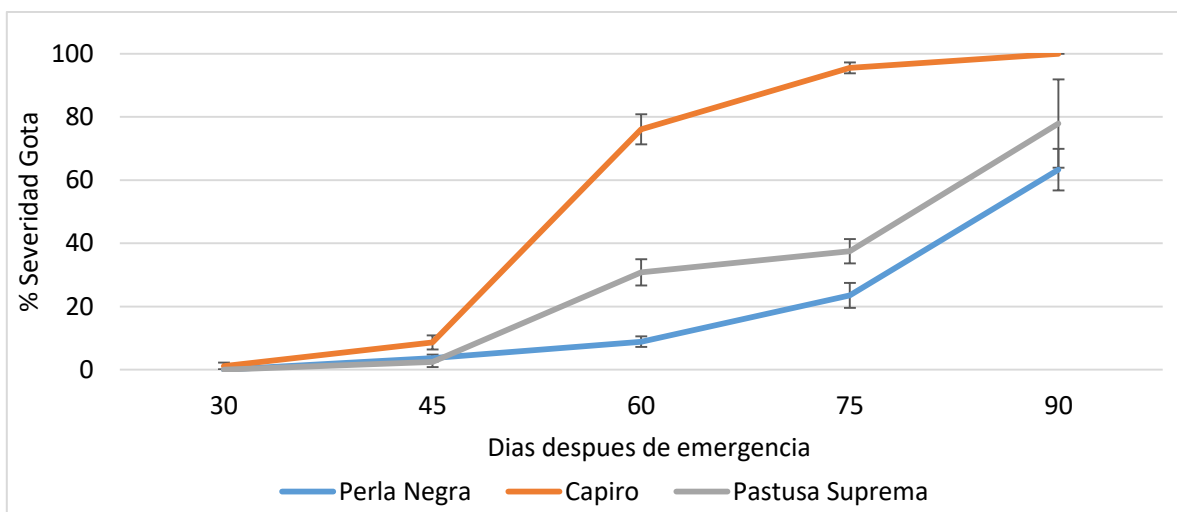


Figura 30. Evaluación del porcentaje de severidad de gota (*Phytophthora infestans*) para la variedad Perla Negra y el testigo Diacol Capiro, en dos ambientes del altiplano cundiboyacense, 2014. Las barras indican el error estándar.

Fuente: Elaboración propia

Recomendaciones para el manejo integrado de gota

Se recomiendan las siguientes prácticas para garantizar el control del patógeno en condiciones de alta precipitación y humedad relativa, donde es necesaria la aplicación de fungicidas en la variedad Perla Negra (Schepers, 2018; Acuña & Araya, 2017; Porras, 2015; Pérez & Forbes, 2008; Schumann & D'Arcy, 2000):

- Haga rotaciones de cultivos (que no sean solanáceas) cada dos a tres años, para eliminar el inóculo del suelo que puede afectar nuevos ciclos de cultivo.
- Seleccione terrenos con buen drenaje y apropiada exposición al sol y el viento. Evite sombras prolongadas en el terreno, ya que aumentan la humedad relativa del ambiente y la humedad excesiva del suelo.
- Elimine plantas huésped, malezas y tubérculos de cultivos anteriores de papa. El patógeno puede sobrevivir en restos del cultivo anterior y de otros cultivos o malezas.
- Utilice semilla libre del patógeno, preferiblemente certificada. Tanto el micelio como los esporangios pueden ser transportados y diseminados a través de la semilla tubérculo. El utilizar semilla certificada ayuda a evitar la diseminación del patógeno. Procure usar variedades con tolerancia al tizón tardío como Perla Negra, en zonas o épocas con condiciones favorables para la enfermedad (alta humedad y baja temperatura).
- Use densidades bajas de siembra, con lo que se evita un microclima favorable para el patógeno dentro del cultivo, además favorece la aireación y mejora la cobertura de los fungicidas aplicados.
- Realice una fertilización balanceada y evite excesos en fertilización nitrogenada. La fertilización excesiva con nitrógeno puede hacer más suculentas las hojas de la planta y con un follaje abundante, permitiendo un óptimo desarrollo de la enfermedad. Las aplicaciones de potasio y calcio pueden llegar a fortalecer los tejidos de las plantas.
- Lleve a cabo monitoreos de incidencia y severidad de gota en el cultivo, y examine el nivel actual de la enfermedad semanalmente, así podrá tomar decisiones de aplicación, tipo de aplicación y producto.

- Emplee productos registrados para papa. Es importante seguir esta recomendación, porque cada producto químico ha sido evaluado en diferentes cultivos. Si no ha sido probado en papa, se recomienda buscar otro producto que sí se haya probado.
- Aplique solo la dosis recomendada. Usar una dosis menor puede generar resistencia por parte del patógeno a la molécula del producto, mientras que una dosis superior puede causar fitotoxicidades en la planta.
- Utilice fungicidas de contacto de acción preventiva en condiciones de baja presión de la enfermedad, así como fungicidas sistémicos de acción curativa y preventiva en condiciones de alta presión.
- Rote ingredientes activos de fungicidas curativos, de diferentes grupos químicos y mecanismos de acción, para impedir el posible desarrollo de resistencia del patógeno. Por ejemplo, para productos registrados en Colombia se recomiendan los siguientes ingredientes activos, según su modo de acción (figura 31):
 - De contacto: mancozeb, fluazinam
 - Translaminar: mandipropamida, cymoxanil, fluopicolide y dimetomorf
 - Sistémico: propamocarb, metalaxil y benalaxil
 - Antiesporulante: fluopicolide y dimetomorf
 - Esporicida: cyazofamid y fluazinam

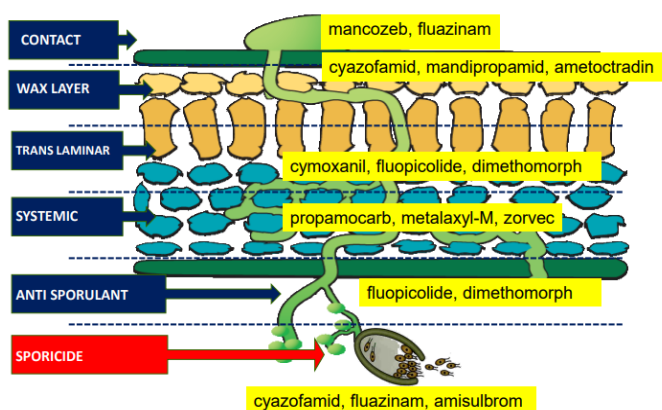


Figura 31. Modo de acción de principales fungicidas utilizados para el control de goma o tizón tardío en papa.

Fuente: Elaboración propia con base en Schepers (2018)

- Siguiendo las recomendaciones de un asistente técnico, asegúrese de alternar la aplicación de fungicidas sistémicos con aplicación consecutiva de fungicidas de distinto modo de acción: sistémico, translaminar o de contacto, de acuerdo con la temporada climática en la que esté el cultivo (figura 32).
- Observe la compatibilidad de los productos. Algunos plaguicidas son incompatibles entre sí al realizarse su mezcla, lo que provoca que se produzcan precipitados que taponan los equipos de aspersion, e incluso se puede perder la eficacia del control del patógeno.
- Use coadyuvantes para optimizar el comportamiento de los fungicidas. Para mejorar la eficiencia de la aplicación de productos fitosanitarios, en el manejo de la gota, es necesario el uso de algunos coadyuvantes, que permiten reducir la tensión superficial del agua, lo que ayuda a generar una película continua y homogénea de agua y no por gotas aisladas. Además, estas sustancias coadyuvantes ayudan a estabilizar la mezcla de diferentes ingredientes activos y que estos se dispersen y adhieran efectivamente a los tejidos de la planta como hojas y tallos, reduciendo la probabilidad de lavado y pérdida del producto.
- Haga una calibración del equipo de aspersion, para obtener un adecuado tamaño de gota. Esta práctica le permitirá obtener una óptima cobertura y una eficiencia en la aplicación adecuada.
- Respete los periodos de carencia. El consumidor de papa tiene derecho a tener un producto con el menor riesgo posible de contaminación por plaguicidas.
- Infórmese con un asistente técnico sobre las nuevas alternativas que ayudan al manejo del tizón tardío y que incluyen sustancias bioactivas (silicios y fosfitos), extractos vegetales y agentes biocontroladores, entre otros.

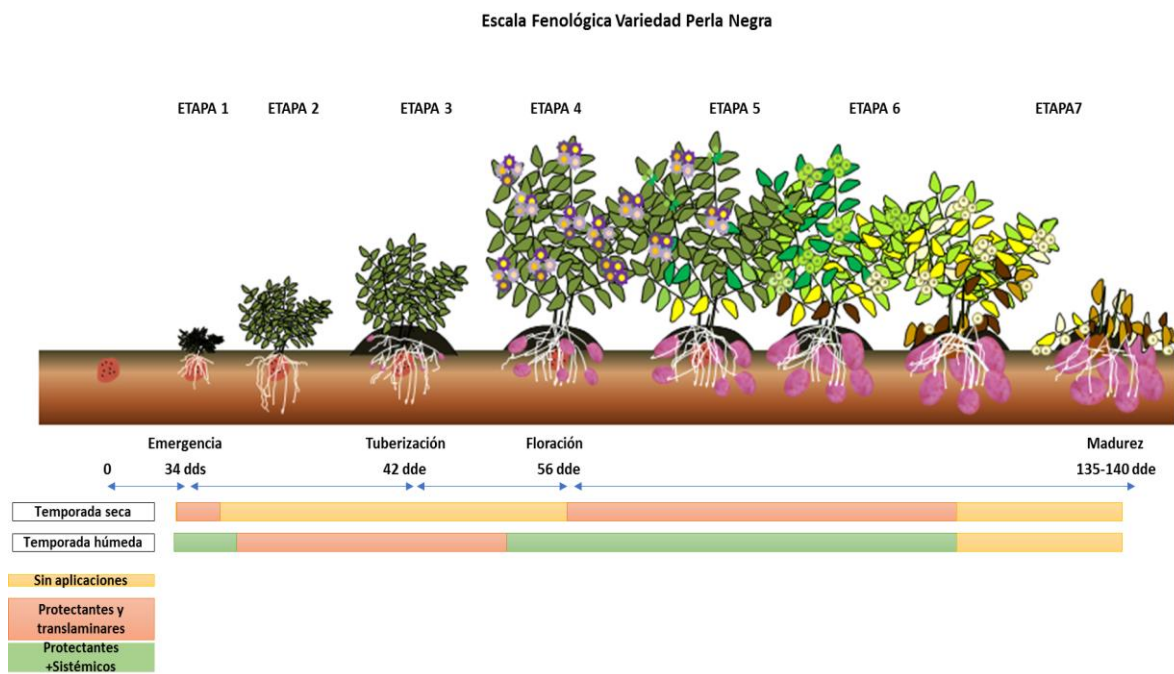


Figura 32. Recomendación de manejo químico de gota para la variedad Perla Negra en condiciones de temporada seca y húmeda de acuerdo con la escala fenológica.

Fuente: Adaptado de Sadaña (2014)

Referencias

- Acuña, I., & Araya, M. (2017). *Fitopatología - enfermedades de la papa: tizón tardío* (Ficha Técnica N.º 53). Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).
- Agrios, G. (2004). *Plant pathology*. Ciudad de México, México: Editorial Limusa.
- Cárdenas, M., Danies, G., Tabima, J., Bernal, A., & Restrepo, S. (2012). *Phytophthora infestans* population structure: a worldwide scale. *Acta Biológica Colombiana*, 17(2), 227-240.

- Filippov, A., Rogozhin, A., Kuznetsova, M., Statsyuk, N., Ronis, A., & Platt, H. (2015). Efficiency of a computerised decision support system as a tool to reduce fungicide input for the control of potato late blight. *Zemdirbyste-Agriculture*, 102(4), 449-456.
- Forbes, G., Pérez, W., & Andrade-Piedra, J. (2014). Procedimiento para evaluación estándar y manejo de datos de clones avanzados de papa. En Autores (Eds.), *Módulo 3: Evaluación de la resistencia en genotipos de papa a Phytophthora infestans bajo condiciones de campo. Guía para colaboradores internacionales*. Lima, Perú: Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Fry, W. (2008). *Phytophthora infestans*: the plant (and R gene) destroyer. *Molecular Plant Pathology*, 9(5), 385-402.
- Fry, W. E., Birch, P. R., Judelson, H. S., Grünwald, N. J., Danies, G., Everts, K. L., ... Smart, C. D. (2015). Five reasons to consider *Phytophthora infestans* a reemerging pathogen. *Phytopathology*, 105(7), 966-981.
- Henfling, J. W. (1978). *El tizón tardío de la papa: Phytophthora infestans* (Boletín de Información Técnica N.º 4). Lima, Perú: Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2011). *Manejo fitosanitario del cultivo de la papa (Solanum tuberosum subsp. andigena y S. phureja). Medidas para la temporada invernal*. Bogotá, Colombia: ICA.
- Instituto de Nacional de Innovación Agraria [INIA], Centro Internacional de la Papa [CIP] & Red de Innovación en Mejoramiento y Diseminación de la Papa [Red Latinpapa] (2012). *Catálogo de nuevas variedades de papa: sabores y colores para el gusto peruano*. Perú: INIA, CIP, Red Latinpapa.
- Kamoun, S., Furzer, O., Jones, J. D., Judelson, H. S., Ali, G. S., Dalio, R. J., ... Govers F. (2015). The top 10 oomycete pathogens in molecular plant pathology. *Molecular plant pathology*, 16(4), 413-434.
- Nowicki, M., Foolad, M., Nowakowska, M., & Kozic, E. (2012). Potato and tomato late blight caused by *Phytophthora infestans*: An overview of pathology and resistance breeding. *Plant Disease*, 96(1), 4-17.

- Orozco, L., Ramírez, L., & Cotes, J. (2013). Evaluation of the heritability of resistance to *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary in a Population of *Solanum phureja* Juz et Buk. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 66(1), 6833-6843.
- Oyarzun, P., Taipei, J., & Forbes, G. (2001). *Phytophthora infestans*, su actividad y particularidades en el Ecuador. Perfil de país. En *Estado actual del manejo integrado del tizón (mip-tizón) en países andinos* (pp.17-27). Recuperado de https://research.cip.cgiar.org/confluence/download/attachments/37192020/1.3_P.i._su_actividad_y_particularidades_en_el_Ecuador_perfil_de_paisOK.pdf?version=1&modificationDate=1273564325000&api=v2.
- Park, T. H., Vleeshouwers, V., Jacobsen, E., Van Der Vossen, E., & Visser, R. (2009). Molecular breeding for resistance to *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary in potato (*Solanum tuberosum* L.): A perspective of cisgenesis. *Plant Breeding*, 128(2), 109-117.
- Pérez, W., & G. Forbes (2008). *Manual técnico. El tizón tardío de la papa*. Lima, Perú: Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Porras, D. (2015). *Modelo productivo de la papa variedad parda pastusa para el altiplano cundiboyacense*. Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Rossmann, A. Y., & Palm, M. E. (2006). Why are the *Phytophthora* and other Oomycota not true Fungi? *Outlooks on Pest Management*, 17(5), 217-219.
- Sandaña, P. A. (2014). *Manejo del riego*. Recuperado de <http://manualinia.papachile.cl/?page=consumo&ctn=65>
- Schepers, H. (2018). Best agricultural practices and management of late blight. En *Memorias del 10th World Potato Congress, XXVIII Congreso de la Asociación Latinoamericana de la Papa*. Cusco, Perú: Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA).
- Schumann, G. L., & D'Arcy, C. (2000). Late blight of potato and tomato. *Plant Health Instructor*. doi: 10.1094/PHI-I-2000-0724-01.
- Walker, C., & Van West, P. (2007). Zoospore development in the oomycetes. *Fungal Biology Reviews*, 21(1), 10-18.
- Yogendra, K., Pushpa, D., Mosa, K., Kushalappa, A., Murphy, A., & Mosquera, T. (2014). Quantitative resistance in potato leaves to late blight associated with induced hydroxycinnamic acid amides. *Functional & Integrative Genomics*, 14(2), 285-298.

Capítulo X

Manejo integrado de las enfermedades que afectan a la variedad Perla Negra en el altiplano cundiboyacense

Una de las características más importantes de la variedad Perla Negra es su tolerancia al tizón tardío o gota. Estudios realizados por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) demostraron que, con el uso de este material, la aplicación de fungicidas puede ser disminuida considerablemente, lo que representa una reducción en costos de producción (capítulo IX). Sin embargo, a pesar de esta importante característica, se identificó la afectación de Perla Negra por otras enfermedades tanto de suelo como roña, sarna común, costra negra, enfermedades en el follaje ocasionadas por virus como el enrollamiento de las hojas, el mosaico rugoso y el mosaico suave (tabla 12).

Los anteriores problemas se presentaron en distintos porcentajes de incidencias, de acuerdo con la localidad y las fincas donde fueron evaluadas (con Pruebas de Evaluación Agronómica [PEAS] y pruebas semicomerciales), indicando así que el grado de daño en los cultivos estuvo relacionado con el historial de afectación pasada y el manejo de enfermedades en el lote por parte de cada agricultor, los cuales son factores determinantes que deben tenerse en cuenta para lograr una buena cosecha. Por lo tanto, es necesario que para el cultivo de esta variedad se sigan las recomendaciones que se presentarán más adelante.

Esta sección del *Modelo productivo de la variedad Perla Negra* se enfocará únicamente en las enfermedades que fueron identificadas durante las pruebas de evaluación agronómica en las distintas localidades y en las pruebas semicomerciales, sin descartar que puedan presentarse otras que no se mencionan en el presente manual (figura 33).

Tabla 12. Principales enfermedades de la variedad de papa Perla Negra en el altiplano cundiboyacense

| Enfermedad | Agente causal (patógeno) | Clase de patógeno |
|---------------------------------------|---|-------------------|
| Roña o sarna polvosa, camanduleo | <i>Spongospora subterranea</i> (Wallr.) Lagerh. f. sp. <i>subterranea</i> Tomlinson | Parásito |
| Tizón tardío o gota | <i>Phytophthora infestans</i> (Mont.) de Bary | Oomiceto |
| Enrollamiento, enrollado de las hojas | <i>Potato leafroll Virus</i> (PLRV) | Virus |
| Mosaico rugoso | <i>Potato Virus Y</i> (PVY) | Virus |
| Mosaico latente o mosaico suave | <i>Potato Virus X</i> (PVX) | Virus |
| Sarna común | <i>Streptomyces scabies</i> (Thaxter) Waksman and Henrici | Actinomiceto |
| Costra negra o rizoctoniasis | <i>Rhizoctonia solani</i> Kühn | Hongo |

Fuente: Elaboración propia



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



Perla negra



Roña o sarna polvosa (*Spongospora subterranea* (Wallr.) Lagerh. f. sp. *subterranea* Tomlinson)



Enrollamiento de las hojas
Potato leafroll Virus



Coinfección de hojas con
mosaico rugoso (*Potato Virus Y* [PVY]) y mosaico latente (*Potato Virus X* [PVX])

Fotos: Soto, M. (2019); Hernández, A. (2019); Pérez (2017); Hio, J.

Figura 33. Enfermedades que afectan el cultivo de la papa, encontradas en la variedad Perla Negra en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá.

Sarna polvosa, roña o camanduleo de la papa

Agente causal

Spongospora subterranea (Wallr.) Lagerheim f. sp. *subterranea* Tomlinson. Este patógeno pertenece al reino Chromista, clase Phytomyxea y familia Plasmodiophoridae (Roskov et al., 2018).

Importancia

El parásito *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea* se presentó tanto en los clones de Perla Negra como en los testigos (Nova y Diacol Capiro) de las distintas localidades, en un porcentaje de incidencia por debajo del 10 % en las dos variedades. Sin embargo, si no se aplican las medidas de manejo necesarias, las cuales se describen más adelante, puede llegar a constituir un problema económico importante, ya que el agente causal puede producir tres enfermedades distintas en el cultivo de la papa: sarna polvosa en los tubérculos, disfunción de la membrana e hiperplasia de la raíz, conocida comúnmente como camanduleo de la papa en plantas jóvenes (Falloon et al., 2016).

La sarna polvosa disminuye el rendimiento del cultivo y la calidad de los tubérculos hasta en un 40 % (Arango-Soler, 2012), y se encuentra dentro de los siete principales problemas fitosanitarios reportados en Colombia que causan pérdidas económicas en las zonas productoras (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2015). Esta enfermedad causa daños directos a raíces y tubérculos, e indirectos al transmitir el virus mop -top de la papa (*Potato Mop Top Virus* - PMTV). Adicionalmente, puede permanecer por más de 10 años en condiciones de latencia en los suelos, a través de estructuras de resistencia llamadas esporosoros (Aristizábal, González, Zuluaga, Montoya, & Cotes, 2014).

Sintomatología

S. subterranea afecta principalmente raíces, estolones y tubérculos de la planta; en las raíces de plantas, de 2 a 3 meses de edad, se genera una hipertrofia e hiperplasia de las células, en cuyo caso aparecen pequeñas protuberancias redondeadas de color claro y consistencia carnosa, mientras la enfermedad avanza las protuberancias o agallas maduran y toman un color castaño oscuro, a este fenómeno se le llama comúnmente camanduleo de la papa (Van de Graaf et al., 2007; Falloon et al., 2016) (figuras 34a y 34b). Las agallas contienen los esporosoros o quistosoros que son esporas agregadas, las cuales resisten a las

condiciones ambientales y persisten en el suelo por muchos años (Merz et al., 2004) (figuras 35a y 35b).

La sintomatología ocasionada en los tubérculos consiste en la aparición de pústulas polvosas en la superficie del tubérculo (peridermo) y deformación de estos en infecciones severas. Las pústulas son generalmente de color castaño purpúreo, de 0,5 a 2,0 mm de diámetro, con un contenido pulverulento, pardo rojizo; forma lesiones levantadas en forma de pequeños cráteres, el aumento de tamaño y división de las células parasitadas empuja y rompe el peridermo (figura 10.3c). Bajo la lesión se forma peridermo de cicatrización, que se va oscureciendo gradualmente y se deteriora, dejando una depresión superficial llena de una masa polvorienta de esporas aglutinadas o esporosoros, de color castaño oscuro. *S. subterranea* puede servir como vector del virus PMTV (Gallo et al., 2013; Tamada & Kondo, 2013) siendo este uno de los problemas virales prevalentes en la región Andina y que presenta carácter cuarentenario para diferentes países del mundo (Santala et al., 2010; Falloon et al., 2016).

Recomendaciones de manejo integrado

De acuerdo a experiencias del grupo de investigación de AGROSAVIA, con este patógeno en cultivos de variedades tradicionales de papa, a continuación se listan las recomendaciones dirigidas para prevenir la ocurrencia de la roña en los nuevos cultivos de la variedad Perla Negra, ya que hasta el momento no existen tratamientos con agroquímicos específicos para resolver el problema de la sarna polvosa en los cultivos de variedades de tradición cultivadas en Colombia.

- El método más efectivo para el control de la enfermedad es evitar a toda costa el patógeno: sembrar en campos sin afectación previa y evitar infestaciones a través de la selección rigurosa de semilla, descartando tubérculos afectados por el patógeno.
- Incluya el análisis químico del suelo antes de sembrar, para asegurar una nutrición eficiente para las plantas. Si es posible, realice un análisis de identificación de patógenos del suelo en distintos puntos estratégicos del lote (zonas planas, encharcamientos, con pendiente, etc.), incluyendo *S. subterranea*,

lo que permite identificar las zonas en donde se presente el problema y no sembrar allí. AGROSAVIA presta este servicio.

- Seleccione terrenos con buen drenaje y evite encharcamientos para prevenir sobrevivencia de estructuras infectivas.
- Los esporos pueden permanecer por más de 10 años en el suelo, por lo tanto, la rotación de cultivos puede disminuir los niveles de inóculo (Falloon et al., 2016).
- Infórmese con un asistente técnico sobre las nuevas alternativas que ayudan al manejo de la sarna polvosa, entre ellas el compostaje de residuos de cosecha a temperaturas adecuadas para eliminar fuentes de inóculo.



Fotos: Gómez, M.

Figura 34. Camanduleo de papa ocasionado por *S. subterranea* en la variedad Perla Negra. a. Agallas desarrolladas en las raíces de papa; b. Agallas maduras de color castaño oscuro.

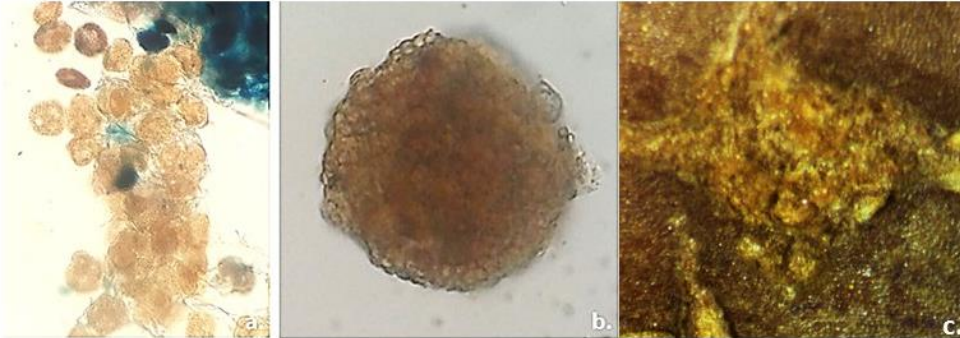


Foto: Gómez, M.

Figura 35. Esporosoros de *S. subterranea* obtenidos a partir de agallas presentes en raíces de Perla Negra. a. Masa de esporosoros desarrollados en las raíces; b. Esporosoro maduro; c. Detalle de lesiones con contenido pulverulento pardo rojizo, lesiones levantadas en forma de pequeños cráteres.

Sarna común

Agente causal

Son tres las especies causantes de esta enfermedad, siendo *Streptomyces scabies* la actinobacteria más reportada; las otras dos especies son *S. acidiscabies* y *S. turgidiscabies*. Son grampositivas, del orden Actinomycetales y familia Streptomycetaceae (Roskov et al. 2018; Zuluaga, González & Cotes, 2014).

Importancia

La sarna común es causada por varias especies de *Streptomyces* spp., sin embargo *S. scabiei* es la especie más habitual y genera un problema grave para los agricultores de la papa. La gran mayoría de las variedades de papa usadas comercialmente son altamente susceptibles al patógeno (Wanner & Haynes, 2009). En Colombia no existen estadísticas acerca del impacto que puede tener la sarna común en el sistema productivo de la papa, sin embargo el grupo de Microbiología Agrícola de AGROSAVIA ha podido constatar en campo que la sarna

común constituye un problema fitosanitario emergente, el cual afecta drásticamente los tubérculos y reduce de manera contundente su comercialización. El uso de fumigación química ha sido reportado en varias partes del mundo, pero hasta el momento no se ha identificado un tratamiento efectivo contra la enfermedad.

Sintomatología

La sarna común se caracteriza por la aparición de lesiones en los tubérculos de la planta. Estas lesiones pueden ser de tres tipos diferentes: (i) lesiones marrones y amorfas a nivel superficial; (ii) lesiones eruptivas similares a verrugas de apariencia corchosa, como resultado de una hipertrofia y suberización del tejido colonizado por el patógeno, y (iii) lesiones profundas, en muchos casos de apariencia estrellada. Las lesiones eruptivas son las más comunes. Adicionalmente, las lesiones pueden localizarse sólo en una pequeña área de la superficie del tubérculo o llegar a cubrir toda la superficie.

Recomendaciones de manejo integrado

La sarna común de la papa es una enfermedad de difícil control, debido a que los patógenos causantes son habitantes naturales de suelo y sobreviven en residuos de cosecha y en la materia orgánica. De acuerdo a la experiencia del grupo de Microbiología Agrícola de AGROSAVIA, para el caso de la sarna común es importante tener en cuenta las siguientes recomendaciones para abordar su manejo de forma preventiva.

- Realice una selección rigurosa de semilla, descartando tubérculos afectados por el patógeno.
- Incluya en el análisis de suelo que realiza, antes de sembrar, un análisis de identificación de patógenos del suelo, incluyendo *S. scabies*. AGROSAVIA presta este servicio.
- Intente mantener el pH del suelo ligeramente básico. El pH óptimo para el desarrollo de la enfermedad se encuentra entre 5,2-7,0.

- Niveles bajos del micronutriente Manganese (Mn) en el suelo favorecen la enfermedad. Realice un análisis de suelo antes de la siembra y siga las recomendaciones del asistente técnico.
- Seleccione terrenos con buen drenaje y evite encharcamientos.
- Infórmese con un asistente técnico sobre las nuevas alternativas que pueden ayudar al manejo de la sarna común, entre ellas el control biológico con Actinomicetos no patogénicos y el uso de fosfitos.
- Por último, realice control químico, bajo la supervisión de un ingeniero agrónomo, con productos registrados ante el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Costra negra o rizoctoniasis

Agente causal

La costra negra es producida por el hongo *Rhizoctonia solani* Kühn., orden Cantarellales, familia Ceratobasidiaceae (Ajayi-Oyetunde & Bradley, 2018).

Importancia

Rhizoctonia solani Kühn, causante de la costra negra de la papa, rizoctoniasis o cáncer de la raíz o tallo, es un patógeno de suelo de alta importancia económica en todas las zonas donde se cultiva la papa (Cotes, Beltrán, & Moreno 2011). *R. solani* se transmite a través de semilla contaminada, y una vez se establece en el suelo, puede sobrevivir gracias a que desarrolla unos propágulos llamados esclerocios (Ajayi-Oyetunde & Bradley, 2018).

Sintomatología

Los síntomas de la enfermedad rizoctoniasis se desarrollan en dos fases (cáncer del tallo y costra negra) afectando tallos, estolones, raíces y tubérculos. Las costras negras en los tubérculos son uno de los signos más evidentes de la enfermedad, se desarrollan en etapas tardías del ciclo del cultivo y se

caracterizan por la formación de costras negras irregulares (esclerocios) de tamaño variable sobre el tubérculo. En infecciones severas se produce una malformación del tubérculo y, en algunos casos, la aparición de grietas. Los síntomas del cáncer del tallo aparecen en etapas tempranas del ciclo del cultivo e incluyen necrosis en los brotes, las cuales llegan a inhibir o retrasar la emergencia de la planta; también se pueden desarrollar lesiones marrones, secas y hundidas usualmente en los tallos, estolones y raíces. Los síntomas en la parte aérea de la planta incluyen la clorosis y el enrojecimiento y engrosamiento de las hojas, y en infecciones muy graves se pueden formar pequeños tubérculos aéreos verdes en el tallo (Acuña & Vargas, 2005).

Recomendaciones de manejo integrado

El manejo efectivo de la enfermedad involucra la adopción de varias medidas de manejo que se presentan a continuación:

- Utilice semillas certificadas como libres de esclerocios. Este es uno de los aspectos clave para minimizar la enfermedad.
- Siembre en suelo libre de inóculo. Incluya en el análisis de suelo, que realiza antes de sembrar, un examen de niveles de densidad de *R. solani* en suelo. Este servicio puede realizarse en AGROSAVIA.
- Se aconseja la rotación con otros cultivos que no son huésped de la enfermedad, por un periodo de tres años o más.
- Disminuya al máximo el intervalo de tiempo entre la destrucción del follaje y la cosecha de tubérculos en madurez comercial. Largos periodos de tiempo entre estas dos prácticas estimulan la producción de esclerocios.
- Consulte con un asistente técnico. Altos niveles de nitrógeno y fósforo en el suelo promueven la enfermedad.
- Realice prácticas de siembra que permiten una rápida emergencia de plántulas, entre ellas la siembra superficial de semillas. Evite sembrar en épocas muy frías o en suelos mojados o mal drenados.
- Aplique métodos de control biológico a la semilla con microorganismos antagonistas (*Bacillus*, *Trichoderma*) y trate el suelo con compost maduro.
- En momentos de alta incidencia del patógeno, siempre siguiendo las recomendaciones de un asistente técnico, use control químico con fungicidas.

Enfermedades causadas por virus

Aunque las evaluaciones de la variedad de papa Perla Negra mostraron una baja incidencia de virus (menor al 3,7 % de incidencia), se presentaron plantas con síntomas de virus como el de enrollamiento, el virus rugoso y el virus S de la papa. Estas enfermedades de las plantas reducen su vigor y capacidad de rendimiento; como son parásitos obligados no matan la planta, pero sí pueden disminuir el tamaño y la calidad de los tubérculos.

Como la propagación del cultivo de la papa es vegetativa, la diseminación de las enfermedades ocasionadas por virus es relativamente fácil. Además, hasta el momento no se dispone de una forma rentable que permita eliminar las partículas virales una vez que se ha infectado la planta, por lo cual la única estrategia de control es el manejo integrado del cultivo con relación a los vectores, con el fin de evitar su presencia.

Las características de los principales virus que afectan al cultivo en Colombia se enuncian a continuación.

Enrollamiento, enrollado de las hojas

Agente causal: *Potato leafroll Virus* (PLRV), familia Luteoviridae, género *Poterovirus*. PLRV es un Luteovirus con ciclo de vida en planta restringido al floema. Tiene distribución universal, y se transmite en el campo únicamente por medio de áfidos. Las infecciones conjuntas entre PVY y PLRV son muy frecuentes y generan grandes pérdidas en el cultivo.

Sintomatología

La enfermedad produce síntomas primarios cuando se transmite directamente en el campo, y secundarios, al sembrar la semilla infectada con el virus. Los síntomas causados por PLRV incluyen un enrollamiento característico de las hojas, clorosis (amarillamiento) o enrojecimiento de las hojas con sensación de

cuero (hojas coriáceas), necrosis del floema, altura reducida de la planta y en infecciones severas causa necrosis en los tubérculos.

Recomendaciones de manejo integrado

De manera similar a las recomendaciones dadas como estrategia de control de enfermedades ocasionadas por virus PVV, el manejo integrado de PLRV se fundamenta en la prevención de la enfermedad.

- Emplee semilla certificada o lo más sana posible, proveniente de lotes donde no se haya observado la enfermedad.
- Revise el cultivo semanalmente y cuando aparezcan plantas con síntomas, si son pocas retírelas inmediatamente del cultivo y destrúyalas.
- Cuando en cultivos comerciales se presenta alta cantidad de plantas infectadas y con síntomas, se recomienda no dejar semilla de estos lotes, ni eliminar las plantas enfermas, pero sí destinar toda la producción para el consumo o la industria.
- Realice control químico contra áfidos, bajo la supervisión de un ingeniero agrónomo, con productos registrados ante el ICA.
- No espere a cosechar en sobremaduración del tubérculo, realice la cosecha en etapas tempranas.

Mosaico rugoso

Agente causal: Potato Virus Y (PVY), familia Potyviridae, género Potyvirus

El PVY se considera uno de los virus más importantes de la papa, debido a que se disemina fácilmente, y cuando está mezclado con otros virus como el PVV puede disminuir hasta en un 80 % el rendimiento del cultivo (Villamil-Garzón, Cuéllar, & Guzmán-Barney, 2014). Este virus es diseminado ampliamente por áfidos e inoculación mecánica. Su tiempo corto de adquisición e inoculación es característico de la transmisión no persistente por *Myzus persicae* u otros áfidos.

Sintomatología

PVY induce varias enfermedades diferentes, y estas pueden dividirse en enfermedades foliares y del tubérculo. La severidad de los síntomas en el follaje de la papa difiere ampliamente dependiendo de la cepa, la variedad del cultivo y las condiciones ambientales. Va desde síntomas leves hasta necrosis graves y muerte de las plantas infectadas. Cuando la infección se produce tardíamente, el follaje suele no presentar síntomas, pero los tubérculos pueden llevar consigo la enfermedad. Las plantas con infección secundaria son enanas, de hojas enrolladas y moteadas; a veces se produce necrosis en las nervaduras de las hojas y en los tallos.

La enfermedad en el tubérculo se caracteriza por la aparición de una necrosis circular, la cual comienza con una especie de hinchazón en la superficie del tubérculo que luego se convierte en un anillo hundido, lo que hace que el tubérculo no pueda comercializarse (Karasev & Gray, 2013).

Recomendaciones de manejo integrado

De manera similar a las recomendaciones dadas como estrategia de control de PVV y PLRV, el manejo integrado de PVY se fundamenta en la prevención de la enfermedad:

- Utilice semilla certificada o libre de la enfermedad.
- Entresaque las plantas enfermas.
- Evite altas poblaciones de pulgones en la bodega y en el campo, mediante el control biológico o la aplicación de insecticidas específicos.
- Evite manipular las plantas enfermas y luego las sanas.

Virus S de la papa

Agente causal: Potato Virus S (PVS), familia Betaflexiviridae, género Carlavirus

La mayoría de los *Carlavirus* causan síntomas leves o son asintomáticos en plantas huésped, condición que les ha dado el nombre de virus latentes. Los *Carlavirus* son transmitidos por áfidos, y entre los vectores principales de PVS se

encuentran *Aphis fabae*, *A. nasturtii*, *Myzus Persicae* y *Rhopalosiphum padi*. Sin embargo, la transmisión mecánica y la propagación vegetativa también son de considerable importancia para la propagación del virus. Cuando en campo se producen infecciones únicas por virus PVS o PVX no suelen generar pérdidas significativas. No obstante, se encuentran, de manera frecuente, complejos virales con PVX, PVY y PLRV, tal interacción sinérgica produce enfermedades de impacto importante y mayores pérdidas en el cultivo.

Sintomatología

En cultivares susceptibles de papa, algunas razas del virus PVS inducen síntomas como rugosidad en las hojas, aparición de mosaicos, altura reducida de la planta, profundización de venas, caída temprana de hojas (senescencia prematura) y en algunos casos, manchas finas necróticas en hojas inferiores.

Recomendaciones de manejo integrado

- Utilice semilla certificada o libre de la enfermedad.
- Entresaque las plantas enfermas.
- Realice control químico contra áfidos, bajo la supervisión de un ingeniero agrónomo, con productos registrados ante el ICA.
- En cultivos con alta incidencia de la enfermedad, se recomienda no dejar para semilla tubérculos de estos lotes. Se debe destinar toda la producción para el consumo o la industria.

Afectación por las enfermedades según las etapas fenológicas de la papa Perla Negra

Las pruebas de evaluación agronómica (PEA) y los cultivos semicomerciales en el altiplano cundiboyacense no solo permitieron identificar las enfermedades asociadas al cultivo de la variedad Perla Negra en las distintas localidades, sino que mostraron en qué etapa de desarrollo fenológico de las plantas lograron afectarlas.

En la figura 36 se representa la relación de la fenología con la presencia de las enfermedades observadas en las PEA y en los cultivos semicomerciales. De

acuerdo a la edad de las plantas, se deben aplicar las medidas de manejo preventivas que se propusieron para cada patología.

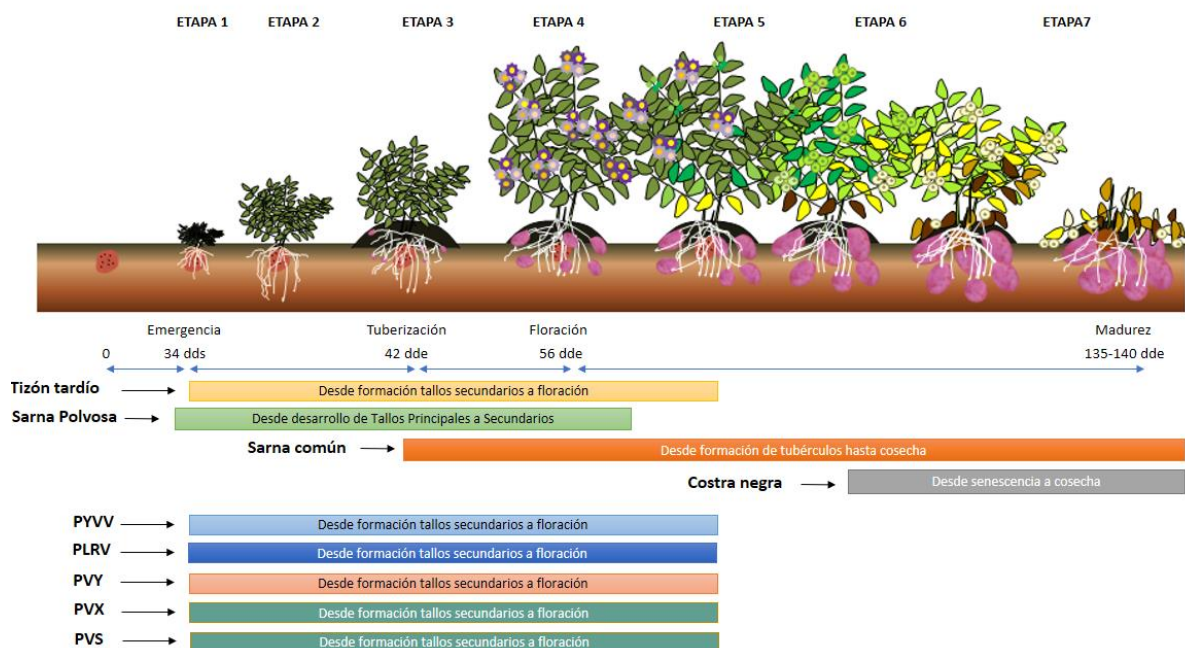


Figura 36. Relación de las etapas fenológicas del cultivo de la variedad de papa Perla Negra con la aparición de los síntomas de las enfermedades encontradas en las distintas evaluaciones en el altiplano cundiboyacense.

Fuente: Elaboración propia a partir de Sandaña (2014), con base en investigación del grupo de Microbiología Agrícola AGROSAVIA (2018).

Referencias

- Acuña, I., & Vargas, M. (2004). *Rhizoctoniasis de la papa*. *Boletín Informativo* (Inf. Remehue N.º. 46, 1-4). La Habana: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) y Centro Regional de Investigación Remehue.
- Ajayi-Oyetunde, O., & Bradley, C. A. (2018). *Rhizoctonia solani*: taxonomy, population biology and management of rhizoctonia seedling disease of soybean. *Plant Pathology*, 67(1), 3-17. Recuperado de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/ppa.12733>.

- Arango-Soler, J. (2012). *Selección y evaluación de microorganismos promisorios para el biocontrol del patógeno Spongospora subterranea, causante de la sarna polvosa de la papa* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Aristizábal, I., González, E., Zuluaga, C., Montoya, M., & Cotes, J. (2014). Efecto de la infección de *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea* en Hospederos Alternos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 67(2), 72617269.
- Cotes, A., Beltrán, C., & Moreno, C. A. (Eds.). (2011) *Trichoderma koningiopsis Th003 alternativa biológica para el control de Rhizoctonia solani en el cultivo de papa*. Bogotá, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Universidad de Córdoba, Federación Ganadera de Córdoba (Ganacor).
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. (2015). *Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA)*. Bogotá, Colombia: DANE. Recuperado de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/2015/boletin_ena_2015.pdf.
- Falloon, R. E., Merz, U., Butler, R. C., Curtin, D., Lister, R. A., & Thomas, S. M. (2016). Root infection of potato by *Spongospora subterranea*: knowledge review and evidence for decreased plant productivity. *Plant Pathology*, 65(3), 422-434. doi:10.1111/ppa.12419.
- Filippov, A., Rogozhin, A., Kuznetsova, M., Statsyuk, N., Ronis, A., Platt, H. (2015). Efficiency of a computerised decision support system as a tool to reduce fungicide input for the control of potato late blight. *Zemdirbyste-Agriculture*, 102(4), 449-456. doi:10.13080/z-a.2015.102.058.
- Fry, W. E., Birch, P. R., Judelson, H. S., Grünwald, N. J., Danies, G., Everts, K. L... Smart, C. D. (2015). Five reasons to consider phytophthora infestans a reemerging pathogen. *Phytopathology*, 105(7), 966-981. doi:10.1094/PHYTO-01-15-0005-FI.
- Karasev, A. V., & Gray, S. M., (2013). Continuous and emerging challenges of Potato virus Y in potato. *Annual Review Phytopathology*, 51, 571-586. doi:10.1146/annurev-phyto-082712-102332.

- Merz, U., Martínez, V., & Schwärzel, R. (2004). The potential for the rapid screening of potato cultivars (*Solanum tuberosum*) for resistance to powdery scab (*Spongospora subterranea*) using a laboratory bioassay. *European Journal of Plant Pathology*, 110(1), 71–77. 10.1023/B:EJPP.0000010123.21255.d1.
- Roskov, Y., Ower, G., Orrell, T., Nicolson, D., Bailly, N., Kirk, P. M., ... Penev, L. (Eds.). (2018). *Species 2000 & ITIS Catalogue of Life, 24th September 2018*. Recuperado de <http://www.catalogueoflife.org/col/details/database/id/7>
- Sandaña, P. A. (2014). Manejo del riego. Recuperado de <http://manualinia.papachile.cl/?page=consumo&ctn=65>
- Santala, J., Samuilova, O., Hannukkala, A., Latvala, S., Kortemaa, H., Beuch, U., ... Kvarnheden, A. (2010), Detection, distribution and control of Potato mop-top virus, a soil-borne virus, in northern Europe. *Annals of Applied Biology*, 157: 163-178. doi:10.1111/j.1744-7348.2010.00423.x.
- Tamada, T., & Kondo, H. (2013). Biological and genetic diversity of plasmodiophorid-transmitted viruses and their vectors. *Journal of General Plant Pathology*, 79(5), 307-320. <https://doi-org.ezproxy.javeriana.edu.co/10.1007/s10327-013-0457-3>.
- Van De Graaf, P., Wale, S. J., & Lees, A. K. (2007). Factors affecting the incidence and severity of *Spongospora subterranea* infection and galling in potato roots. *Plant Pathology*, 56, 1005-1013. doi:10.1111/j.1365-3059.2007.01686.x.
- Villamil-Garzón, A., Cuéllar, W. J., & Guzmán-Barney, M. (2014). Co-infección natural de *Potato yellow vein virus* y potivirus en cultivos de *Solanum tuberosum* en Colombia. *Agronomía Colombiana*, 32(2), 213-223. doi:10.15446/agron.colomb.v32n2.43968.
- Wanner, L. A., & Haynes, K. G. (2009). Aggressiveness of *Streptomyces* on four potato cultivars and implications for common scab resistance breeding. *American Journal of Potato Research*, 86(5), 335-346.
- Zuluaga, C., González, E., & Cotes, J. M. (2014). Ganancia genética esperada de la resistencia a Sarna común (*Streptomyces* spp.) en una población de *Solanum phureja* Juz. et Buk. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 10(2), 142-155. doi: <https://doi.org/10.18359/rfcb.326>.

Capítulo XI

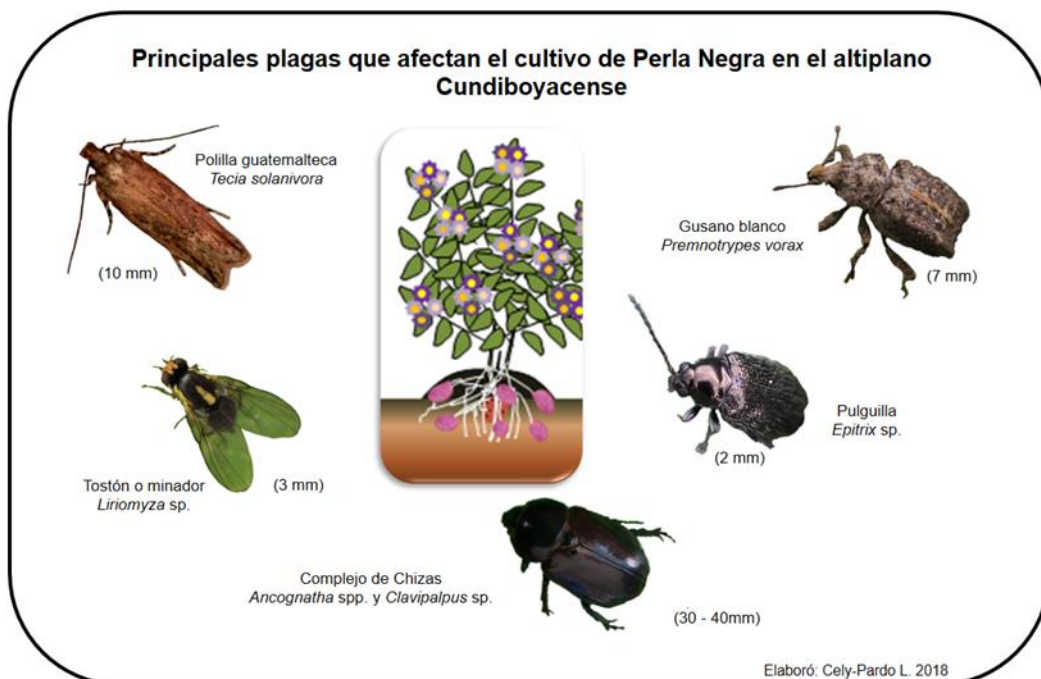
Manejo integrado de los principales insectos plaga que afectan el cultivo de papa variedad Perla Negra

Introducción

El cultivo de papa es afectado por diferentes insectos que causan daño directo al follaje y al tubérculo. Se considera que el daño más importante es cuando atacan el tubérculo que, al ser el órgano de interés comercial, pierde calidad y como consecuencia genera altas pérdidas económicas.

Históricamente, el gusano blanco y la polilla guatemalteca han sido las plagas más limitantes del cultivo de papa en Colombia, su importancia se debe al daño directo que causan tanto en campo como en almacén. Además de estas dos plagas, ocasionalmente se presentan otros insectos que afectan los tubérculos como el tiroteador, el gusano alambre y las chisas. En el follaje se puede presentar daño de pulguilla, tostón o minador, palomilla de la papa y áfidos o pulgones; estos insectos causan daño económico, especialmente en los primeros meses de establecido el cultivo. En algunas regiones y cultivares de papa hay presencia de mosca blanca o palomilla, la cual puede estar asociada con la transmisión del virus del amarillamiento de venas.

La variedad Perla Negra, como todos los cultivares de papa, también es afectada por algunas plagas (figura 37). A continuación, se presenta una descripción de los insectos más limitantes para esta variedad y se dan recomendaciones para su prevención y manejo, de acuerdo con la fenología del cultivo, y enmarcadas en las buenas prácticas agrícolas (BPA) y el manejo integrado de plagas (MIP), teniendo en cuenta los diferentes tipos de control (labores culturales, métodos de muestreo, control biológico, control etológico y control químico racional).



Fotos: Ruy Vargas, Carolina Díaz y Liliana Cely-Pardo
Ilustración: Zahara Lasso

Figura 37. Principales plagas presentes en el cultivo de papa variedad Perla Negra.

Polilla guatemalteca *Tecia solanivora* (Povolny) (Lepidoptera: Gelechiidae)

La polilla guatemalteca es considerada plaga clave de la papa, debido a su alto impacto económico, por el daño directo causado por las larvas al alimentarse exclusivamente de los tubérculos en el cultivo o en almacenamiento, lo que hace que no sea apto para su comercialización en fresco o para semilla, lo que ocasiona altas pérdidas económicas al productor. El daño característico inicial corresponde a galerías superficiales y delgadas, pero a medida que la larva consume el tubérculo se profundiza dejándolo inservible. Otro daño característico es la presencia de orificios circulares con bordes regulares y apariencia "limpia", que hacen las larvas al abandonar el tubérculo para salir a empupar (figura 38) (Herrera, 1997; López-Ávila, 2000; Federación Colombiana de Productores de Papa [Fedepapa], s. f.; López-Ávila & Barreto, 2004; Niño, 2004; Argüelles, Pérez, Barreto, & Espitia, 2012; Porras & Herrera, 2015).



Fotos: Liliana Cely-Pardo

Figura 38. Daño causado en tubérculo por polilla guatemalteca de la papa. a. Larva causando daño; b. Tubérculos con daño severo.

Ciclo de vida

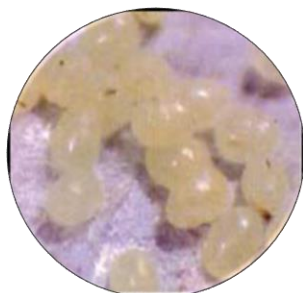


Foto: A. López Ávila

Huevos. Son ovoides casi redondeados, de color blanco aperlado y al madurar se tornan amarillos, miden aproximadamente 0,5 mm. La hembra los coloca en la base de los tallos de la planta, en los ojos de los tubérculos almacenados y sobre terrones y grietas del suelo. Su duración es de 9 a 15 días.

Larva. La larva posee cabeza café oscura y los segmentos del cuerpo bien desarrollados, con tres pares de patas torácicas, cuatro pares de pseudopatas abdominales y un par de patas anales. Presenta cuatro estadios larvales: en el primero son transparentes y miden cerca de 1,3 mm, luego son de color amarillo verdoso y, finalmente, de coloración púrpura por encima y verde por debajo, llegando a medir 14 mm. Presentan pináculos (manchas de café a negras) sobre el dorso en cada segmento, lo que la distingue de las larvas de *Phthorimaea operculella*. La duración del periodo larval de 20 a 30 días.

Foto: Liliana Cely-Pardo





Foto: Liliana Cely-Pardo

Pupa. Es de color café rojizo y se oscurece al madurar, puede medir desde 7,8 a 8,5 mm. Está rodeada de un capullo de seda que se adhiere al tubérculo, a partículas de suelo, a sacos donde se guarda la papa, o paredes y grietas de las bodegas. Cuando las infestaciones son altas se pueden encontrar las pupas dentro del tubérculo. Su duración es de 15 a 23 días.

Adulto. Es una pequeña mariposa de color café grisáceo, con un diseño en el que sobresalen unas bandas longitudinales que se combinan. La hembra mide entre 10 a 13 mm y el macho 9,7 mm, y en sus alas posteriores presentan flecos. Son de hábito nocturno y se refugian en las grietas y terrones del suelo, en la base de las plantas, en residuos de cosecha y en las paredes de las bodegas. Puede vivir entre 21 y 25 días.



Foto: Yuly Sandoval

El ciclo de vida varía entre 65 y 103 días y su duración depende de la temperatura y condiciones ambientales donde se desarrolle (Herrera, 1997; López-Ávila, 2000; Fedepapa, s. f.; López-Ávila & Barreto, 2004; Porras & Herrera, 2015).

Épocas y métodos de muestreo

Teniendo en cuenta que los adultos son atraídos por los cultivos de papa al inicio de la floración y formación de tubérculos (Barreto et al., 2003b; Sánchez, 2003), para el caso de la variedad Perla Negra corresponde a los 42 días después de la emergencia del cultivo (dde) por lo que es recomendable iniciar los muestreos para detectar la presencia de polilla a partir de esta etapa y hasta cosecha.

El seguimiento de los adultos de la plaga se hace a través de trampas con feromona sexual, la cual permite determinar la presencia de los machos en el lote y en almacenamiento. En campo se recomienda colocar mínimo cuatro trampas por hectárea, ubicadas en las esquinas del lote, y a medida que aumenta la población (50 adultos/trampa/semana) se deben duplicar hasta llegar a 16 trampas por hectárea (figura 39). Para identificar el ataque de esta plaga, se aconseja observar directamente el daño en tubérculos (figura 38), especialmente en la etapa de llenado y en cosecha (Barreto et al., 2002).



Fotos: Liliana Cely-Pardo

Figura 39. Trampas con feromona sexual para captura de adultos macho de polilla guatemalteca de la papa. a. Uso de Trampa; b. Disposición en Campo; c. Uso de trampas en almacenamiento.

Recomendaciones de manejo

Medidas preventivas. Evitar siembra en lotes infestados. Rotar los cultivos como estrategia para interrumpir el ciclo biológico del insecto. Eliminar las fuentes de infestación, como residuos de cosecha, papa para consumo abandonada, toyas en los lotes de cultivo y cultivos abandonados. Utilizar semilla sana (Barreto et al., 2003a).

Resistencia varietal. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2008), las variedades resistentes y el uso de mejores prácticas agrícolas pueden reducir o eliminar muchas de las plagas y enfermedades más frecuentes. La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) ha venido realizando investigaciones que buscan encontrar “variedades” de papa con resistencia a polilla guatemalteca. En

condiciones experimentales de laboratorio y almacenamiento, la variedad Perla Negra ha demostrado tener características de resistencia a este insecto plaga.

Experimentos realizados en laboratorio demostraron que Perla Negra afecta de manera significativa a *T. solanivora* en su sobrevivencia y fecundidad. Esto significa que la población de *T. solanivora* que se alimenta sobre Perla Negra tiene una baja capacidad de multiplicarse, y en cada nueva generación su población va disminuyendo, toda vez que la variedad limita la expresión genética de la plaga, afectando su reproducción y prolongando el tiempo de multiplicación del insecto, lo que en términos de manejo del cultivo significa menos generaciones de la plaga y menor número de hembras en un ciclo de cultivo (Cely-Pardo, Sotelo-Cardona, & Barreto-Triana, 2017).

En condiciones de campo, en las pruebas de evaluación agronómica (PEA) realizadas en el año 2013 en el altiplano cundiboyacense (Zipaquirá, Ventaquemada, Lenguazaque, Subachoque, Turmequé y Villapinzón), se evaluaron ocho materiales de papa incluyendo la variedad Perla Negra y el testigo comercial Diacol Capiro. Los resultados mostraron que en Ventaquemada y Subachoque el daño fue bajo, 1 % para Perla Negra y 2 % para Diacol Capiro. Sin embargo, en Tumerqué, Zipaquirá y Villapinzón, el porcentaje de daño fue mayor llegando a 13 %. Es importante resaltar que las condiciones ambientales que se presentaron durante el desarrollo del ensayo favorecieron el desarrollo de la plaga (época de sequía) (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica], 2014).

Para las pruebas semicomerciales, realizadas en el año 2015, en los municipios de Ventaquemada (Boyacá) y Villapinzón (Cundinamarca), nuevamente en Villapinzón la variedad Diacol Capiro presentó el promedio de daño más alto (22,60 %), mientras que en la variedad Perla Negra fue de 4,75 %. Estos resultados demuestran que las condiciones ambientales de cada una de las localidades donde se establecieron las diferentes evaluaciones, determinaron el comportamiento de la presencia de la plaga y el daño, pues en Villapinzón se presentó un ambiente más seco con respecto a la localidad de Ventaquemada (Corpoica, 2016).

Control cultural. Realizar siembra profunda (15 cm) y hacer aporques que cubran la base de los tallos (aporque cruzado o apisonado), para dificultar el acceso del insecto a los tubérculos. Hacer la cosecha de manera oportuna, es decir cuando los tubérculos lleguen a la madurez fisiológica, para evitar ataques tardíos de la plaga (López-Ávila & Barreto, 2004). Para el almacenamiento de la semilla, se debe limpiar y desinfectar la bodega antes de guardarla, y apilar los costales o canastillas sobre estibas (Lucero, 2004).

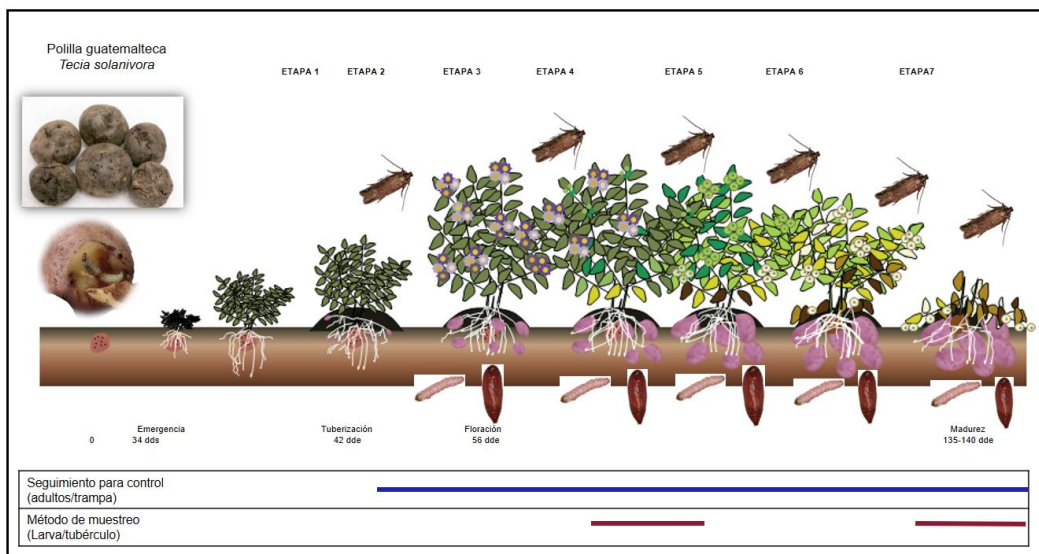
Control químico. Si se ha realizado el control cultural de manera adecuada, se recomienda aplicar productos de síntesis químicas a partir del inicio de tuberización, la cual corresponde al inicio de floración. Si se usan trampas con feromona, se debe tener en cuenta el umbral indicado para realizar las aplicaciones (ICA, 2011).

Se deben emplear insecticidas registrados en el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), que sean específicos para polilla guatemalteca, y preferiblemente insecticidas de categoría toxicológica II y III. El insecticida seleccionado debe ser aplicado en la base del tallo y cerca de las hojas bajas para controlar a los adultos. Es importante tener en cuenta el periodo de carencia del producto utilizado, especialmente cuando se acerca la cosecha, para evitar residuos tóxicos en los tubérculos.

Almacenamiento. Guardar la semilla sana libre de la plaga, preferiblemente en condiciones de silo rústico o guacales plásticos, en un lugar con luz difusa y aireado. El tratamiento de semilla puede ser realizado con productos biológicos a base de *Baculovirus phthorimaea* sin mezclarlo con otros productos químicos, o usar insecticidas químicos en polvo, registrados ante el ICA (ICA, 2011).

Ubicar estratégicamente una o dos trampas con feromonas para detectar y cuantificar la población de la plaga. Revisar y limpiar la bodega con frecuencia. No dejar envejecer la semilla en el almacén (López-Ávila, 2000; Barreto, 2003; López-Ávila & Barreto, 2004; Fedepapa, s. f.; Porras & Herrera, 2015).

En la figura 40 se presenta un esquema con las etapas fenológicas de papa Perla Negra, la presencia de los diferentes estados biológicos de la polilla guatemalteca y el método de muestreo para determinar si es necesario realizar alguna práctica de manejo.



Fotos: Liliana Cely-Pardo y Zahara Lasso
Ilustración: Adaptado por Zahara Lasso e Iván Valbuena de Sadaña (2014)

Elaboró: Cely L. y Lasso Z. 2018

Figura 40. Etapas fenológicas en las que se presenta *Tecia solanivora* en el cultivo, estado biológico de la plaga y método de muestreo.

Gusano blanco de la papa *Premnotrypes vorax* (Hustache) (Coleoptera: Curculionidae)

El gusano blanco de la papa es otra de las plagas importantes que ocasiona pérdidas en el cultivo y almacenamiento, debido al daño que causan las larvas al consumir los tubérculos y así deteriorar su calidad. El daño en el tubérculo se reconoce por la presencia de galerías irregulares superficiales con apariencia de corcho y, a medida que la larva se profundiza, causa destrucción y pudrición interna del tubérculo (figura 41a). Los adultos causan daño en el follaje, caracterizado por roeduras en forma de media luna (figura 41b) (López-Ávila, 2000).

Para la variedad Perla Negra, en las localidades donde se realizaron las pruebas semicomerciales en el año 2015 (Ventaquemada [Boyacá] y Villapinzón [Cundinamarca]), el ataque de gusano blanco solo se presentó en Villapinzón con muy bajo daño para esta variedad (2,5%), mientras que en Diacol Capiro fue cero (Corpoica, 2016).



a.



b.

Fotos: a. Carolina Díaz;
b. Liliana Cely-Pardo

Figura 41. Daños generados por *Premnotrypes vorax*. a. Daño causado por adultos de gusano blanco en follaje; b. Daño causado por larvas en tubérculo.

Ciclo de vida

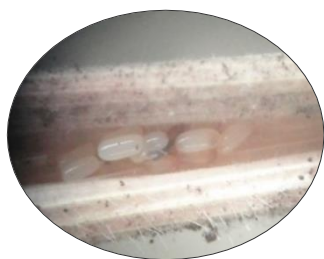


Foto: Ruy Vargas

Huevos. Son depositados por la hembra dentro de tallos secos de gramíneas y residuos de cosecha. Son cilíndricos, con un tamaño entre 1,12 a 1,25 mm; inicialmente tienen coloración blanca y, a medida que maduran, se tornan color ámbar. Su duración varía entre 20 y 35 días.



Foto: Yuly Sandoval

Pupa. Después de que la larva abandona el tubérculo, se entierra en el suelo a unos 15 cm y forma una cámara pupal con tierra, donde se transforma en pupa que es de color blanco. Su desarrollo dura entre 15 a 30 días.

Larva. Tienen el cuerpo en forma de 'C', no poseen patas, son de color blanco cremoso y la cabeza oscura, fácilmente diferenciable. Durante su desarrollo pasa por cinco estadios larvales; su tamaño va desde 1,12 hasta 13 mm y su duración es de 35 a 50 días

Foto: Liliana Cely-Pardo



Adulto. Es un gorgojo pequeño que mide entre 5 y 7 mm de largo y 2 a 4 mm de ancho. Presenta coloración que varía entre café rojizo, pardo oscuro y negro, fácilmente se confunde con un terrón. Durante el día permanecen en la base de los tallos y en las noches son muy activos, se desplazan a lotes nuevos o se alimentan del follaje haciendo daño en los bordes en forma de media luna. Los adultos pueden vivir de seis meses a un año.

Foto: Carolina Díaz.

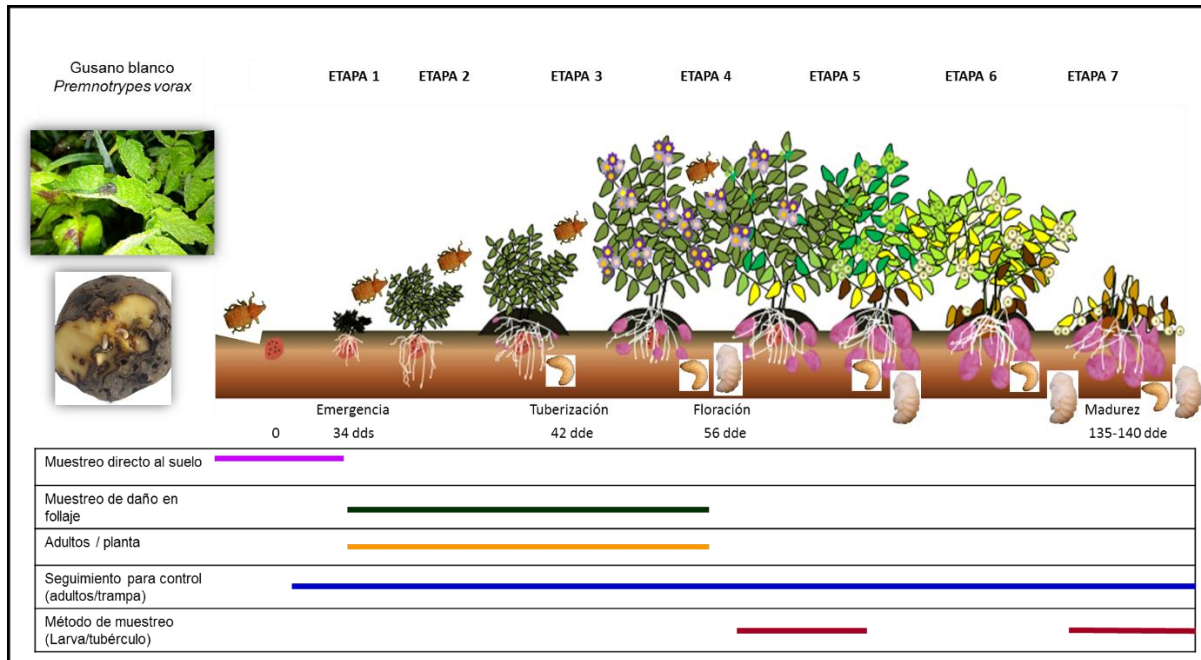


El ciclo de vida del gusano blanco, desde huevo hasta adulto, varía entre 85 y 170 días; los adultos pueden vivir hasta un año, dependiendo de la altitud, humedad del suelo y disponibilidad de alimento (Herrera, 1997; López-Ávila, 2000; Sánchez, Londoño, Peña, & Espitia, 2000).

Épocas y métodos de muestreo

Los muestreos se deben realizar desde la emergencia del cultivo y hasta la cosecha, que para la variedad Perla Negra corresponde a 34 días después de la siembra. Se recomienda hacer observación directa de los diferentes estados biológicos de la plaga, para detectar la presencia de adultos o larvas en el suelo antes de la siembra (Gallegos y Avalos, 1995). Para identificar el ataque de los adultos de esta plaga, se debe observar directamente el daño en el follaje, que se caracteriza por roeduras en forma de media luna y se manifiesta desde la formación de brotes (para Perla Negra, 34 dds) hasta la aparición del órgano floral (para Perla Negra, 56 dde) (figura 42). El uso de trampas, de caída o de paso, es un buen método indicador de la presencia de la plaga en el cultivo; estas deben ubicarse cada 10 metros alrededor del lote. El umbral de acción o control se alcanza cuando se capturan 15 adultos o más/trampa/semana (Pérez-Álvarez; Argüelles-Cárdenas, & Garramuño, 2010).

En la figura 42 se presenta un esquema con las etapas fenológicas de papa Perla Negra, la presencia de los diferentes estados biológicos de gusano blanco y el método de muestreo para determinar si es necesario realizar alguna práctica de manejo.



Fotos: Liliana Cely-Pardo
 Ilustración: Adaptado por Zahara Lasso e Iván Valbuena de Sadaña (2014)

Figura 42. Etapas fenológicas en las que se presenta *Premnotrypes vorax* en el cultivo, estado biológico de la plaga, época y método de muestreo.

Recomendaciones de manejo

No se debe sembrar en lotes recién cosechados que hayan presentado infestación por gusano blanco. Además, se recomienda rotar los cultivos, como estrategia para interrumpir el ciclo biológico del insecto; así como eliminar las fuentes de infestación, como son los residuos de cosecha, papa para consumo abandonada, toyas en los lotes de cultivo y cultivos abandonados (Peña, 2000). Se aconseja utilizar semilla sana, libre de la plaga, así como instalar cultivos trampa, lo que consiste en sembrar en el contorno del lote tres surcos de papa susceptible, 20 días antes del cultivo principal (Sánchez et al., 2000; Peña, 2000).

Durante el desarrollo del cultivo es necesario controlar las malezas hospederas de la plaga, como la "lengua de vaca" *Rumex* sp. y el corazón herido *Poligonum empalense*. Se debe realizar aporque alto, con el objeto de crear una barrera

física entre la larva recién nacida y el tubérculo (Peña, 2000). Igualmente, hacer seguimiento de las poblaciones de adultos en los lotes, mediante el uso de trampas de paso o de caída (figura 43), que se colocan en los bordes para establecer la presencia de adultos de gusano blanco.

El uso de trampas de paso con insecticida también permite la detección de la plaga en el lote. Estas se construyen con cartón o empaques viejos de fique, debajo de los cuales se ubican plantas de papa o trozos de tubérculo con insecticida químico o biológico, y se localizan alrededor del lote. Si no se emplea insecticida, los adultos se tienen que recolectar en forma manual. Las trampas se deben revisar cada ocho días, para contar el número de adultos por trampa, y proceder a reemplazar el cebo. Al igual que con las trampas de caída, cuando las poblaciones son mayores de 15 adultos por recipiente, se aconseja aplicar el producto químico, empezando por los sitios donde se encontró la plaga (Pérez et al., 2010).



Fotos: Liliana Cely-Pardo

Figura 43. Trampas para seguimiento de adultos de gusano blanco. a. Trampa de paso; b. Trampa de caída.

Las trampas de caída son recipientes plásticos que se llenan hasta la mitad con agua y jabón, se entierran a nivel del suelo a una distancia de 10 metros entre una y otra; encima se les coloca una malla con un pedazo de planta o tubérculo para atraer los adultos de la plaga y se tapan con cartón para proteger la boca del recipiente. Cada ocho días se deben realizar conteos de los adultos de gusano blanco, y cuando las poblaciones sean mayores a 15 adultos por recipiente, se

recomienda aplicar el producto químico, empezando por los sitios donde se encontró la plaga (Pérez et al., 2010).

Estudios recientes demostraron que el uso de trampas, colocadas cada 10 m en bordes del lote y entre surcos, permite la toma de decisiones y manejo oportuno de la plaga al localizar los focos (sitios de mayor presencia de adultos capturados), lo que facilita hacer un manejo racional, porque la aplicación del insecticida es localizada y permite un ahorro frente a la aplicación generalizada en todo el lote (Espitia et al., 2017)

El control químico se debe emplear siempre y cuando se observe la presencia de poblaciones de adultos en los lotes de papa, y la aplicación se tiene que dirigir a la base del tallo durante la emergencia del cultivo, antes de la primera deshierba y durante el aporque. Se recomienda el uso de insecticidas registrados por el ICA, que sean específicos para gusano blanco, y preferir los de categoría toxicológica II y III. Asimismo, se debe realizar la cosecha oportuna, es decir, cuando los tubérculos lleguen a la madurez fisiológica, para evitar ataques tardíos de la plaga.

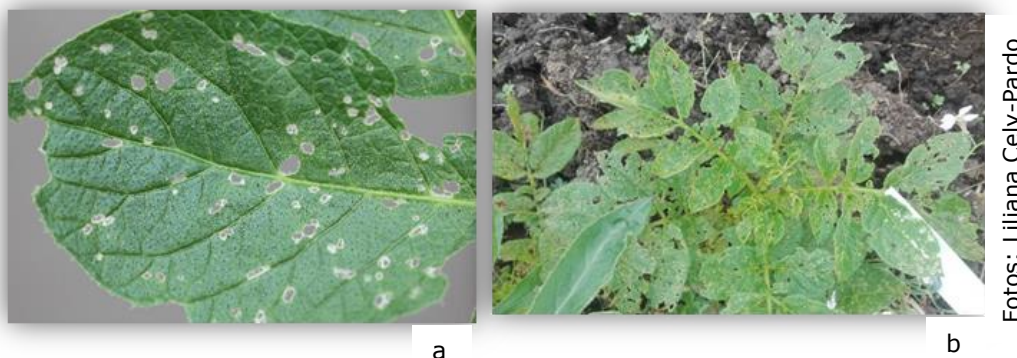
Se recomienda almacenar semilla sana, libre de la plaga, preferiblemente en condiciones de silo rústico o guacales plásticos, en un lugar con luz difusa y aireado; así como revisar y limpiar la bodega con frecuencia y no dejar envejecer la semilla en el almacén (Sánchez et al., 2000; Peña, 2000).

Pulguilla *Epitrix cucumeris* Harris, 1851 (Coleoptera: Chrysomelidae)

El daño es ocasionado principalmente por los adultos que se alimentan de los cogollos de las plantas, y se caracteriza por la presencia de pequeños huecos circulares en las hojas. Ataques fuertes pueden causar la defoliación de las plantas y evitar el establecimiento del cultivo, principalmente en época de sequía; las hojas afectadas se pueden secar y reducir su capacidad fotosintética (figura 45). Las larvas también ocasionan daño al alimentarse de estolones,

raíces y al hacer raspaduras o minas superficiales sobre los tubérculos. Generalmente atacan en época seca y en las primeras semanas después de la emergencia del cultivo. (López-Ávila, 2000; Corzo, Moreno, Franco, & Fierro, 2003; Fedepapa, 2005; Porras & Herrera, 2015).

La pulguilla es una de las principales plagas que afectan el follaje del cultivo de papa; sin embargo, en las diferentes localidades donde se realizaron las pruebas de evaluación agronómica y pruebas semicomerciales en los años 2013 y 2015 respectivamente, el daño no fue de gran importancia para la variedad Perla Negra (Corpoica, 2014, 2016).



Fotos: Liliana Cely-Pardo

Figura 44. Daño causado en follaje por pulguilla de la papa. a. Daño detallado en hoja; b. Daño severo en planta.

Ciclo de vida



Foto: Janeth Español

Huevos. Son ovalados, microscópicos y blanquecinos. Los colocan en el suelo individuales o en grupos, cerca de las raíces y los tubérculos. Tienen una duración de 5 a 7 días.

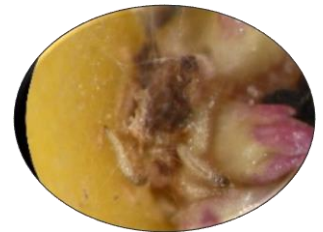


Foto: Janeth Español

Pupa. Son de color blanco, miden de 6 a 8 mm y se encuentran en el suelo, dentro de la corteza de los árboles o bajo las piedras. Tiene una duración de 4 a 8 días.

Larva. Es de color blanco crema, con una longitud de 2 mm. Se alimenta de las raicillas de las plantas de la papa y de las malezas, en ocasiones minan superficialmente los tubérculos causando pudriciones secundarias. Tiene una duración de 14 a 28 días.

Foto: Janeth Español



Épocas y métodos de muestreo

La época de mayor ataque es en la emergencia del cultivo hasta la aparición del órgano floral; y para la variedad Perla Negra corresponde al periodo entre los 34 días después de la siembra (dds) hasta los 56 días después de la emergencia (dde) del cultivo.

Adulto. Los adultos son pequeños cucarrones de color negro a café brillante, miden entre 2 y 3 mm, poseen fémures traseros bien desarrollados y adaptados para saltar. Su longevidad oscila entre 45 y 199 días.

Foto: Carolina Díaz.



Los métodos de muestreo empleados son la observación directa del número de adultos por cogollo: un adulto/cogollo. Se aconseja la captura de adultos con red entomológica o jama: 10 adultos/10 pases dobles de jama. Los pases de jama se deben repetir cuatro veces en diferentes lugares del lote y se tiene que calcular un

promedio del número de adultos capturados. Es aconsejable hacer las evaluaciones recorriendo el lote en zigzag (Fedepapa, s. f.). También se puede realizar evaluación directa de daño: 10 % de área foliar afectada (figura 45).

Si se llega a estos niveles de número de adultos o área foliar afectada, se justifica la aplicación de algún insecticida aprobado por el ICA para esta plaga. Es importante controlar la primera generación, porque la larva de la segunda generación se produce entre la época de formación y maduración de los tubérculos, sobre los cuales se puede causar daño directo cuando se alimentan (ICA, 2011).

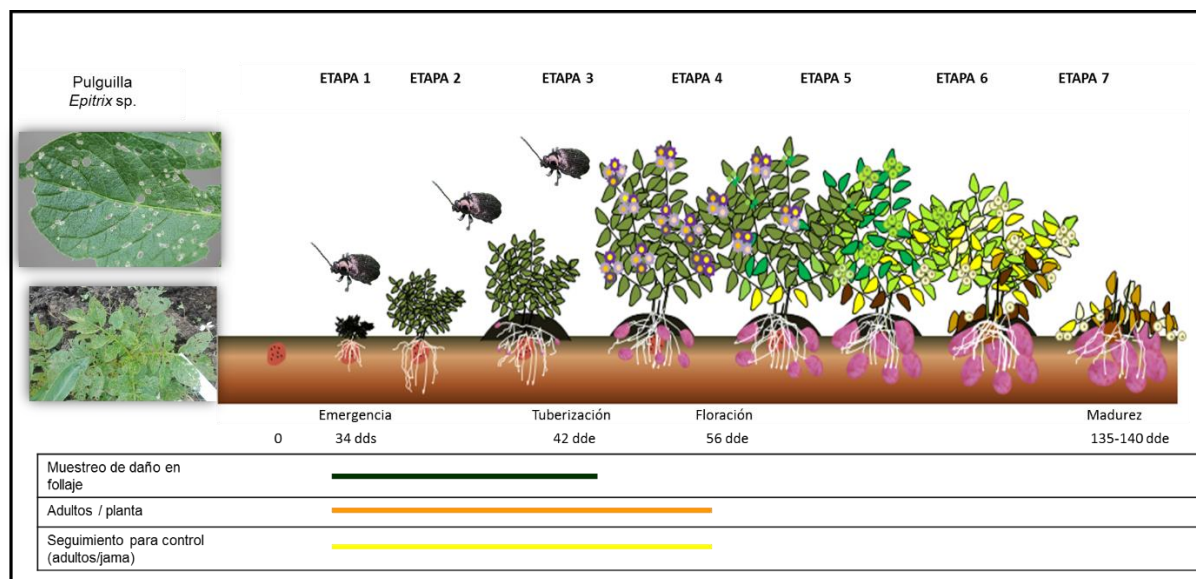
Recomendaciones de manejo

Medidas preventivas. Se aconseja hacer rotación de cultivos con cebada, avena y haba, entre otros; así como realizar buen control de las arvenses y aplicar riego.

Control químico. El control de los adultos debe realizarse una vez alcanzados los niveles de población o daño, especialmente entre emergencia del cultivo y hasta un mes después. Se deben utilizar productos de baja toxicidad, registrados ante el ICA.

Observación. Las aplicaciones dirigidas al control del gusano blanco y otras plagas habitantes del suelo también controlan las larvas y los adultos de pulguilla (Fedepapa, s. f.; ICA, 2011; Porras & Herrera, 2015).

En la figura 45, se presenta un esquema con las etapas fenológicas de papa Perla Negra, la presencia pulguilla y el método de muestreo, para determinar si es necesario realizar alguna práctica de manejo.



Fotos: Liliana Cely-Pardo
 Ilustración: Adaptado por Zahara Lasso e Iván Valbuena de Sadaña (2014)

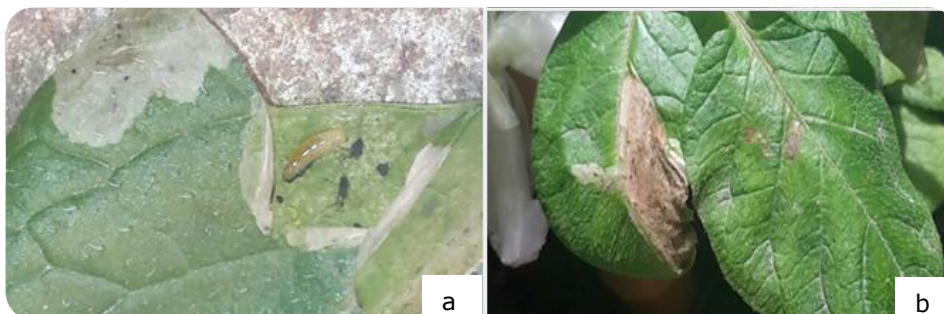
Figura 45. Etapas fenológicas en las que se presenta *Epitrix* sp. en el cultivo. Estado biológico de la plaga, época y método de muestreo.

Tostón o minador *Liriomyza quadrata* Malloch. (Diptera: Agromyzidae)

Este insecto también es conocido como mosca minadora, entretelado o mosco. El principal daño es causado por las larvas al alimentarse del contenido celular de los folíolos, formando minas o galerías, donde se puede observar la larva y el excremento a través de la epidermis translúcida. Cuando las minas se secan se ve la hoja quemada o tostada (figura 46). Las hembras también hacen daño por las picaduras que realizan para alimentarse y para depositar los huevos. Si el ataque ocurre en el periodo de formación y llenado de tubérculos, se afecta sustancialmente el rendimiento del cultivo. Las épocas secas prolongadas favorecen altas poblaciones del insecto y, por el contrario, la lluvia o el riego lo afectan negativamente (López-Ávila, 2000; Corzo et al., 2003; Fedepapa, s. f.).

En la variedad Perla Negra, para las localidades donde se realizaron las pruebas de evaluación agronómica y pruebas semicomerciales en los años 2013 y 2015

respectivamente, hubo baja presencia de la mosca minadora, con bajos porcentajes de daño (Corpoica, 2014, 2016).



Fotos: Liliana Cely-Pardo

Figura 46. Daño causado en follaje por minador o tostón de la papa. a. Larva de minador; b. Minas en follaje.

Ciclo de vida



Foto: Janeth Español.

Huevos. Son puestos por las hembras, individualmente, en el envés de las hojas, muy próximos a la nervadura central. Son ovalados, de color blanco o translúcido, y su tamaño es de 0,29 mm; su duración es de 6 a 8 días.

Larvas. Son de color cremoso y al desarrollarse se tornan de coloración amarillenta; miden cerca de 3 mm, son cilíndricas y alargadas, ápodas y acéfalas; su duración varía entre 13 v 20 días.

Foto: Janeth Español





Foto: Janeth Español

Pupa. La pupa es pequeña. Inicialmente es amarilla y se torna café. Se puede encontrar adherida en el envés de la hoja o en el suelo.

Adultos. Son pequeños mosquitos de color negro, con manchas amarillas en la parte dorsal y lateral del tórax, en el fémur y en la cabeza. Son activos en las horas de mayor calor.

Foto: Carolina Díaz



La duración del ciclo del minador, desde huevo hasta adulto, puede durar entre 24 y 34 días (López-Ávila, 2000; Porras & Herrera, 2015).

Épocas y métodos de muestreo

La época de mayor ataque del minador es entre la formación de brotes laterales, que para el caso de Perla Negra corresponde a los 45 dde y hasta la formación de frutos o bayas (81 dde), por lo tanto, es en este periodo que se debe enfocar el muestreo y control.

Existen varios métodos para determinar la presencia de adultos y/o daño de larvas; se recomienda recorrer el lote en zigzag para la evaluación. Un buen método de captura y detección de adultos de minador es el uso de trampas amarillas pegajosas (50 cm x 50 cm o de 30 cm x 40 cm), elaboradas con plástico y pegamento, ubicadas a la altura del follaje en diferentes sitios del lote, para detectar la presencia de la población de adultos de la mosca minadora y a su vez controlarla (figura 46) (Corzo et al., 2003).

Se aconseja, además, realizar una observación directa del número de adultos/planta (figura 47) o número de adultos/jama o red entomológica. Para el muestreo con red entomológica se estableció como umbral para aplicar medidas de control: antes de floración 15 adultos/10 pases dobles de jama; después de floración, 20 adultos/10 pases dobles de jama (Fedepapa, s. f.).

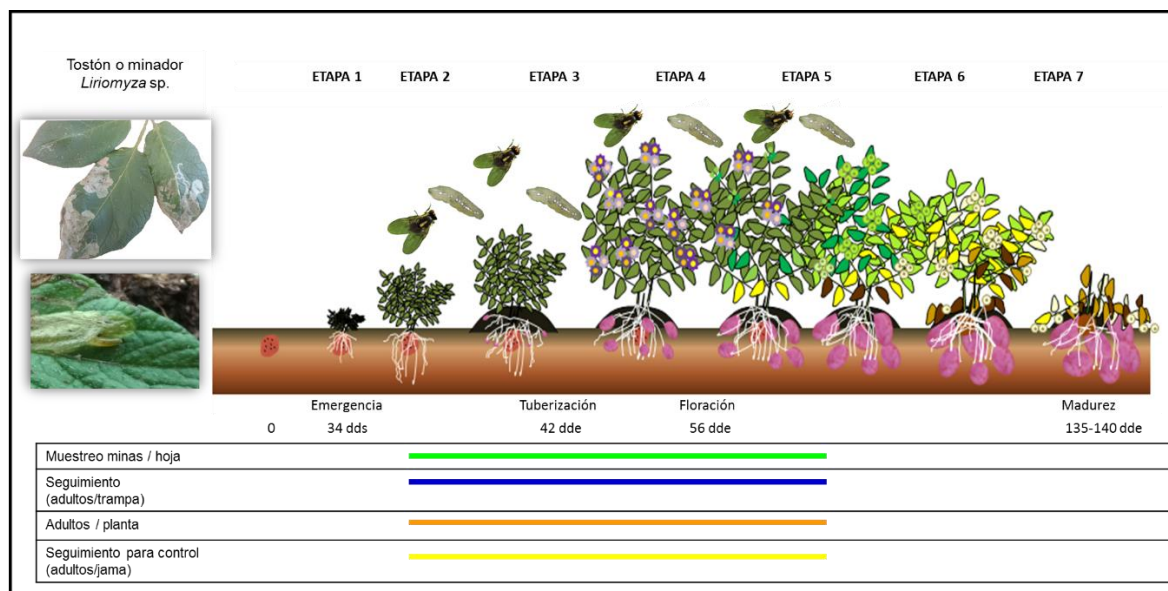


Foto: Carlos Sosa Hernández

Figura 47. Trampas amarillas pegajosas para control y seguimiento de adultos de minador o tostón.

Se debe observar el número de minas/hoja para cuantificar el porcentaje de área foliar con daño; si es igual a 20 % requiere control. De cualquier modo, es importante evitar que el daño llegue al tercio medio de la planta antes de floración (Centro Internacional de la Papa [CIP], 1996).

En la figura 48, se presenta un esquema con las etapas fenológicas de papa Perla Negra, la presencia de los diferentes estados biológicos del mimador y el método de muestreo, para determinar si es necesario realizar alguna práctica de manejo.



Fotos: Liliana Cely-Pardo
Ilustración: Adaptado por Zahara Lasso e Iván Valbuena de Sadaña (2014)

Figura 48. Etapas fenológicas en las que se presenta *Liriomyza* spp. en el cultivo, estado biológico de la plaga y método de muestreo.

Recomendaciones de manejo

Medidas preventivas. Se aconseja controlar las arvenses hospederas alternas, como la hierba mora (*Solanum nigrum*) y las guascas (*Galinsoga* sp.), así como recolectar los residuos de cosecha.

Control cultural. Es necesario realizar la rotación de cultivos, y llevar a cabo una fertilización adecuada según el análisis de suelo.

Control etológico. Se tienen que usar trampas amarillas pegajosas para la captura de los adultos. Estas se deben ubicar a la altura del follaje (60 cm aprox.), en diferentes sitios del lote, a una distancia de 10 m.

Control químico. Se recomiendan insecticidas que tengan registro ICA para su uso en el cultivo de la papa y contra esta plaga, de preferencia los de Categoría toxicológica II y III, de acuerdo con el comportamiento del insecto y según los umbrales ya mencionados. Las aplicaciones deben ser dirigidas hacia los adultos

y las larvas. Para el control de larvas se deben usar insecticidas de acción translaminar y sistémico.

Complejo de chisas *Ancognatha scarabaeoides* (Burmeister), *A. ustulata* (Burmeister), *Clavipalpus ursinus* (Blanchard) (Coleoptera: Melolonthidae)

Otros nombres: cucarrones de mayo o cuaresmeros, chisas, gallinas ciegas, mojojeyes, cuzos, morrongos.

Son cucarrones de diferentes especies, de tamaños y formas variadas, conocidos como cucarrones de mayo o cuaresmeros. Las larvas o chisas se desarrollan dentro del suelo, y se alimentan de materia orgánica, raíces, estolones, y ocasionalmente causan daño a los tubérculos mediante roeduras que forman huecos grandes e irregulares. La especie predominante en altitudes por encima de los 2.500 m s. n. m. es *A. scarabaeoides* (Sánchez et al., 2000).

Aunque las chisas no representan un problema muy relevante en los cultivos de papa en el país, en las parcelas semicomerciales de Perla Negra, realizadas en 2015 en Ventaquemada y Villapinzón, se observó daño. En Ventaquemada se presentó daño del 6,55 % para Perla Negra, mientras que para Diacol Capiro fue mayor al 9,40 %. En Villapinzón los resultados fueron diferentes, la variedad Diacol Capiro presentó un bajo promedio de daño (2 %) y la variedad Perla Negra tuvo un daño superior a 5,30 % (Corpoica, 2016).

Ciclo de vida



Foto: Martha Londoño

Huevos. Son de color blanco perla o ligeramente amarillos, inicialmente elongados y posteriormente esféricos, con una longitud de 1,5 a 2 mm., son depositados por la hembra en el suelo. El periodo de incubación es de 30 días.

Larva. Son de color blanco, en forma de C, con mandíbulas grandes bien desarrolladas y con tres pares de patas torácicas. El último instar larval es el de mayor voracidad. Alcanza a medir unos 50 mm de largo. Esta etapa tiene una duración de siete meses.

Foto: Martha Londoño.



Foto: Martha Londoño

Pupa. Las pupas que son exaratas o descubiertas, están protegidas con una cámara pupal, elaborada en tierra y excretas, construida mediante la compactación que la larva hace con movimientos circulares. Esta etapa tiene una duración de cuatro meses.

Adultos. Son cucarrones de tamaño y color variado, de acuerdo a la especie. Miden en promedio de 20 a 25 mm de longitud; las hembras son de mayor tamaño que los machos. Aparecen generalmente cuando inician las lluvias (marzo-

Foto: Carolina Díaz



El ciclo de vida desde huevo a adulto puede durar entre un año a 18 meses (Sánchez et al., 2000; Fedepapa, s. f.)

Épocas y métodos de muestreo

El muestreo se debe realizar antes de la siembra, en tuberización y en madurez fisiológica de la papa con el fin de detectar larvas en el lote (figura 49). La observación es directa y se tiene que hacer la captura manual. También se pueden llevar a cabo capturas de adultos mediante el uso de trampas de luz negra o amarilla (Fedepapa, s. f.).

Recomendaciones de manejo

Para el manejo se deben considerar las etapas fenológicas en las que se presenta el complejo de chizas en el cultivo (figura 49).

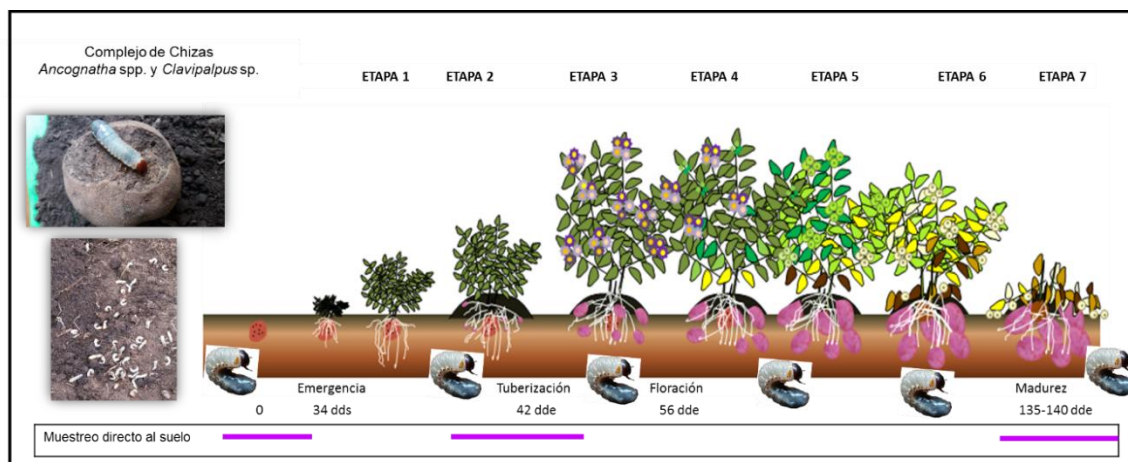
Medidas preventivas. La preparación de suelos debe ser antes de la siembra, para exponer las larvas a condiciones adversas. Igualmente, es necesario hacer rotación de cultivos y control de arvenses, principalmente de gramíneas, antes de la siembra (Peña, Bolaños, Lucero y López, 2003).

Control mecánico. Es necesario llevar a cabo la recolección de cucarrones, antes de que coloquen los huevos en el suelo, así como la recolección de larvas, al momento de la preparación del lote o en el momento del aporque, para reducir las poblaciones del insecto.

Control etológico. Se aconseja el uso de trampas de luz en las épocas de lluvia, las cuales se deben ubicar en los lotes infestados y en las viviendas, durante las épocas de lluvia. Las trampas de luz convencional o de bombillo, y las de luz ultravioleta, son útiles en la detección de los escarabajos en campo, y permiten conocer el momento de llegada de los adultos a los lotes (Peña & Lucero, 2003).

Control biológico. Aplicación del hongo *Metarhizium anisoplae* como método de control de *A. scarabaeoides* (Peña & Lucero, 2003; López-Ávila, 2002).

Control químico. Según la historia del lote y la presencia de chizas, se recomienda el uso de insecticidas específicos para el control de la plaga, registrados ante el ICA. Estos se deben aplicar al momento de la siembra y el aporque, incorporándolos al suelo (Sánchez et al., 2000; Fedepapa, s. f.).



Fotos: Martha Londoño y Carolina Díaz
Ilustración: Adaptado por Zahara Lasso e Iván Valbuena de Sadaña (2014)

Figura 49. Etapas fenológicas en las que se presenta el complejo de chizas en el cultivo, estado biológico de la plaga y método de muestreo.

Recomendaciones generales

En la figura 50 se presenta, de manera resumida, la época y método de muestreo de cada insecto plaga, de acuerdo con el estado fenológico del cultivo de papa Perla Negra. El manejo integrado de plagas y las Buenas prácticas agrícolas están muy relacionadas, y buscan prevenir y manejar las plagas de forma que haya menor impacto de las diferentes prácticas sobre el ambiente, la salud de los trabajadores y principalmente la obtención de cosechas de buena calidad medida en la inocuidad, es decir tubérculos sin residuos de plaguicidas. Para esto, tanto el ICA como la Federación Colombiana de productores de papa (Fedepapa) y la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Económico Gobernación de Cundinamarca (2008), recomiendan una serie de prácticas que permiten valorar lo administrativo, el impacto ambiental, el manejo integrado del cultivo (uso de semillas, fertilización, manejo de suelos y agua, labores culturales, plagas, enfermedades y malezas, manejo de plaguicidas), la cosecha, la poscosecha, el mercadeo y los aspectos sociales.

Algunos criterios importantes que aplican para el manejo de las diferentes plagas, antes de establecer el cultivo y durante el desarrollo de este son:

- Conocer el historial del lote (ello permite prevenir o manejar adecuadamente las plagas que se presenten).
- Rotar los cultivos con pastos u hortalizas (no más de dos ciclos seguidos de cultivo de papa).
- Contar con criterios de decisión para la aplicación de control químico, basado en el nivel de población o daño de la plaga, después de haber aplicado otras medidas de manejo.
- Aplicar plaguicidas solo cuando se observe daño o presencia de la plaga, y no aplicar sin presencia de la plaga.
- Usar plaguicidas de categoría toxicológica II y III, según la Norma Andina, registrados ante el ICA, para el cultivo y la plaga.

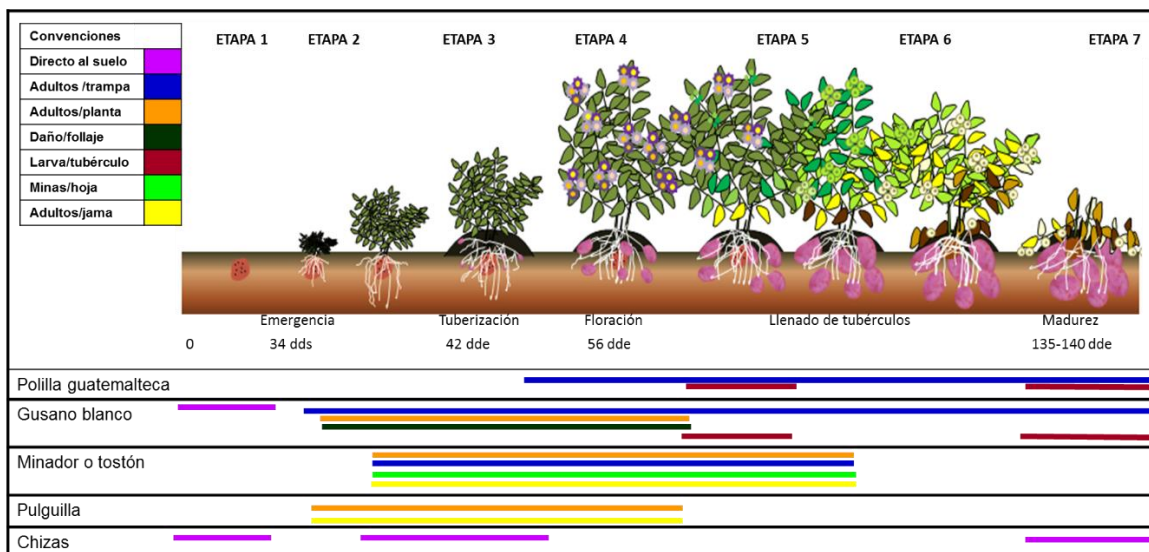


Ilustración: Adaptado por Zahara Lasso e Iván Valbuena de Sadaña (2014)

Figura 50. Época y método de muestreo de cada insecto plaga, de acuerdo con el estado fenológico del cultivo de papa Perla Negra.

Referencias

Argüelles, J., Pérez, R., Barreto, N., & Espitia, E. (2012). *La vigilancia de las poblaciones de gusano blanco (Premnotrypes vorax) y Polilla Guatemalteca (Tecia solanivora): una herramienta útil para su manejo en el cultivo de la papa*. Mosquera, Cundinamarca, Colombia: Corporación

- Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) y Asociación Hortifrutícola de Colombia (Asohofrucol).
- Barreto, N. (2003). Estudios bioecológicos de la polilla guatemalteca de la papa *Tecia solanivora* (Lepidóptera: Gelechiidae) en el altiplano cundiboyacense colombiano. En A. López-Ávila (Ed.), *Memorias del III Taller Internacional sobre la polilla guatemalteca de la papa Tecia solanivora*. Cartagena de Indias: Corpoica y Centro Internacional de la Papa.
- Barreto, N., Espitia, E., Galindo, R., Gordo, E., Cely, L., Martínez, L., ... Lozano, F. (2003a). Estudios de fluctuación de poblaciones la polilla guatemalteca *Tecia solanivora* (Lepidóptera: Gelechiidae) en tres intervalos de altitud en Cundinamarca y Boyacá. En Corpoica (Ed.), *Memorias del II Taller Nacional de Tecia solanivora, "Presente y futuro de la investigación en Colombia sobre polilla guatemalteca"*. Bogotá (Colombia): Centro de Desarrollo Tecnológico de la Cadena Agroalimentaria de la Papa (Cevipapa), Consejo Nacional de Producción (CNP), Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (Andi), Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Barreto, N., Espitia, E., Galindo, R., Gordo, E., Cely, L., Sánchez, G., & López-Ávila, A. (2002). Fluctuación de la población de *Tecia solanivora* Povolny, (Lepidoptera: Gelechiidae) en tres intervalos de altitud en Cundinamarca y Boyacá, Colombia. En A. Pollet, G. Onore, F. Chamorro, & A. Barragán (Eds.), *Memorias del II Taller internacional de polilla guatemalteca de la papa, (Tecia solanivora). Avances en investigación y manejo integrado de la plaga*. Quito, Ecuador: Pontificia Universidad Católica de Ecuador.
- Barreto, N., Espitia, E., Galindo, R., Sánchez, M., Suárez, A., & López-Ávila, A. (2003b). Determinación de parámetros reproductivos y hábitos de *Tecia solanivora* (Povolny 1973) (Lepidóptera: Gelechiidae) en condiciones de laboratorio y campo. En *Memorias del II Taller Nacional, "Presente y futuro de la investigación en Colombia sobre polilla guatemalteca"*. Bogotá, Colombia: Centro de Desarrollo Tecnológico de la Cadena Agroalimentaria de la Papa (Cevipapa), Consejo Nacional de Producción (CNP), Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (Andi), Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

- Cely-Pardo, N. L., Sotelo-Cardona, P., & Barreto-Triana, N. (2017). Efecto antibiótico de accesiones de la colección central colombiana de papa sobre *Tecia solanivora* Povolný (Lepidoptera: Gelechiidae) en laboratorio. En *Memorias del X Congreso de la SEEA*. Logroño, España: Sociedad Española de Entomología Aplicada (SEEA).
- Centro Internacional de la papa [CIP]. (1996). *Principales enfermedades, nematodos e insectos de la papa*. Lima, Perú: Centro Internacional de la Papa.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). (2014). *Una variedad de papa para uso industrial con tolerancia a gota y alto rendimiento para el altiplano cundiboyacense* (Informe final de meta). Mosquera, Cundinamarca, Colombia: Corpoica.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). (2016). *Una variedad de papa de doble propósito para consumo fresco e industria* (Informe final de meta). Mosquera, Cundinamarca, Colombia: Corpoica.
- Corzo, P., Moreno, J. D., Franco, B., & Fierro, L. H. (2003). *Manual de papa para productores*. Bogotá, Colombia: Corpoica y MADR.
- Espitia, E., Barreto, N., Cely, L., Wilches, W., Ospina, E., Sosa, C., ... Mesa, P. (2017). *Insectos plaga en el cultivo de papa y su manejo. Contribuyendo con la sostenibilidad del cultivo de papa de Cundinamarca para Colombia. Componente sanidad*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Corpoica, Gobernación de Cundinamarca y Alcaldía de Bogotá.
- Federación Colombiana de Productores de Papa (Fedepapa) & Secretaría de Agricultura y Desarrollo Económico de la Gobernación de Cundinamarca. (2008). *Manual de protocolo interno de buenas prácticas agrícolas para el sistema productivo papa criolla*. Bogotá, Colombia: Fedepapa.
- Federación Colombiana de Productores de Papa (Fedepapa). (s. f.). *Guía para el cultivo de papa*. Bogotá, Colombia: Autor.
- Gallegos, P., & Avalos, G. (1995). Control integrado de *Premnotrypes vorax* (Hustache) mediante manejo de la población de adultos y control químico en el cultivo de la papa. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 7(8), 55-60.
- Herrera, F. (1997). *La polilla guatemalteca: biología, comportamiento y prácticas de manejo integrado*. Bogotá, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2011). *Manejo fitosanitario del cultivo de la papa (Solanum tuberosum subsp. andigena y S. phureja). Medidas para la temporada invernal*. Bogotá, Colombia: ICA.
- López-Ávila, A. (2000). Insectos plaga del cultivo de la papa en Colombia y su manejo. *Papas colombianas 2000, con el mejor entorno ambiental*. 25 años Fedepapa. *Ventana al Campo Andino*, 3(1-2), 152-159.
- López-Ávila, A. (2002). Control biológico como componente fundamental del MIP: Origen, definiciones y conceptos básicos. En A. López-Ávila (Ed.), *Memorias del I Curso-taller internacional. Control biológico: Componente fundamental del manejo integrado de plagas en una agricultura sostenible* (2.ª Ed.). Bogotá, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Programa Nacional de Manejo Integrado de Plagas.
- López-Ávila, A., & Barreto, N. (2004). *Generación de componentes tecnológicos para el manejo integrado de la Polilla Guatemalteca de la papa Tecia solanivora (Povolny) con base en el conocimiento de la biología, comportamiento y dinámica de población de la plaga* (Informe técnico). Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria (Pronatta).
- Niño, L. (2004). Revisión sobre la polilla de la papa *Tecia solanivora* en Centro y Suramérica. Suplemento *Revista Latinoamericana de la Papa* 1, 4-22.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2008). *Año internacional de la papa. América Latina*. Recuperado de http://www.potato2008.org/es/mundo/america_latina.html.
- Peña, L. (2000). Gusanos blancos de la papa biología y manejo. *Innovación y Cambio Tecnológico*, 2, 29-33.
- Peña, L., & Lucero, A. (2003). *Manejo integrado de chisas en el departamento de Nariño* (Boletín divulgativo N.º 19). Pasto, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria (Pronatta), Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

- Peña, L., Bolaños, M., Lucero, A., & López, H. (2003). *Investigación para el manejo integrado de chisas en fincas de minifundio en los municipios de Yacuanquer y Ospina del departamento de Nariño*. Boletín técnico N°3. San Juan de Pasto – Colombia.
- Pérez-Álvarez, R., Argüelles-Cárdenas, J., & Garramuño, E. (2010). Distribución espacial de *Premnotrypes vorax* (Hustache) (Coleoptera: Curculionidae) en cultivos de papa. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 11(1), 11-20. Doi:10.21930/rcta.vol11_num1_art:190
- Porras, P., & Herrera, C. (2015). *Modelo productivo de la papa criolla para los departamentos de Cundinamarca y Boyacá*. Mosquera, Cundinamarca, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Sánchez, G., Londoño, M., Peña, L., & Espitia, E. (2000). Manejo integrado de plagas. En Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) (Ed.), *Manejo integrado del cultivo de la papa: manual técnico*. Mosquera, Cundinamarca, Colombia: Corpoica.
- Sánchez, J. (2003). *Determinación de las etapas críticas en el desarrollo fenológico del cultivo de la papa criolla Solanum phureja frente al ataque de la polilla guatemalteca Tecia solanivora* (Lepidóptera: Gelechiidae) (Tesis). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, Bogotá, Colombia.
- Sandaña, P. A. (2014). Manejo del riego. Recuperado de <http://manualinia.papachile.cl/?page=consumo&ctn=65>

Capítulo XII

Transformación

Parámetros de calidad: materia seca, gravedad específica y azúcares reductores

Según Palacios, Jaramillo, González y Cotes (2008), la industria de la papa ha definido claramente las características que debe poseer un tubérculo para su procesamiento industrial, lo que la lleva a preferir algunas de las variedades que habitualmente siembran los agricultores. En la actualidad, la demanda industrial se ha concentrado en más del 70 % en la variedad Diacol Capiro.

El valor de mercado que obtienen los productores de papa para la industria se basa en una combinación de rendimiento y factores de calidad del tubérculo (Davenport, 2000). Las características de especial interés para el procesamiento incluyen: un bajo contenido de azúcares reductores (glucosa y fructosa) y una alta gravedad específica.

Según Talburt y Smith (1967), existe un rango óptimo de gravedad específica de la papa para la industria, este rango depende del porcentaje y la densidad de la materia seca y del porcentaje de aire en los tejidos; la industria procesadora de *chips* requiere tubérculos con valores de gravedad específica mayores a 1,090; en el mismo sentido, Guenthner (2001) menciona que valores menores a 1,078 son penalizados por la industria, mientras que valores superiores se favorecen con mejoras en el precio de compra de la materia prima.

Pereira, Coffin, Yada y Machado (1993) mencionan que los contenidos de materia seca se relacionan directamente con el rendimiento en la fritura, la absorción de aceite y la textura del producto industrializado. Agle y Woodbury (1968), así como Schippers (1976), reportan que la relación gravedad específica y contenido de materia seca es afectada por la variedad, la zona de producción y las condiciones de almacenamiento.

El contenido de azúcares reductores (glucosa y fructosa) en papa parece ser uno de los factores que más influye para estimular los atributos de calidad interna para el procesamiento (Hernández, 1992, citado por Palacios et al. 2008). Estos deben ser inferiores a 0,25 % o estar preferiblemente por debajo de 0,1 % al momento de su proceso. De acuerdo con Kumar, Khade, Dhokane, Behere y Sharma (2007), los tubérculos con alto contenido de azúcares reductores totales (> 2 %) se consideran no aptos para procesamiento de *chips*.

Parámetros de calidad en la variedad Perla Negra

En el año 2015 se evaluaron los parámetros de calidad de 'gravedad específica', 'materia seca' y 'azúcares reductores', tanto en pruebas realizadas en el Centro de Investigación Tibaitatá de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) como con empresas como McCain y Yupi. En las pruebas se examinaron los tubérculos de la variedad Perla Negra y se compararon con el testigo comercial, que para este caso fue la variedad Diacol Capiro. La materia prima de las dos variedades provenía de un lote establecido en el municipio de Funza, Cundinamarca, a 2.548 m s. n. m.

Como resultado se encontró que para la variable 'gravedad específica' y 'materia seca' no hubo diferencias entre la variedad Perla Negra y el testigo comercial, tanto en las pruebas llevadas a cabo en el Centro de Investigación como en las realizadas por la industria (tabla 13). Con respecto a la variable de 'azúcares reductores', la variedad Perla Negra presentó un promedio de 0,15 y no tuvo diferencias con respecto al testigo comercial.

Tabla 13. Consolidado de resultados de peso específico y porcentaje de 'materia seca' de Corpoica, McCain y Yupi. Parcelas semicomerciales, año 2015

| Localidad | Variedad | Corpoica | | McCain | | Yupi |
|-----------|---------------|---------------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| | | Peso específico (g) | % Materia seca | Peso específico | % Materia seca | Peso específico |
| Funza | Perla Negra | 1.093 | 23,81 | 1.091 | 22,61 | 1.091 |
| | Diacol Capiro | 1.093 | 23,45 | 1.082 | 20,83 | 1.080 |

Fuente: Valbuena (2014)

Pruebas de calidad de la variedad Perla Negra con agricultores

Con respecto a las pruebas de fritura, en las localidades de Subachoque, Zipaquirá, Turmequé y Ventaquemada, la variedad se evaluó a través de la aplicación de encuestas de degustación, de acuerdo con los siguientes parámetros, para los diferentes productores que participaron en cada localidad: a. Color de la hojuela (crema, dorado y oscuro); b. Sabor (excelente, bueno y regular); c. Crocante (sí, no); d. Retención de aceite (sí, no) y e. Quemado (sí, no).

En este sentido, según el informe de las pruebas de evaluación agronómica para el 2014, la variedad Perla Negra recibió una muy buena aceptación, de acuerdo con los parámetros de calidad, aunque la variedad comercial Diacol Capiro estuvo muy cerca. Para Perla Negra, el 55,28 % de los encuestados afirmó que el color de la hojuela era crema; el 34,68 % aseguró que el sabor era excelente; el 63,98 % estuvo de acuerdo en que sí era crocante; el 55,28 % coincidió en que no retiene aceite, y el 77,64 % dijo que no se quema (Valbuena, 2014).

La variedad Perla Negra presenta una gran versatilidad para el uso de consumo fresco, ya que requiere menos tiempo de cocción, su textura es harinosa y tiene un alto contenido de materia seca. Esta variedad se recomienda para la preparación de sopas y caldos, debido a que se deshace fácilmente; también se puede preparar en platos como puré, papas sudadas o chorreadas, papas rellenas, papas saladas y papas asadas.

En este sentido, en condiciones de la Sabana de Bogotá, en un rango de altitud entre los 2.500 y 2.600 m s. n. m., la variedad Perla Negra presenta características ideales para el procesamiento a nivel industrial de papas *chips* u hojuelas, ya que registra un porcentaje de 'materia seca alto' (22,61%), 'gravedad específica' o 'sólidos totales' de 1.091 y baja concentración de azúcares reductores 0,1583 (Valbuena, 2014).

Referencias

- Agle, W. M., & Woodbury, G. W. (1968). Specific gravity-dry matter relationship and reducing sugar changes affected by potato variety, production area and storage. *American Journal of Potato Research*, 45(4), 119-131.
- Davenport, J. (2000). Potassium and specific gravity of potato tubers. *Better Crops*, 84(4), 14-16.
- Guenther, J. (2001). *The international potato industry*. Cambridge, England: Woodhead Publishing Limited.
- Kumar, S., Khade, H., Dhokane, V., Behere, A., & Sharma, A. (2007). Irradiation in combination with higher storage temperatures maintains chip-making quality of potato. *Journal of Food Science*, 72(6), 402-406.
- Palacios, C., Jaramillo, S., González, L., & Cotes, J. (2008). Efecto de la fertilización sobre la calidad de la papa para procesamiento en dos suelos antioqueños con propiedades ándicas. *Agronomía Colombiana*, 26(3) 487-496.
- Pereira, A., Coffin, R., Yada, R., & Machado, V. (1993). Inheritance patterns of reducing sugars in potato tubers after storage at 12 c and 4 c followed by reconditioning. *American Potato Journal*, 70(1), 71-76.
- Schippers, P. (1976). The relationship between specific gravity and percentage dry matter in potato tubers. *American Journal of Potato Research*, 53(4), 111-122.
- Talburt, W., & Smith, O. (1967). *Potato processing* (4.^a Ed.). California, Estados Unidos: AVI Publishing Company.
- Valbuena, R. (2014). *Informe Pruebas de Evaluación Agronómicas ante el ICA*. Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).

Capítulo XIII

Indicadores financieros

El modelo productivo y su manejo intervienen de manera directa en el desarrollo del cultivo y los resultados financieros del productor. Identificar indicadores como los costos de producción, los rendimientos por unidad de producto y por hectárea, aunado al comportamiento de los precios, hacen de este ejercicio un referente financiero dirigido a productores de papa que adopten la variedad Perla Negra.

Costos de producción

Los costos de producción son extraídos del proceso investigativo para la variedad Perla Negra en el municipio de Ventaquemada (Boyacá), este ciclo productivo se realizó desde el primer semestre del año 2017, en siete hectáreas del municipio. Para la cuantificación del modelo se extrapolaron los resultados de las siete hectáreas en función de una hectárea, manteniendo los factores constantes de producción.

Costos directos

A continuación, se presentan los costos directos de producción de Perla Negra en el municipio de Ventaquemada para una hectárea, distancia de siembra 33 cm entre plantas, 1 m entre surcos, para un total de 30.000 plantas; se realiza en términos absolutos y relativos.

Para la adecuación del terreno y la presiembra, se tienen en cuenta variables como: análisis de suelo, quema, enmiendas, preparación del suelo, semilla, tratamiento a la semilla, insumos y mano de obra (tabla 14).

Tabla 14. Costos de adecuación del terreno para una hectárea de Perla Negra en el municipio de Ventaquemada (Boyacá)

| A. Costos directos | | | | | | |
|---|----------------|------------|----------|--------------|------------------|------------------------|
| Rubro | Unidad | Insumo | Cantidad | Valor unidad | Valor total | % sobre el costo total |
| 1. Adecuación del terreno y presiembra | | | | | | |
| 1.1 Análisis de suelo | Análisis | | 1 | 98.000 | 98.000 | 0,63 |
| 1.2 Quema | | | | | | |
| 1.2.1 MDO | Jornales | | 2 | 40.000 | 80.000 | 0,52 |
| 1.2.2 Insumos | Litro | Glifosato | 1 | 40.000 | 40.000 | 0,26 |
| 1.3 Enmiendas | | | | | | |
| 1.3.1 Aplicación MDO | Jornales | | 2 | 40.000 | 80.000 | 0,52 |
| 1.3.2 Insumos | Toneladas | Cal | 2 | 220.000 | 440.000 | 2,84 |
| 1.4 Preparación del suelo | | | | | | |
| 1.4.1 Pase de cincel | Hora pase | | 8 | 45.000 | 360.000 | 2,32 |
| 1.4.2 Pase de rotovo | Hora pase | | 6 | 45.000 | 270.000 | 1,74 |
| 1.4.3 Surcada | Jornales | | 2 | 80.000 | 160.000 | 1,03 |
| 1.5 Semilla | | | | | | |
| 1.5.1 Compra de semilla | Bulto de 50 kg | Semilla | 16 | 50.000 | 800.000 | 5,16 |
| 1.6 Tratamiento semilla | | | | | | |
| 1.6.1 Insumos | cc | Fluacinam | 200 | 420 | 84.000 | 0,54 |
| | cc | Permetrina | 200 | 89 | 17.800 | 0,11 |
| 1.6.2 Tratamiento semilla-MDO | Jornales | | 1 | 40.000 | 40.000 | 0,26 |
| 1.7 Subtotal | | | | | 2.469.800 | 15,94 |

Fuente: Elaboración propia

Posterior a la adecuación y presiembra, se realiza la actividad de siembra en el lote. Para este caso se tienen en cuenta variables como la abonada para la siembra, el tratamiento de la semilla y tapado, y el monitoreo de polilla guatemalteca (*Tecia Solanivora*), cada una de ellas requiere insumos y mano de obra (tabla 15).

Tabla 15. Costos de siembra para una hectárea de Perla Negra en el municipio de Ventaquemada (Boyacá)

| Rubro | Unidad | Insumo | Cantidad | Valor unidad | Valor total | % sobre el costo total |
|---|-----------|------------------|----------|--------------|------------------|------------------------|
| 2. Siembra | | | | | | |
| 2.1 Abonada insumos | Toneladas | 10-20-20 | 1,2 | 1.600.000 | 1.920.000 | 12,39 |
| 2.2 Abonada MDO | Jornales | | 1 | 40.000 | 40.000 | 0,26 |
| 2.3 Regar semilla | Jornales | | 2 | 40.000 | 80.000 | 0,52 |
| 2.4 Tratamiento al suelo y semilla insumos | Litro cc | Thifluzamide | 1 | 160.000 | 160.000 | 1,03 |
| | | Permetrina | 1.000 | 89 | 89.000 | 0,57 |
| 2.5 Tratamiento al suelo y semilla MDO | Jornales | | 1 | 40.000 | 40.000 | 0,26 |
| 2.6 Tapado | Jornales | | 2 | 40.000 | 80.000 | 0,52 |
| 2.7 Monitoreo de polilla guatemalteca (<i>Tecia Solanivora</i>) | Trampa | Trampa feromonas | 2 | 20.000 | 40.000 | 0,26 |
| 2.8 Monitoreo de polilla guatemalteca (<i>Tecia Solanivora</i>) MDO-durante el ciclo productivo 16 lecturas | Jornales | | | | | |
| | | | 2 | 40.000 | 80.000 | 0,52 |
| 2.9 Subtotal | | | | | 2.529.000 | 16,32 |

Fuente: Elaboración propia

Para el caso del mantenimiento del cultivo (control de malezas, reabonada y aporque), estas actividades se deben llevar a cabo a los treinta, cuarenta y sesenta días de siembra. En seguida se exponen los costos para las mismas (tabla 16).

Tabla 16. Costos de control de malezas, reabonada y aporque para una hectárea de Perla Negra en el municipio de Ventaquemada (Boyacá)

| Rubro | Unidad | Insumo | Cantidad | Valor unidad | Valor total | % sobre el costo total |
|---|----------------|------------|----------|--------------|------------------|------------------------|
| 3. Mantenimiento cultivo (control de malezas, reabonada y aporque) | | | | | | |
| 3.1 Control de malezas hoja ancha a los 30 días de siembra | Litro | Metribizin | 0,6 | 160.000 | 96.000 | 0,62 |
| 3.2 Control de malezas hoja ancha a los 30 días de siembra-MDO | Jornales | | 2 | 40.000 | 80.000 | 0,52 |
| 3.3 Desyerba a los 40 días de siembra | Jornales | | 12 | 40.000 | 480.000 | 3,10 |
| 3.4 Reabonada a los 40 días de siembra insumos | Bulto de 50 kg | 10-20-30 | 12 | 80.000 | 960.000 | 6,19 |
| 3.5 Reabonada a los 40 días de siembra MDO | Jornales | | 1 | 40.000 | 40.000 | 0,26 |
| 3.6 Aporque a los 60 días de siembra | Jornales | | 10 | 40.000 | 400.000 | 2,58 |
| 3.7 Subtotal | | | | | 2.056.000 | 13,27 |

Fuente: Elaboración propia

En el rubro de mantenimiento del cultivo (control de plagas y enfermedades) se concentra la mayoría de aplicaciones y labores de los costos de producción. Este proceso consta del control para pulguilla (*Epitrix* sp.), gota (*Phytophthora infestans*), gusano blanco (*Premnotrypes vorax*), tostón (*Liriomyza* sp.), polilla guatemalteca (*Tecia solanivora*). Las aplicaciones se realizan a los 20, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 y 120 días, a partir de la siembra (tabla 17). El control de gusano blanco (*Premnotrypes vorax*) a los 60 días y el de polilla guatemalteca (*Tecia solanivora*) a los 120 días, depende de la aparición de las plagas en el cultivo.

Tabla 17. Costos de control de plagas y enfermedades para una hectárea de Perla Negra en el municipio de Ventaquemada (Boyacá)

| Rubro | Unidad | Insumo | Cantidad | Valor unidad | Valor total | % sobre el costo total |
|--|------------|-------------------------------|----------|--------------|-------------|------------------------|
| 4. Mantenimiento cultivo (control de plagas y enfermedades) | | | | | | |
| 4.1 Control a los 20 días de siembra | | | | | | |
| 4.1.1 Control pulguilla (<i>Epitrix</i> sp.) - Insumos | cc | Deltametrina | 300 | 110 | 33.000 | 0,21 |
| 4.1.2 Control pulguilla (<i>Epitrix</i> sp.) - MDO | Jornales | | 2 | 40.000 | 80.000 | 0,52 |
| 4.2 Control a los 40 días de siembra | | | | | | |
| 4.2.1 Control pulguilla (<i>Epitrix</i> sp.) y gota (<i>Phytophthora infestans</i>) - Insumos | cc | Lambda cihalotrin (pulguilla) | 200 | 140 | 28.000 | 0,18 |
| | Libras | Propineb (gota) | 2 | 18.000 | 36.000 | 0,23 |
| | cc | Coadyuvante | 400 | 45 | 18.000 | 0,12 |
| 4.2.2 Control pulguilla (<i>Epitrix</i> sp.) y gota (<i>Phytophthora infestans</i>) - MDO | Jornales | | 2 | 40000 | 80.000 | 0,52 |
| 4.3 Control a los 50 días de siembra | | | | | | |
| 4.3.1 Control pulguilla (<i>Epitrix</i> sp.) y gota (<i>Phytophthora infestans</i>) - Insumos | cc | Deltametrina | 300 | 110 | 33.000 | 0,21 |
| | cc | Mandipropanid | 250 | 195 | 48.750 | 0,31 |
| | cc | Coadyuvante | 400 | 45 | 18.000 | 0,12 |
| 4.3.2 Control pulguilla (<i>Epitrix</i> sp.) y gota (<i>Phytophthora infestans</i>) - MDO | Jornales | | 2 | 40000 | 80.000 | 0,52 |
| 4.4 Control a los 60 días de siembra | | | | | | |
| *4.4.1 Control Gusano blanco (<i>Premnotrypes vorax</i>) - Insumos | cc | Tiametoxam+Lambda cyalotrina | 600 | 176 | 105.600 | 0,68 |
| 4.4.2 Control pulguilla (<i>Epitrix</i> sp.) y gota (<i>Phytophthora Infestans</i>) - Insumos | Bolsa 125g | Dhimetomorf | 3 | 11700 | 35.100 | 0,23 |
| | cc | Permetrina | 450 | 89 | 40.050 | 0,26 |

Continuación tabla 17

| | | | | | | |
|---|----------|----------------------|-----|-------|--------|------|
| | cc | Coadyuvante | 600 | 45 | 27.000 | 0,17 |
| 4.4.3 Control pulguilla (<i>Epitrix</i> sp.) y gota (<i>Phytophthora Infestans</i>) - MDO | Jornales | | 2 | 40000 | 80.000 | 0,52 |
| 4.5 Control a los 70 días de siembra | | | | | | |
| 4.5.1 Control gota (<i>Phytophthora infestans</i>) - Insumos | Libras | Propineb + cimoxanil | 3 | 19000 | 57.000 | 0,37 |
| | cc | Coadyuvante | 600 | 45 | 27.000 | 0,17 |
| 4.5.2 Control gota (<i>Phytophthora infestans</i>) - MDO | Jornales | | 2 | 40000 | 80.000 | 0,52 |
| 4.6 Control a los 80 días de siembra | | | | | | |
| 4.6.1 Control gota (<i>Phytophthora infestans</i>) y tostón (<i>Liriomyza</i> sp.) - Insumos | Libras | Propineb | 3 | 18000 | 54.000 | 0,35 |
| | cc | Ciromazina | 300 | 120 | 36.000 | 0,23 |
| | cc | Coadyuvante | 600 | 45 | 27.000 | 0,17 |
| 4.6.2 Control gota (<i>Phytophthora infestans</i>) y tostón (<i>Liriomyza</i> sp.)- MDO | Jornales | | 2 | 40000 | 80.000 | 0,52 |
| 4.7 Control a los 90 días de siembra | | | | | | |
| 4.7.1 Control de polilla guatemalteca (<i>Tecia solanivora</i>) - Insumos | cc | Permetrina | 750 | 89 | 66.750 | 0,43 |
| 4.7.2 Control de polilla guatemalteca (<i>Tecia solanivora</i>) -MDO | Jornales | | 2 | 40000 | 80.000 | 0,52 |
| 4.8 Control a los 100 días de siembra | | | | | | |
| 4.8.1 Control gota (<i>Phytophthora infestans</i>) y tostón (<i>Liriomyza</i> sp.) - Insumos | Libras | Propineb+Cymoxanil | 3 | 19000 | 57.000 | 0,37 |
| | cc | Deltametrina | 450 | 110 | 49.500 | 0,32 |
| | cc | Coadyuvante | 600 | 45 | 27.000 | 0,17 |
| 4.8.2 Control gota (<i>hytophthora Infestans</i>) y tostón (<i>Liriomyza</i> sp) - MDO | Jornales | | 2 | 40000 | 80.000 | 0,52 |
| 4.9 Control a los 120 días de siembra | | | | | | |
| 4.9.1 Control gota (<i>Phytophthora infestans</i>) y tostón (<i>Liriomyza</i> sp.)-Insumos | cc | Propineb | 3 | 18000 | 54.000 | 0,35 |
| | cc | Ciromazina | 300 | 120 | 36.000 | 0,23 |
| | cc | Coadyuvante | 600 | 45 | 27.000 | 0,17 |

Continuación tabla 17

| | | | | | | |
|---|----------|---------------------|-----|-------|------------------|--------------|
| 4.9.2 Control gota (<i>Phytophthora infestans</i>) y tostón (<i>Liriomyza</i> sp.) - MDO | Jornales | | 2 | 40000 | 80.000 | 0,52 |
| 4.9.3 Control de polilla guatemalteca (<i>Tecia Solanivora</i>) - Insumos | cc | Chlorantraniliprole | 300 | 175 | 52.500 | 0,34 |
| 4.9.1.1 Subtotal | | | | | 1.713.250 | 11,05 |

Fuente: Elaboración propia

Otra de las actividades que se debe tener en cuenta es el corte de ramas. Esta labor se realiza de 15 a 20 días antes de la cosecha y consiste en cortar las ramas de la planta, con el fin de homogeneizar la maduración del tubérculo (suberización) (tabla 18).

Tabla 18. Costos de corte de ramas para una hectárea de Perla Negra en el municipio de Ventaquemada (Boyacá)

| Rubro | Unidad | Cantidad | Valor unidad | Valor total | % sobre el costo total |
|-------------------|----------|----------|--------------|-------------|------------------------|
| 5. Corte de ramas | Jornales | 6 | 40000 | 240000 | 1,55 |

Fuente: Elaboración propia

Para la cosecha del producto se debe tener en cuenta el número de bultos extraídos, seleccionados y empacados. El costo por bulto de 50 kg es de aproximadamente \$3.500 (tabla 19).

Tabla 19. Cosecha de una hectárea de Perla Negra en el municipio de Ventaquemada (Boyacá)

| Rubro | Unidad | Cantidad | Valor unidad | Valor total | % sobre el costo total |
|--|----------------|----------|--------------|-------------|------------------------|
| 6. Cosecha a los 150-160 días de siembra, empacado y seleccionado en camión promedio 35 (t)/ha | Bulto de 50 kg | 700 | 3.500 | 2.450.000 | 15,81 |

Fuente: Elaboración propia

En seguida se presenta la relación del total de los costos directos (tabla 20).

Tabla 20. Total de costos directos de producción para una hectárea de Perla Negra en el municipio de Ventaquemada (Boyacá) por grandes rubros

| Rubro | Valor total | % sobre el Costo Total |
|--|-------------------|------------------------|
| 1. Adecuación del terreno y presiembra | | |
| 1.7 Subtotal | 2.469.800 | 15,94 |
| 2. Siembra | | |
| 2.9 Subtotal | 2.529.000 | 16,32 |
| 3. Mantenimiento cultivo (control de malezas, reabonada y aporque) | | |
| 3.7 Subtotal | 2.056.000 | 13,27 |
| 4. Mantenimiento cultivo (Control de plagas y enfermedades) | | |
| 4.9.1.1 Subtotal | 1.713.250 | 11,05 |
| 5. Corte de ramas | 240.000 | 1,55 |
| 6. Cosecha a los 150-160 días de siembra empacado y seleccionado en camión promedio 35 (t)/ha | 2.450.000 | 15,81 |
| 7. Total costos directos | 11.458.050 | 73,93 |

Fuente: Elaboración propia

Costos indirectos

Los costos indirectos son aquellos en los que incurre el agricultor, pero no se atribuyen directamente a la producción (tabla 21). Por costumbre comercial el transporte es cobrado por bultos, el valor del arriendo es el aproximado en la región, y puede variar dependiendo de las características del predio (ubicación, calidad del suelo, vías de acceso, etc.).

Tabla 21. Total de costos indirectos de producción para una hectárea de Perla Negra en el municipio de Ventaquemada (Boyacá)

| Costos indirectos | | | | | |
|-----------------------------------|----------|----------|--------------|------------------|----------------------------|
| Rubro | Unidad | Cantidad | Valor unidad | Valor total | % sobre los Costos Totales |
| 1. Empaque | Costal | 700 | 1.000 | 700.000 | 4,52 |
| 2. Transporte | Bulto | 700 | 1.200 | 840.000 | 5,42 |
| 3. Arriendo | Hectárea | 1 | 2.500.000 | 2.500.000 | 16,13 |
| 4. Total costos indirectos | | | | 4.040.000 | 26,07 |

Fuente: Elaboración propia

El costo total de producción de Perla Negra por hectárea, en Ventaquemada (Boyacá), se calcula como el total de costos directos de producción, aunado al total de los costos indirectos (tabla 22).

Tabla 22. Costos totales de producción para una hectárea de Perla Negra en el municipio de Ventaquemada (Boyacá)

| Costos totales de producción | |
|--------------------------------|----------------|
| Total costos directos (\$) | 11.458.050 |
| Total costos indirectos (\$) | 4.040.000 |
| Total costos por hectárea (\$) | 15.498.050 |
| Total costos por kg (\$) | 442,8 |
| Total costos por t (\$) | 442.801 |

Fuente: Elaboración propia

Según el Consejo Nacional de Papa, en el Contexto Sectorial de la Federación Colombiana de Productores de Papa (Fedepapa) (2015), los costos de producción de una tonelada de papa Pastusa Suprema en 2014 fueron de \$600.000, indexados a 2018 en \$731.000, mientras que para Diacol Capiro fueron de \$560.000 e indexados a 2018 en \$682.300. Si tomamos esta información como referencia, los costos para producir una tonelada de Perla Negra estarán por debajo de las anteriores, en 56,1 % y 45,7 % respectivamente.

Rendimientos

Los rendimientos por hectárea de la variedad Perla Negra se encuentran entre 30-35 t/ha, lo que contrasta con el promedio nacional de rendimientos que se ubica en 21,5 t/ha, y con el rendimiento de la variedad Parda Pastusa que está entre 20-30 t/ha; por otra parte, la variedad Pastusa Suprema mantiene, por sus características, promedios más altos de rendimientos en 45 t/ha (Fedepapa, 2015) (tabla 23).

Tabla 23. Rendimientos por hectárea de Perla Negra, dos variedades referentes y el promedio nacional

| Rendimientos | |
|-------------------|--------------------|
| Producto | Rendimiento (t/ha) |
| Perla Negra | 30-35 |
| Parda Pastusa | 20-30 |
| Pastusa Suprema | 45 |
| Promedio Nacional | 21,5 |

Fuente: Elaboración propia con datos Fedepapa (2015)

Precio

El precio al productor es un ejercicio que se debe definir luego de contar con precios reales de comercialización, esto depende directamente de la adopción de los productores, quienes generan la oferta hacia el mercado del producto, y que en operaciones mercantiles fijan los precios. No obstante, y como referencia, se mencionan los precios de dos variedades referencia (tabla 24).

Tabla 24. Precios por kg para Suprema y Pastusa, en Corabastos, serie de tiempo 2013-2017

| Precios por kg para variedades Suprema y Pastusa | | | | | |
|--|------|------|-------|-------|------|
| Varietades/Serie de tiempo | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
| Suprema | 377 | 768 | 848 | 1.115 | 609 |
| Pastusa | 735 | 961 | 1.043 | 1.335 | 746 |

Fuente: Corabastos (2017)

Referencias

Corporación de Abastos (Corabastos). (2017). *Precio promedio anual por producto*. Recuperado de <https://bit.ly/2RRT0UA>.

Federación Colombiana de Productores de Papa (Fedepapa). (2015). *Contexto sectorial*. Recuperado de <https://bit.ly/2TEHkpj>.

Los autores

Raul Iván Valbuena Benavides

ivalbuena@agrosavia.co

Ingeniero Agrónomo, Master 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, a través de procesos de caracterización morfológica a nivel cualitativo y cuantitativo, toma de parámetros agronómicos y fisiológicos y la caracterización molecular. Ha participado en proyectos de ecofisiología, pruebas de evaluación agronómica, a nivel de finca con productores en el altiplano cundiboyacense, evaluación de materiales promisorios de papa a partir de características de interés (resistencia a gota, alto rendimiento y precocidad) y el registro y lanzamiento de la variedad Perla Negra con registro ICA para el altiplano cundiboyacense. En los últimos años, ha participado en publicaciones tanto a nivel nacional como internacional de artículos científicos en revistas indexadas en los campos del conocimiento en recursos genéticos en papa, estrés hídrico y fisiología. Se desempeña como Investigador Master Senior en el CI Tibaitatá en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Zahara Lucía Lasso Paredes

zlasso@agrosavia.co

Ingeniera Agrónoma. Estudiante de maestría en Gestión y Desarrollo Rural de la Universidad Nacional de Colombia. Actualmente, se desempeña como Profesional de Apoyo a la Investigación en el CI Tibaitatá en el área de recursos fitogenéticos a partir de la conservación en campo de la Colección Central Colombiana de papa, que pertenece al Banco de Germoplasma Vegetal de la Nación. Ha participado apoyando proyectos de investigación, en la búsqueda de materiales con resistencia a enfermedades limitantes como gota y roña de la papa, y la búsqueda de resistencia a plagas como la polilla guatemalteca en el mismo cultivo; además, 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; pertenece a la Red de raíces y tubérculos de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

César Augusto Terán Chaves

cieran@agrosavia.co

Ingeniero Agrícola, master en Ciencias Financieras y de Sistemas y Ph.D. en Ingeniería del Agua y Medioambiental con Énfasis en Suelos. Investigador en el área de agroclimatología y manejo de aguas. Tiene experiencia en proyectos de investigación para la determinación de la huella hídrica, requerimientos y estrés hídricos de cultivos, modelación y simulación del desarrollo de la producción de biomasa y estimación de la producción agrícola a partir del agua, determinación de la evapotranspiración de referencia y del cultivo a varias escalas, diseño y evaluación de sistemas de riego para la optimización de la producción, zonificación agroclimática y de cultivos teniendo en cuenta los efectos de la variabilidad y el cambio climático en el trópico. C.I Tibaitatá, en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Elías Alexander Silva Arero

esilva@agrosavia.co

Ingeniero Agrónomo de la Universidad Nacional de Colombia. Ha desarrollado trabajos de investigación y recomendaciones de manejo en: suelos, nutrición de plantas, agroclimatología, y fisiología vegetal en hortalizas, frutales, papa, yuca, maíz y palma de aceite. Actualmente, hace parte de equipo de trabajo de investigación del C.I Tibaitatá de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) y se encuentra adscrito a la Red de hortalizas y aromáticas.

Erika Patricia Martínez Lemus

emartinezl@agrosavia.co

Bacterióloga. Magister en Microbiología. Investigadora en patología vegetal con énfasis en epidemiología y manejo de enfermedades. Tiene experiencia en identificación y caracterización genética de agentes causales, dinámica espacio temporal y la búsqueda de alternativas de manejo, considerando la conservación de la biodiversidad y el buen uso del suelo y las aguas. Ha participado en formulación y desarrollo proyectos de investigación en estudios de distribución, dispersión y búsquedas de alternativas de manejo de las antracnosis en mango, tomate de árbol, cítricos y mora; pudrición radical de la cebolla, estrella del fique, gota de la papa y del tomate, *damping off* en tomate, enfermedades en hortalizas asociadas a eventos climáticos y la asociación de los factores edáficos y de manejo agronómico con la ocurrencia enfermedades del suelo ocasionadas por *Fusarium spp.* en cultivos de uchuva y pasifloras, para la generación de estrategias de manejo preventivo. Es investigadora de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Germán David Sánchez León

gsanchez@agrosavia.co

Ingeniero Agrónomo. M. Sc. en Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, con más de 26 años de experiencia en investigación y transferencia de tecnologías agropecuarias, en producción limpia, BPA, producción ecológica, agricultura protegida, MIP, agricultura urbana, producción de plántulas y producción de minitubérculos de papa registrados ante el ICA. Actualmente, trabaja en papa y está adscrito a la Red de raíces y tubérculos en el C.I Tibaitatá de Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Gustavo Maldonado Ferrucho

Ingeniero agrónomo. Doctor en Ciencias Agropecuarias y Manejo de Recursos Naturales y maestría en Fisiología de Cultivos; investigador en sistemas de producción agropecuaria y en el desarrollo de prácticas agropecuarias sostenibles en cultivos como caña panelera, leguminosas de clima frío, achira y pasturas tropicales. Así mismo, ha liderado proyectos de validación, ajuste y transferencia de tecnología para el manejo sostenible de sistemas agropecuarios como la papa en ecosistemas frágiles, y de extensión rural, dirigidos hacia la búsqueda de la sostenibilidad, a partir de la organización comunitaria, la investigación participativa, la planificación predial y el ordenamiento ambiental predial y regional.

Juan Clímaco Hio

jclimaco@agrosavia.co

Ingeniero Agrónomo, Administrador Agropecuario, Magister en Biología aplicada con énfasis en fitoprotección, especialista en nematodos fitoparásitos de plantas, investigador Magister en el área de fitopatología – nematología con amplia experiencia en biología de patógenos, epidemiología de problemas sanitarios, manejo y control de enfermedades en cultivos. Es miembro del grupo de manejo fitosanitario del C.I Tibaitatá y coordinador del laboratorio de fitopatología. Tiene más de 20 años de experiencia en la corporación, formulando y desarrollando proyectos de investigación. Pertenece a la red de frutales y al grupo de Colciencias (fenómenos fitosanitarios) de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Juan David Santa Sepúlveda

jsanta@agrosavia.co

Ingeniero agrónomo y máster en Ciencias Agrarias con énfasis en genética y fitomejoramiento de la Universidad Nacional de Colombia. Ha trabajado en proyectos de investigación en genética y mejoramiento de papa, y en la búsqueda de resistencia a *Phytophthora infestans* y Teciá solanivora en papa tetraploide. Actualmente, es Profesional de Apoyo a la Investigación adscrito a la Red de raíces y tubérculos del C.I Tibaitatá de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Mauricio Soto Suárez

msoto@agrosavia.co

Biólogo. PhD en Biología con énfasis en fitopatología. Su interés de investigación se ha centrado en el campo de la patología vegetal, estudiando 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 por *Fusarium* y *Ralstonia* del tomate causada por los patógenos *Fusarium oxysporum* y *Ralstonia solanacearum*, respectivamente. Su propósito es combinar investigación básica y aplicada para proporcionar a los agricultores recomendaciones de manejo de enfermedades basadas en la ciencia. C.I Tibaitatá, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Nancy del Carmen Barreto Triana

nbarreto@agrosavia.co

Ingeniera agrónoma, Máster en Fitoprotección Integrada. y Doctorado en Entomología. 25 años de experiencia en Manejo Integrado de Plagas, formulación y desarrollo de proyectos de investigación participativa en fincas de productores, en dinámica y manejo de insectos plaga: taxonomía, biología, comportamiento, fluctuación de poblaciones, enemigos naturales, control biológico, ecología química con énfasis en feromonas de insectos. Ajuste y validación de estrategias para el manejo integrado de plagas en diferentes agroecosistemas: pastos de clima frío, papa, caña de azúcar. Experiencia en Transferencia de Tecnología con productores y asistentes técnicos: Metodología de Escuelas de campo de Agricultores ECA, parcelas demostrativas, días de campo, desarrollo de Sistemas expertos y App para reconocimiento y manejo de problemas fitosanitarios. Ha participado en publicaciones nacionales e internacionales científicas y técnicas. Se desempeña como Investigador PhD Asociado en el CI Tibaitatá en AGROSAVIA y pertenece a la Red de innovación de Raíces y Tubérculos.

Nubia Liliana Cely Pardo

ncely@agrosavia.co

Bióloga de la Uptc de Tunja con maestría en Fitoprotección (línea de investigación en Entomología) de la universidad Militar Nueva Granada. Ha trabajado en proyectos de investigación en el área de manejo y control de plagas, en los sistemas productivos de papa y caña panelera. En este momento, lidera un proyecto que busca fuentes de resistencia a los principales problemas fitosanitarios del cultivo de papa. Actualmente, es Investigador Master y se encuentra adscrita a la Red de raíces y tubérculos, CI Tibaitatá de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Olga Yanet Pérez Cardona

oyperez@agrosavia.co

PhD en Agrobiodiversidad con énfasis en fitomejoramiento. Química Farmacéutica de la Universidad Nacional de Colombia, con doctorado en Agrobiodiversidad con énfasis en recursos genéticos de la Scuola Superiore Sant'Anna (Italia). Investigadora con experiencia en estudios de biología y epidemiología de plagas y enfermedades en hortalizas, frutales y tubérculos. Se encuentra adscrita a la Red de raíces y tubérculos de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Rafael Antonio Pedraza Rute

rpedraza@agrosavia.co

Ingeniero Agrónomo con estudios de maestría en Ciencias Agrarias con énfasis en Suelos. Actualmente, está terminando la especialización en Gestión de Sistemas de Información Gerencial. Ha trabajado en temas de investigación relacionados con suelos en cultivos de cebolla papa, ha desarrollado trabajos de investigación en suelos y ola invernal entre otros. Es Coordinador de Gestión de Información en C.I Tibaitatá, de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Roger Alonso Bautista Cubillos

rbautista@agrosavia.co

Economista, Master en Territorio y Especialización en Gerencia Financiera. Se desempeña en diferentes áreas de la investigación, administración financiera y planeación estratégica; además, tiene experiencia en liderazgo, formulación y ejecución de proyectos del área agropecuaria con énfasis en áreas socioeconómicas. Es investigador máster de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Andrés Felipe Uribe Gaviria

auribeg@agrosavia.co

Ingeniero agrónomo. Ha trabajado en proyectos de investigación para la obtención de variedades de papa criolla (Corpoica sol andina, Corpoica estrella y Corpoica Tiba) y cebolla de rama (Corpoica Aquitania 1, y Corpoica Tota 1) en la Red de raíces y tubérculos y en la Red de hortalizas. Actualmente, es Profesional de Apoyo a la Investigación y trabaja en el área de producción de semillas de papa por el sistema aeropónico y convencional en el Centro de Investigación Tibaitatá de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA.

Ingrid Marcela Preciado Mongui

ipreciado@agrosavia.co

Ingeniera agrónoma. Estudiante de maestría en Ciencias Agrarias de la línea de investigación fisiología de cultivos en la Universidad Nacional de Colombia. Ha trabajado en proyectos de investigación en sistemas productivos y de transferencia de tecnología en papa y hortalizas. Actualmente, es profesional de apoyo a la investigación adscrita a la Red de raíces y tubérculos, C.I. Tibaitatá de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

www.siembra.gov.co

